UNILASALLE
CENTRO UNIVERSITÁRIO LA SALLE

LUCIANO MOISES SIPPERT SANTAREM

VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL PARA O APROVEITAMENTO DE CINZAS PESADAS DE CARVÃO GERADAS EM TERMELÉTRICAS, PARA A CONSTRUÇÃO DE BASES E SUB-BASES DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

CANOAS, 2015

LUCIANO MOISES SIPPERT SANTAREM

VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL PARA O APROVEITAMENTO DE CINZAS PESADAS DE CARVÃO GERADAS EM TERMELÉTRICAS, PARA A CONSTRUÇÃO DE BASES E SUB-BASES DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

Dissertação de mestrado apresentada para a banca examinadora do curso de mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais do Centro Universitário La Salle – Unilasalle, como exigência parcial para obtenção do grau de Mestre em Avaliação de Impactos Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Sydney Sabedot

CANOAS, 2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S233v Santarem, Luciano Moises Sippert.
Viabilidade técnica, econômica e ambiental para o aproveitamento de cinzas pesadas de carvão geradas em termelétricas, para a construção de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários [manuscrito] / Luciano Moises Sippert Santarem. – 2015.
325f. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais) – Centro Universitário La Salle, Canoas, 2015.
"Orientação: Prof. Dr. Sydney Sabedot".

1. Meio ambiente. 2. Impacto ambiental. 3. Carvão. 4. Sustentabilidade. 5. Resíduos. I. Sabedot, Sydeney. II. Título.

CDU: 504:553.94

Bibliotecário responsável: Melissa Rodrigues Martins - CRB 10/1380

UNILASALLE
CENTRO UNIVERSITÁRIO LA SALLE
Credenciamento: Decreto de 29/12/98 - D.O.U. de 30/12/98
Recredenciamento: Portaria 626 de 17/05/12 - D.O.U. de 18/05/12

Programa de Pós-Graduação em Avaliação de Impactos Ambientais

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Sydney Sabedot
UNILASALLE, Orientador e Presidente da Banca

Prof. Dr. Rubens Müller Kautzmann
UNILASALLE

Prof. Dr. Carlos Hoffmann Sampaio
UFRGS

Prof. Dr. Rodrigo Malysz
UNISINOS

Área de Concentração: Avaliação de Impactos Ambientais

Curso: Mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais

Canoas, 28 de abril de 2015.

Aos meus pais por acreditarem e incentivarem a aquisição do conhecimento, e a minha esposa e filho por toda compreensão e paciência até a conclusão desta jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela graça da vida e pelas oportunidades que me foram concedidas. Posteriormente, manifesto extraordinária gratidão à empresa Tractebel Energia-Unidade Térmica Charqueadas/RS que gentilmente forneceu dados do processo industrial termelétrico que deu origem as amostras de cinzas de carvão coletadas; a empresa Copelmi Mineração, particularmente ao Engenheiro Químico Marcelo Garcia Sundstron que contribuiu com muita responsabilidade e comprometimento no processo de coleta das amostras de cinzas de carvão; a Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC), sobretudo ao Pesquisador José Eduardo Corrêa Mallmann pela parceria na realização dos ensaios técnicos da pesquisa; e ao Centro Universitário La Salle – UNILASALLE, especialmente ao coordenador do curso de mestrado, Prof. Dr. Rubens Müller Kautzmann, e ao orientador, Prof. Dr. Sydney Sabedot, os quais viabilizaram a realização e participaram ativamente da presente pesquisa científica.

RESUMO

Atualmente, as cinzas pesadas residuais de carvão queimado em termelétricas brasileiras, são depositadas em bacias de sedimentação e aterros de resíduos sólidos industriais, com raras situações de aproveitamento. Caso a sua disposição final não contemple um tratamento adequado para evitar a percolação de água, as cinzas pesadas podem causar significativo impacto ambiental no solo, nas águas subterrâneas e nas águas superficiais, devido à lixiviação e solubilização de elementos tóxicos, presentes em sua composição química. Por outro lado, é impossível eliminar a geração de cinzas pesadas, tendo em vista a crescente demanda energética brasileira, que somente é atendida devido a matriz de energia térmica instalada no País. Por sua vez, a infraestrutura rodoviária brasileira não atende adequadamente as demandas de logística para o escoamento da produção gerada em seu território. Com o aproveitamento das cinzas pesadas em camadas de pavimentos rodoviários, serão reduzidos os impactos ambientais e os custos operacionais, tanto para a produção de energia térmica, quanto para a ampliação da malha rodoviária brasileira. Mediante os resultados das referências bibliográficas pesquisadas, foram rearranjadas ideias e produzida uma proposta de análise para viabilizar o aproveitamento das cinzas pesadas para a construção de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários, respeitando os aspectos técnicos, econômicos e ambientais. Tendo em vista o déficit de comportamento mecânico da cinza pesada para a sua aplicação direta e a necessidade ambiental de inertização do resíduo, o comportamento da cinza pesada foi avaliado com a adição do Cimento Portland CP II-Z nas proporções de 2%, 4%, 6% e 8%, sendo que todas estas proporções de cimento com a combinação de proporções de 0%, 3%, 5% e 10% de cinza leve. A avaliação das misturas, compostas pelas diversas combinações e proporções dos materiais, permitiu determinar as proporções ótimas que convergem para a mistura considerada ideal. A mistura ideal foi definida com base nos resultados de resistência à compressão simples, aliado ao custo dos estabilizantes químicos empregados, obtendo-se, desta forma, a mistura com melhor relação benefício-custo. Posteriormente, adotando uma postura conservadora e considerando as implicações ambientais do aproveitamento das cinzas pesadas, foi verificada e constatada a viabilidade ambiental através de ensaios de lixiviação e solubilização para a primeira composição de mistura que resultou numa resistência à compressão superior a 2,1 MPa aos 7 dias de cura. Finalmente, verificou-se a viabilidade econômica, cotejando o custo entre as bases e sub-bases tradicionais geralmente empregadas no Brasil, e a solução de base e sub-base formada pela mistura ideal de cinza pesada, cinza leve e cimento. As principais variáveis consideradas no custo das soluções pesquisadas foram

a Distância Média de Transporte (DMT) referente à aquisição do insumo principal da sua respectiva fonte de material até o local de usinagem da mistura, e a DMT do local da mistura até o ponto de aplicação na pista. Considerando o estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental desenvolvido, constatou-se que a mistura ideal formada pela proporção de materiais referentes à mistura 15, a qual é composta por 87% de cinza pesada, 5% de cinza leve e 8% de cimento, oferece viabilidade econômica para uma DMT entre 250 e 300 km do local de obtenção da cinza pesada e leve até o local onde será usinada a mistura, quando cotejada por exemplo, com a solução de areia comercial, cinza leve e cimento nas mesmas proporções de materiais, todavia adquirindo a areia comercial a uma DMT máxima de 10 km.

Palavras-chave: Cinzas pesadas de carvão. Aproveitamento de resíduos em pavimentação. Inertização química de resíduos. Gestão de resíduos aplicada as cinzas. Emprego de materiais alternativos.

ABSTRACT

Currently, waste bottom ash from coal burned in Brazilian thermoelectric plants are deposited in sedimentary basins and industrial solid waste landfill, with rare use situations. If your disposal does not provide adequate treatment to prevent water percolation, heavy ash can cause significant environmental impact on soil, groundwater and surface water due to leaching and solubilization of toxic elements present in its chemical composition. On the other hand, it is impossible to eliminate the generation of bottom ash, in view of the growing Brazilian energy demand, which is only met due to installed thermal energy matrix in the country. In turn, Brazil's road infrastructure does not adequately meet the demands of logistics for the production flow generated in its territory. With the use of bottom ash in layers of road pavements, environmental impacts and operating costs will be reduced for both the production of thermal energy, and for the expansion of the highway network. Upon the results of the surveyed references were rearranged ideas and produced an analysis of the proposal to enable the use of bottom ash for building foundations and road pavement sub-bases, respecting the technical, economic and environmental. In view of the mechanical behavior deficit of bottom ash for its direct application and environmental need to inert the residue, heavy ash behavior was assessed by the addition of Portland Cement CP II-Z in the proportions of 2%, 4% , 6% and 8%, and all these cement ratios by combining proportions of 0%, 3%, 5% and 10% fly ash. The evaluation of the mixtures, composed by various combinations and proportions of the materials, allowed to determine the optimal proportions for the mixture which converge considered ideal. The ideal mixture was defined based on the compressive strength results, coupled with the cost of stabilizing chemical employees, obtaining thus mixing with better cost-benefit ratio. Later, adopting a conservative approach and considering the environmental implications of the use of bottom ash, it has been checked and verified environmental sustainability through leaching and solubilization tests for the first mixture composition that resulted in resistance to compression greater than 2.1 MPa to 7 days cure. Finally, there is the economic viability, comparing the cost of traditional bases and sub-bases generally employed in Brazil, and the base solution and sub-optimal base formed by mixing bottom ash, fly ash and cement. The main variables considered in the cost of the solutions studied were the Middle Distance Transport (DMT) for the acquisition of the main raw material of their respective source material to the site machining of the mixture, and the DMT place the mixture to the point of application on track. Whereas the study of technical, economic and environmental sustainability developed, it was found that the optimum mixture proportion of

the formed material relating to the mixture 15 which is composed of 87% of bottom ash, 5% fly ash and 8% cement offers economic viability for a DMT of between 250 and 300 km of obtaining heavy and light gray to be machined where the mixture when collated for example with the Commercial solution sand, fly ash and cement in the same proportions materials, however acquiring commercial sand DMT to a maximum of 10 km.

Keywords: Bottom ash coal. Waste recovery paving. Chemical inertness of waste. Waste management applied the ashes. Use of alternative materials.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Depósito de cinzas a ceú aberto em contato com o solo 30
Figura 2 – Produção de energia elétrica mundial por fonte (1973 e 2010) 37
Figura 3 – Evolução da capacidade instalada de energia elétrica no Brasil (1974 a 2012)..... 38
Figura 4 – Processo de queima do carvão fóssil em usinas termelétricas 41
Figura 5 – Ponto de chegada da cinza pesada na bacia de sedimentação (à esquerda) e vista geral da bacia de sedimentação (à direita), local: Capivari de Baixo/SC..... 42
Figura 6 – Cinza pesada produzida nos Estados Unidos, Dinamarca, Alemanha e Países Baixos (à esquerda) e cinza pesada produzida no Brasil (à direita) 46
Figura 7 – Variação das curvas granulométricas das cinzas pesadas coletadas em diferentes épocas e por três termelétricas brasileiras distintas 51
Figura 8 – Variação das curvas granulométricas das cinzas leves coletadas em diferentes épocas e por três termelétricas brasileiras distintas 51
Figura 9 – Concentração (%) dos constituintes químicos maiores das cinzas pesadas: dados estatísticos das termelétricas da Região Sul e específicos para Charqueadas/RS 56
Figura 10 – Concentração (%) dos constituintes químicos maiores das cinzas leves: dados estatísticos das termelétricas da Região Sul e específicos para Charqueadas/RS 57
Figura 11 – Imagens por MEV mostrando as diferentes morfologias encontradas para as partículas contidas nas cinzas leves..... 68
Figura 12 – Detalhe da amostra de cinza leve (à esquerda) e cinza pesada (à direita) após secagem e destorroamento 107
Figura 13 – Detalhe dos fragmentos descartados da amostra da mistura (à esquerda) e dos fragmentos da amostra da mistura usados nos ensaios de lixiviação e solubilização (à direita)..... 121
Figura 14 – Curvas granulométricas da cinza pesada amostrada e as obtidas na revisão bibliográfica..... 123
Figura 15 – Curvas de inchamento da cinza pesada amostrada e as obtidas na revisão bibliográfica..... 125
Figura 16 – Curvas de compactação da cinza pesada amostrada e as obtidas na revisão bibliográfica..... 126
Figura 17 – Curvas de compactação da cinza pesada amostrada, das misturas 1, 4, 7, 9, 12, 13, 16 e da mistura ideal..... 128
Figura 18 – Curvas de resistência à compressão simples aos 7 dias de idade e dos custos de execução da base ou sub-base para as misturas 1 a 16..... 132

Figura 19 – Curvas de resistência à compressão aos 7 dias de idade das misturas, em função da proporção de cimento 134
Figura 20 – Curvas de resistência à compressão aos 7 dias de idade das misturas, em função da proporção de cinza leve, com respectivos custos de execução 135
Figura 21 – Curvas de evolução da resistência à compressão simples para a mistura ideal e para os solos pesquisados na revisão bibliográfica 136
Figura 22 – Cotejo do custo das soluções de bases e sub-bases em relação à DMT (PAV) do material principal até a usina e a DMT (PAV) da usina até o ponto de aplicação na pista ... 149

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Participação de cada fonte de combustível usado nas termelétricas para a geração de energia elétrica do Brasil, em 2012 38
Tabela 2 – Centrais termelétricas a carvão fóssil em operação no Brasil, em novembro/2008 46
Tabela 3 – Resultados e parâmetros obtidos nas referências bibliográficas que tratam do uso de cinzas de carvão residuais de termelétricas 48
Tabela 4 – Concentração (%) dos constituintes químicos maiores das cinzas pesadas: dados estatísticos das termelétricas da Região Sul e específicos para Charqueadas/RS 56
Tabela 5 – Concentração (%) dos constituintes químicos maiores das cinzas leves: dados estatísticos das termelétricas da Região Sul e específicos para Charqueadas/RS 57
Tabela 6 – Valores de pH para cinzas de carvão das termelétricas e indústrias da Região Sul 59
Tabela 7 – Concentração (mg/L) no extrato lixiviado, conforme ABNT NBR 10004 (2004), para cinzas de carvão das termelétricas e indústrias da Região Sul 65
Tabela 8 – Concentração (mg/L) no extrato solubilizado, conforme ABNT NBR 10004 (2004), para cinzas de carvão das termelétricas e indústrias da Região Sul 66
Tabela 9 – Camadas de base e sub-base flexível, semirrígida e rígida 70
Tabela 10 – Ensaios e métodos de análise da viabilidade técnica e ambiental para o aproveitamento das cinzas pesadas 94
Tabela 11 – Proporções dos materiais que compõem os tipos comerciais de cimento Portland 96
Tabela 12 – Custo dos estabilizantes químicos para o Rio Grande do Sul, data-base: maio/2014 98
Tabela 13 – Caracterização do Cimento Portland Composto (CP II-Z-32), marca Votoran 107
Tabela 14 – Composição, teores e nomenclatura das misturas testadas na pesquisa 109
Tabela 15 – Resultados dos ensaios de compactação da cinza pesada amostrada, das misturas 1, 4, 7, 9, 12, 13, 16 e da mistura ideal 127
Tabela 16 – Resultados dos ensaios do ISC e expansão da cinza pesada amostrada e da mistura ideal para o tempo de cura de 7 dias 129
Tabela 17 – Resultados dos ensaios de RCS da cinza pesada amostrada, das misturas 1 a 16 e da mistura ideal, com respectivos custos de execução e relação benefício-custo 131
Tabela 18 – Comparação entre os resultados dos ensaios de RCS7 e o modelo matemático proposto de previsão do desempenho mecânico 138
Tabela 19 – Resultados dos ensaios do pH da cinza leve e pesada, do cimento, da 1ª mistura com RCS7 superior a 2,1 MPa, e os obtidos na revisão bibliográfica 139

Tabela 20 – Resultados dos ensaios de lixiviação da cinza pesada pura, da 1ª mistura com RCS7 superior a 2,1 MPa, e os obtidos na revisão bibliográfica 143
Tabela 21 – Resultados dos ensaios de solubilização da cinza pesada pura, da 1ª mistura com RCS7 superior a 2,1 MPa, e os obtidos na revisão bibliográfica 144
Tabela 22 – Equações de custo do transporte para os materiais 146

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS	Surfactantes
AC	Areia Comercial
Ag	Prata
Al	Alumínio
Al_2O_3	Trióxido de Dialumínio (Alumina)
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ARIP	Aterro de Resíduo Industrial Perigoso
ARTBA	*American Road & Transportation Builders Association*
As	Arsênio
ASTM	*American Society for Testing and Materials*
Ba	Bário
BC	Brita Comercial
BDI	Benefício e Despesas Indiretas
BEN	Balanço Energético Nacional
C	Carbono
C_6H_5OH	Fenóis
$CaCO_3$	Carbonato de Cálcio
CaO	Óxido de Cálcio
CCR	Concreto Compactado com Rolo
CCU	Composição de Custo Unitário
Cd	Cádmio
CGTEE	Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica
CIENTEC	Fundação de Ciência e Tecnologia
Cim	Cimento
CI	Coeficiente de Inchamento
$CI_{máx}$	Coeficiente de Inchamento Máximo
CL	Cinza Leve
Cl^-	Cloretos
CN^-	Cianetos
CNT	Confederação Nacional do Transporte

CO_2	Dióxido de Carbono
CP II-Z	Cimento Portland Composto
CP IV	Cimento Portland Pozolânico
CP	Cinza Pesada
Cr	Cromo
Cu	Cobre
DAER	Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem
DEPGEO	Departamento de Geotecnia
DMT	Distância Média de Transporte
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EM	Especificação de Material
EPA	*Environment Protection Agency* (Agência de Proteção Ambiental)
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ES	Especificação de Serviço
F^-	Fluoretos
Fe	Ferro
Fe_2O_3	Trióxido de Diferro (Hematita)
Fe_3O_4	Tetróxido de Triferro (Magnetita)
FeS_2	Sulfeto de Ferro (Pirita)
Hg	Mercúrio
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
ISC	Índice de Suporte Califórnia
K	Coeficiente de Equivalência Estrutural
K_2O	Óxido de Dipotássio
LL	Limite de Liquidez
LOI	*Loss on Ignition* (Perda ao Fogo)
LP	Limite de Plasticidade
MDO	Mão-de-obra
ME	Método de Ensaio
MEAS	Massa Específica Aparente Seca
$MEAS_{máx}$	Massa Específica Aparente Seca Máxima
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura

MgO	Óxido de Magnésio
MME	Ministério de Minas e Energia
Mn	Manganês
MnO	Óxido de Manganês
Mo	Molibdênio
N PAV	Não Pavimentada
Na	Sódio
Na_2O	Óxido de Disódio
NBR	Norma Brasileira Registrada
ND	Não Detectado
NO_3^-	Nitratos
OECD	*Organization for Economical Cooperation and Development*
P_2O_5	Pentóxido de Difósforo
PAV	Pavimentada
Pb	Chumbo
pH	Potencial Hidrogeniônico
PI	Proctor Intermediário
PM	Proctor Modificado
PN	Proctor Normal
R^2	Correlação Estatística
RCS	Resistência à Compressão Simples
RCS7	Resistência à Compressão Simples aos 7 dias de idade
RCS14	Resistência à Compressão Simples aos 14 dias de idade
RCS28	Resistência à Compressão Simples aos 28 dias de idade
RCS84	Resistência à Compressão Simples aos 84 dias de idade
ROM	*Run Of Mine* (Bruto da Mina)
S	Enxofre
SATC	Associação Beneficiente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina
Se	Selênio
SICRO	Sistema de Custos Rodoviários
SiO_2	Dióxido de Silício (Sílica)
SNV	Sistema Nacional de Viação
SO_4^{-2}	Sulfatos
TCU	Tribunal de Contas da União

Ti	Titânio
TiO_2	Dióxido de Titânio
TRB	*Transportation Research Board*
U	Urânio
$U_{crítica}$	Umidade Crítica
$U_{ótima}$	Umidade Ótima
UTCH	Unidade Térmica Charqueadas
Zn	Zinco
ZrO_2	Dióxido de Zircônio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 28
1.1 Identificação do problema 30
1.2 Objetivos 31
1.2.1 Objetivo principal 31
1.2.2 Objetivos específicos 32
1.3 Relevância e justificativas 32
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 36
2.1 Caracterização geológica do carvão 36
2.2 A importância do carvão para a crescente demanda energética 36
2.3 Caracterização do carvão fornecido pela empresa Copelmi Mineração 39
2.4 Origem das cinzas leves e pesadas brasileiras 40
2.4.1 Processo de obtenção das cinzas 40
2.4.2 Teor de cinzas presentes no carvão após a combustão 42
2.4.3 Características do processo formador das cinzas amostradas 43
2.5 Caracterização das cinzas leves e pesadas brasileiras 44
2.5.1 Considerações iniciais sobre a caracterização das cinzas 44
2.5.2 Caracterização física 47
2.5.2.1 Análise granulométrica 47
2.5.2.2 Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP) 50
2.5.2.3 Massa específica real dos grãos e massa unitária solta 50
2.5.2.4 Coeficiente de inchamento 52
2.5.2.5 Classificação pelo método da Transportation Research Board (TRB) 53
2.5.3 Caracterização da resistência mecânica 53
2.5.3.1 Ensaio de Proctor 53
2.5.3.2 Índice de Suporte Califórnia (ISC) e expansão 54
2.5.3.3 Módulo de resiliência 55
2.5.4 Caracterização química 55
2.5.5 Caracterização mineralógica e morfológica 60
2.5.6 Caracterização do potencial pozolânico 61
2.5.6.1 Pozolanidade das cinzas 61
2.5.6.2 Índice de trabalho de Bond 63
2.5.7 Caracterização ambiental 64

2.5.8 Anormalidade das massas específicas das cinzas em relação aos solos 67
2.6 Bases e sub-bases de pavimentos rodoviários 69
2.6.1 Classificação das bases e sub-bases 69
2.6.2 Tipos de bases e sub-bases 70
2.6.2.1 Base e sub-base granular 70
2.6.2.1.1 Estabilizada granulometricamente 70
2.6.2.1.2 Macadame seco e hidráulico 71
2.6.2.2 Base e sub-base estabilizada com aditivo 71
2.6.2.2.1 Solo-cimento 71
2.6.2.2.2 Solo melhorado com cimento 71
2.6.2.2.3 Solo-cal 72
2.6.2.2.4 Solo melhorado com cal 72
2.6.2.2.5 Solo-betume 72
2.6.2.2.6 Bases betuminosas diversas 72
2.6.2.3 Base e sub-base de concreto 73
2.7 Gestão de resíduos sólidos industriais 73
2.7.1 Fundamentos da gestão de resíduos 73
2.7.2 Gestão preventiva de resíduos 74
2.7.3 Classificação dos resíduos 74
2.8 Gestão de resíduos aplicada atualmente às cinzas pesadas 76
2.8.1 Considerações iniciais sobre o aproveitamento das cinzas pesadas brasileiras .. 76
2.8.2 Barreiras e benefícios do aproveitamento das cinzas pesadas brasileiras 77
2.8.3 Potencial de aproveitamentos diversos das cinzas pesadas 78
2.8.4 Disposição atual das cinzas pesadas 82
2.8.4.1 Bacias de sedimentação, cavas de minas e depósitos 82
2.8.4.2 Aproveitamento – experiências internacionais 82
2.8.4.2.1 Aplicações diversas 82
2.8.4.2.2 Aplicações em bases e sub-bases de pavimentos 84
2.8.4.3 Aproveitamento – experiências brasileiras 85
2.8.4.3.1 Aplicações diversas 85
2.8.4.3.2 Aplicações em bases e sub-bases de pavimentos 87
2.9 Pesquisas com resultados mais bem sucedidos para viabilizar o aproveitamento das cinzas pesadas brasileiras em bases e sub-bases de pavimentos 87
3 METODOLOGIA DA PESQUISA 92

3.1 Proposta de análise para viabilizar o aproveitamento das cinzas pesadas brasileiras em bases e sub-bases de pavimentos 92
3.1.1 Análise da viabilidade técnica 93
3.1.1.1 Necessidade da adição de estabilizantes químicos nas cinzas pesadas 93
3.1.1.2 Critérios para a adição dos estabilizantes químicos nas cinzas pesadas 96
3.1.1.3 Justificativa para o uso do cimento na mistura ao invés da cal 98
3.1.1.4 Distância máxima da usina misturadora até o ponto de aplicação na pista 99
3.1.2 Análise da viabilidade ambiental 100
3.1.3 Análise da viabilidade econômica 101
3.1.3.1 Sistema de Custos Rodoviários (SICRO) do DNIT 101
3.1.3.2 Custo da recuperação de áreas degradadas das fontes de materiais tradicionais 102
3.1.3.3 Custo em função da distância de transporte para aquisição dos insumos 102
3.1.3.4 Aspectos da cinza pesada e areia que afetam o custo e desempenho das soluções 104
3.2 Materiais 106
3.2.1 Cinza Leve (CL) e Cinza Pesada (CP) 106
3.2.2 Cimento (Cim) 107
3.2.3 Água 108
3.2.4 Misturas testadas de Cinza Pesada/Cinza Leve/Cimento (CP/CL/Cim) 108
3.3 Métodos 109
3.3.1 Coleta das amostras de cinzas 109
3.3.1.1 Amostra de Cinza Leve (CL) 110
3.3.1.2 Amostra de Cinza Pesada (CP) 111
3.3.2 Preparação das amostras de cinzas 112
3.3.3 Ensaios de caracterização física – CP 112
3.3.3.1 Análise granulométrica 112
3.3.3.2 Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP) 113
3.3.3.3 Massa específica real dos grãos e massa unitária solta 113
3.3.3.4 Coeficiente de inchamento 113
3.3.3.5 Classificação pelo método da Transportation Research Board (TRB) 114
3.3.4 Ensaios de caracterização da resistência mecânica 114
3.3.4.1 Ensaio de Proctor – CP, misturas 1, 4, 7, 9, 12, 13, 16 e mistura ideal 115
3.3.4.1.1 Diretrizes e critérios gerais para o ensaio 115
3.3.4.1.2 Justificativa para o uso da energia intermediária ao invés da normal 115
3.3.4.1.3 Justificativa para o ensaio de Proctor apenas das misturas 1, 4, 7, 9, 12, 13, 16 116

3.3.4.2 Índice de Suporte Califórnia (ISC) e expansão – CP e mistura ideal 117
3.3.4.3 Resistência à Compressão Simples (RCS) – CP, misturas 1 a 16 e mistura ideal 117
3.3.5 Ensaios de caracterização química e ambiental 118
3.3.5.1 Potencial Hidrogeniônico (pH) – CP, CL, Cim e 1ª mistura > 2,1 MPa 118
3.3.5.2 Classificação do resíduo sólido – CP e 1ª mistura > 2,1 MPa 120
3.3.6 Custos referenciais aplicados e cotejo das soluções de bases e sub-bases 121
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS 122
4.1 Considerações iniciais sobre os resultados obtidos 122
4.2 Análise da viabilidade técnica 122
4.2.1 Ensaios de caracterização física – CP 122
4.2.1.1 Análise granulométrica 122
4.2.1.2 Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP) 123
4.2.1.3 Massa específica real dos grãos e massa unitária solta 123
4.2.1.4 Coeficiente de inchamento 124
4.2.1.5 Classificação pelo método da Transportation Research Board (TRB) 125
4.2.2 Ensaios de caracterização da resistência mecânica 126
4.2.2.1 Ensaio de Proctor – CP, misturas 1, 4, 7, 9, 12, 13, 16 e mistura ideal 126
4.2.2.2 Índice de Suporte Califórnia (ISC) e expansão – CP e mistura ideal 129
4.2.2.3 Resistência à Compressão Simples (RCS) – CP, misturas 1 a 16 e mistura ideal 130
4.2.2.3.1 Definição da mistura ideal de Cinza Pesada/Cinza Leve/Cimento (CP/CL/Cim) 131
4.2.2.3.2 Interpretação dos resultados obtidos para a RCS aos 7 dias 133
4.2.2.3.3 Interpretação dos resultados obtidos para a RCS após 7 dias 136
4.2.2.3.4 Modelo de previsão do desempenho mecânico das misturas de CP, CL e Cim 137
4.3 Análise da viabilidade ambiental 139
4.3.1 Ensaios de caracterização química e ambiental 139
4.3.1.1 Potencial Hidrogeniônico (pH) – CP, CL, Cim e 1ª mistura > 2,1 MPa 139
4.3.1.2 Classificação do resíduo sólido – CP e 1ª mistura > 2,1 MPa 141
4.4 Análise da viabilidade econômica 145
4.4.1 Custos referenciais aplicados 145
4.4.2 Cotejo das soluções de bases e sub-bases de pavimentos 148
5 CONCLUSÃO 152
5.1 Considerações finais 152
5.1.1 Quanto às vantagens e desvantagens 152
5.1.2 Quanto à viabilidade técnica 155

5.1.2.1 Influência da adição de cinza leve e cimento na cinza pesada 156
5.1.2.2 Influência do tempo de cura para a mistura ideal com e sem cinza leve 157
5.1.3 Quanto à viabilidade ambiental 158
5.1.4 Quanto à viabilidade econômica 159
5.2 Sugestões para pesquisas futuras 160
REFERÊNCIAS 162
APÊNDICE A – Insumos básicos: custo horário de mão-de-obra do SICRO2/RS 170
APÊNDICE B – Insumos básicos: custo horário de equipamentos do SICRO2/RS 174
APÊNDICE C – Insumos básicos: custo unitário de materiais do SICRO2/RS 180
APÊNDICE D – Insumos básicos: custo unitário de transportes do SICRO2/RS 186
APÊNDICE E – Relação das CCUs auxiliares e principais empregadas e custos por km para definição das equações de custo do transporte 190
APÊNDICE F – Composições auxiliares de custo unitário utilizadas do SICRO2/RS 196
APÊNDICE G – Composições principais de custo unitário utilizadas do SICRO2/RS 238
ANEXO A – Ensaios elaborados junto a CIENTEC/RS 266
ANEXO B – Ensaios elaborados pela empresa Pró-Ambiente Análises Químicas e Toxicológicas Ltda. 306

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, é perceptível que a infraestrutura rodoviária implantada não atende adequadamente, tanto em caráter quantitativo quanto qualitativo, às demandas de logística para o escoamento da produção gerada e para a circulação de pessoas, tornando o custo com logística bem acima dos praticados por países mais desenvolvidos. Por outro lado, os mesmos centros de produção são responsáveis pela geração de elevada quantidade de resíduos industriais, que necessitam de armazenamento adequado para o seu descarte. Considerando os elevados custos com o descarte destes resíduos industriais e, ainda, a exigência e consciência ambiental crescente da sociedade, nada mais racional que desenvolver pesquisas de modo a empregar a reutilização destes rejeitos industriais. Aplicando esta concepção ao aproveitamento das cinzas de carvão residuais das termelétricas, poderão ser reduzidos os impactos ambientais e os custos operacionais, tanto para a produção de energia térmica, quanto para a ampliação da malha rodoviária brasileira.

Mehta (1986 *apud* POZZOBON, 1999) previu e enfatizou que, no futuro, a escolha dos materiais de construção deveria atender ao quádruplo enfoque iniciado pela letra E: engenharia, economia, energia e ecologia. Intrínseco a este cenário favorável para o aproveitamento dos resíduos industriais das termelétricas, existe, ainda, a crescente demanda energética brasileira, que somente está sendo atendida devido a matriz de energia térmica instalada no País. Dentro do contexto apresentado, o aproveitamento de resíduos sólidos industriais é uma estratégia benéfica, tanto para as indústrias geradoras de resíduos quanto para o segmento da indústria da construção civil rodoviária.

O segmento produtivo da construção civil apresenta elevado potencial para absorção e aproveitamento de resíduos industriais. Conforme Pozzobon (1999), este segmento produtivo tem como necessidade a redução dos custos construtivos, consumir elevado volume de recursos naturais e a diversidade de insumos na sua produção. Ao mesmo tempo, a própria construção civil é geradora de elevado volume de resíduos que podem ser reaproveitados. Segundo Lopes (2011), a construção civil rodoviária é particularmente propícia à finalidade de absorver a destinação de resíduos industriais, tendo em vista a sua característica de potencializar o nível de encapsulamento e contenção dos subprodutos, através da combinação das diversas camadas de pavimento justapostas. Todavia, é importante demonstrar quais as vantagens técnicas de se utilizar os resíduos industriais nas camadas estruturais dos pavimentos, para que o pavimento não seja apenas um local de descarte destes resíduos.

As cinzas leves (volantes) e cinzas pesadas (de fundo) são resíduos produzidos a partir da combustão e transformação do carvão fóssil em energia térmica para posterior transformação desta mesma energia térmica em energia elétrica. Historicamente, segundo Leandro (2005), a queima de carvão para a geração de energia surgiu com a revolução industrial. Nesta época, o carvão era queimado em torrões sobre grelhas instaladas dentro das câmaras de combustão, gerando energia elétrica ou mecânica e, ainda, um resíduo (escória) na época conhecido como *cinder*. As empresas geradoras de energia térmica do período, em substituição ao cascalho, costumavam utilizar o *cinder* como revestimento granular sobre as estradas em terra. De acordo com Leandro (2005), somente na década de 1920 iniciou-se o processo da queima do carvão pulverizado em caldeiras, ao invés dos torrões em câmaras. Ao contrário do *cinder*, este processo de queima mais eficiente das termelétricas começou a produzir dois resíduos de granulometria mais fina: cinza leve e cinza pesada, considerados tão ou mais prejudiciais ao meio ambiente quando comparado ao resíduo original *cinder*.

De acordo com Rohde *et al*. (2006), a capacidade máxima instalada da produção de cinzas de combustão de carvão fóssil nas termelétricas da Região Sul do Brasil e em outras unidades industriais, era cerca de 4,5 milhões de toneladas naquele ano. Não estava contabilizado a este volume as cerca de 2,5 milhões de toneladas por ano de cinzas previstas para serem geradas logo após a conclusão das obras das termelétricas em construção na época. Os autores ainda relatam que apenas cerca de 50% das cinzas produzidas na época citada eram aproveitadas ou reutilizadas. Observa-se que o percentual de aproveitamento só não é menor, devido à elevada demanda e consumo das cinzas leves pelas indústrias cimenteiras. Em contrapartida, conforme Leandro (2005), as cinzas pesadas são empregadas com sucesso na construção rodoviária nos Estados Unidos, desde a década de 1950.

Segundo Lopes (2011), no Brasil, a principal utilização das cinzas residuais da combustão do carvão fóssil ocorre através da substituição de parte do clínquer por cinza leve na fabricação do cimento, principalmente o Cimento Portland Pozolânico (CP IV). Atualmente, 100% das cinzas leves originárias do complexo termelétrico Jorge Lacerda, situado no município de Capivari de Baixo/SC, é consumido pela indústria do cimento. Ou seja, analisando os aspectos ambientais e econômicos, o aproveitamento das cinzas leves em pavimentação não é tão atrativo quanto o aproveitamento das cinzas pesadas, uma vez que as cinzas leves possuem elevado valor comercial agregado e já estão sendo consumidas pela indústria do cimento na sua totalidade.

1.1 Identificação do problema

Atualmente, as cinzas pesadas têm seu destino final, em aterros a céu aberto, bacias de sedimentação e cavas de minas exauridas. Segundo Depoi *et al*. (2008), caso estas bacias de sedimentação e aterros de resíduos não contemplem um tratamento adequado para evitar a percolação de água no seu fundo, como demonstrado na Figura 1, as cinzas pesadas depositadas podem causar significativo impacto ambiental no solo, nas águas subterrâneas e nas águas superficiais, tendo em vista a lixiviação e solubilização de elementos tóxicos presentes em sua composição, principalmente As, Cd, Mo, Pb, Ti, U, Zn e Hg.

Figura 1 – Depósito de cinzas a ceú aberto em contato com o solo



Fonte: Rohde *et al*., 2006.

Segundo Oliveira *et al*. (2011), cerca de 40% dos 4,5 milhões anuais de cinzas geradas indicados por Rohde *et al*. (2006), são formados por cinzas pesadas. Na medida em que, as cinzas pesadas foram sempre descartadas ao longo dos anos e, na atualidade praticamente não estão sendo recicladas, evidencia-se que há muito material já depositado e, a ser depositado. Ou seja, quantidade de cinza pesada não é problema, e como não há uma relevante vantagem técnica, econômica e ambiental em misturar as cinzas pesadas com outro material, como por exemplo, o solo de jazidas, então o mais conveniente é empregar a cinza pesada pura.

Rohde *et al*. (2006) ainda destacam que, geologicamente, o carvão brasileiro deveria ser classificado como um xisto carbonoso ao invés da classificação de carvão, considerando o seu teor de material inorgânico que, frequentemente, é superior a 50%. Ratificando o alto teor de cinzas do carvão brasileiro, Oliveira, M. *et al*. (2012) concluíram que, em média, 44,8% do carvão destinado à termelétrica é inorgânico, mesmo após a sua lavagem para a extração de sulfetos e das demais matérias inorgânicas presentes. Esta parte inorgânica residual é composta principalmente por argilas e areias que permanecem no carvão após o seu

beneficiamento. As substâncias inorgânicas extraídas na etapa do beneficiamento ou lavagem do carvão contemplam principalmente a extração dos sulfetos de ferro (pirita-FeS_2). Em dados gerais, cerca de 50% do carvão minerado é retido na etapa do beneficiamento. Ou seja, se ocorre uma perda de carvão minerado de 50% no beneficiamento, e deste residual, 44,8% é composto de material inorgânico como areias e argilas, por consequência, apenas 27,6% do carvão minerado pode ser considerado orgânico, reduzindo desta forma, significativamente, o potencial calorífico do carvão brasileiro.

Contudo, a maior parte das areias e argilas que permanecem após a lavagem do carvão é aproveitada pelas cimenteiras na mistura com o clínquer, tendo em vista que o material inorgânico residual é responsável principalmente pela geração das cinzas leves. Como exemplo, há comercialmente o Cimento Portland Pozolânico (CP IV) que pode chegar as seguintes proporções: 45% de clínquer + gesso, 50% de cinza leve, e 5% de calcário. Portanto, as cinzas leves são muito interessantes para a produção do cimento e, no cenário atual, são totalmente comercializadas para as cimenteiras, não caracterizando um problema ambiental.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal desta pesquisa é comprovar a viabilidade técnica, econômica e ambiental, para o aproveitamento das cinzas pesadas de carvão fóssil do Brasil, aplicando este resíduo de termelétrica na construção de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários. As cinzas pesadas usadas na pesquisa foram geradas na usina termelétrica situada no município de Charqueadas/RS, construída em 1962, pertencente à empresa Tractebel Energia. Através de ensaios laboratoriais, a cinza pesada foi avaliada sem e com a adição de pequenas parcelas de estabilizantes químicos. Quando da adição de estabilizantes químicos, foi avaliado o comportamento da cinza pesada com a adição do Cimento Portland Composto (CP II-Z) nas proporções de 2%, 4%, 6% e 8%, sendo que todas estas proporções de cimento composto com a combinação de proporções de 0%, 3%, 5% e 10% de cinza leve. A presente pesquisa foi desenvolvida com base nas normas técnicas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

1.2.2 Objetivos específicos

Tendo como referência o objetivo principal da pesquisa em tela, destacam-se os seguintes objetivos específicos:

a) Considerando os aspectos mecânicos e ambientais, determinar o potencial de estabilização química da cinza pesada com a adição de diversos teores de cimento e cinza leve, visando à criação de um modelo matemático para a previsão do desempenho mecânico desta mistura de materiais;
b) Verificar se a combinação do Cimento Portland Composto (CP II-Z) com a cinza leve resulta em um cimento pozolânico de baixo custo, mas, com propriedades químicas estabilizantes similares ao produto comercial Cimento Portland Pozolânico (CP IV) que detêm maior valor agregado;
c) Analisar a influência do tempo de cura do cimento e da cinza leve no comportamento mecânico das misturas estudadas;
d) Identificar as condições ideais de aplicabilidade da cinza pesada para bases e sub-bases de pavimentos rodoviários de modo a atender os parâmetros mínimos em termos técnicos, econômicos e ambientais;
e) Reduzir os custos e impactos ambientais intrínsecos ao processo de descarte das cinzas pesadas e, ao mesmo tempo, reduzir os custos para a construção de bases e sub-bases para pavimentos rodoviários.

1.3 Relevância e justificativas

Considerando as crescentes críticas da sociedade quanto ao sistema de termelétricas, e mesmo que não sejam geradas mais cinzas pesadas nas mesmas, mas tão somente para as que já estão depositadas, a viabilidade para o seu aproveitamento solucionará um relevante problema ambiental existente no Brasil. Todavia, é de conhecimento que a produção de cinzas poderá até ser reduzida, mas nunca eliminada, na medida em que há necessidade insaciável da indústria cimenteira pela cinza leve para misturá-la ao clínquer e produzir mais cimento com menor investimento de insumos; além da crescente demanda energética brasileira, que somente está sendo atendida devido a matriz de energia térmica instalada no País.

Leandro *et al*. (2005) expõem que, ao contrário da cinza leve, a cinza pesada gerada nas termelétricas do Sul do Brasil não está contemplada por nenhum tipo de aproveitamento, ficando depositada a céu aberto e configurando potencial risco ao meio ambiente. Portanto, é

importante o desenvolvimento de pesquisas que visem o aproveitamento deste resíduo sólido industrial, de modo a reduzir os atuais custos e impactos ambientais intrínsecos ao processo de descarte das cinzas pesadas, e ao mesmo tempo, reduzir os custos para a construção de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários.

Conforme a Confederação Nacional do Transporte (CNT), o modal de transporte rodoviário predomina no Brasil, uma vez que cerca de 65% da movimentação de cargas e 90% da de passageiros ocorrem pelas rodovias. De acordo com o Sistema Nacional de Viação de 2013 (SNV), desenvolvido e gerido pelo DNIT, o percentual da malha viária pavimentada no País é de somente 12,0%, ou seja, de um total de 1.691.522 km de rodovias implantadas e planejadas no País, somente 203.599 km de rodovias estão pavimentadas. É um percentual pouco expressivo para um país que tem o modal rodoviário como a sua base de logística de transportes, tanto para o escoamento de cargas da produção gerada, quanto para a movimentação de pessoas.

Além do mais, de acordo com pesquisa realizada pela CNT, referente às condições das rodovias brasileiras em 2013, da extensão total de rodovias avaliadas, cerca de 46,9% apresentam alguma deficiência no pavimento. Estes trechos deficientes foram classificados como rodovias em situação regular, ruim ou péssima, e correspondem a 45.375 km de rodovias deficientes de um total de 96.714 km de rodovias avaliadas pela CNT. Quanto às patologias encontradas no pavimento, os principais problemas encontrados foram: desgastes, ondulações, buracos, trincas em malha e remendos.

Segundo Silva (2006), por ocasião do milagre brasileiro, em particular na Região Sul do Brasil, ocorreu uma grande demanda de cimento gerada pela construção civil associada à necessidade da época de pavimentar consideráveis extensões de rodovia em curto espaço de tempo. Tendo em vista a quantidade restrita de materiais cimentantes no cenário apresentado, consolidou-se, na Região Sul, a execução de estruturas de pavimento do tipo flexível, nas quais as camadas de base e sub-base são em materiais granulares britados.

As novas técnicas de dimensionamento de pavimentos rodoviários condenam o arranjo de camadas de materiais granulares britados justapostos a subleitos de natureza resilientes, uma vez que esta solução origina uma estrutura muito deformável, de modo que obriga o revestimento asfáltico a trabalhar a elevados níveis de deformação de tração, fadigando precocemente esta camada. Ainda conforme Silva (2006), esta situação se agrava mais, considerando a crescente elevação do carregamento do tráfego rodoviário brasileiro. Neste contexto, a camada de revestimento asfáltico, classificada como a parte mais nobre do

pavimento, fica com sua vida útil comprometida, apresentando um desempenho mecânico incompatível com o concebido pelo projetista do pavimento.

Conforme Bernucci *et al*. (2010), a estrutura semirrígida de solo-cimento foi largamente empregada no Brasil na década de 1960, quando as obras de implantação de pavimentos rodoviários se estenderam para regiões com escassez de pedreiras. No entanto, há uma tendência dos projetistas de pavimentação em retornar a especificar em seus projetos rodoviários a solução de solo-cimento, na medida em que esta solução de estrutura é muito competitiva quando comparada com as soluções tradicionais de bases granulares para pavimentos, principalmente quando é avaliada a vida útil do revestimento asfáltico.

Trichês *et al*. (2005) destacam ser de extrema relevância obter novas estruturas de bases de pavimento com maior rigidez, visando assim, reduzir o excesso de trincas e afundamento da estrutura dos pavimentos que vêm ocorrendo precocemente nas rodovias brasileiras. Surge como alternativa para minimizar a ocorrência precoce destas patologias, a execução de camadas flexíveis sobrepostas a camadas semirrígidas. Nesta concepção de estrutura do pavimento, o revestimento asfáltico trabalha a baixos níveis de deformação de tração ou até mesmo em compressão, reduzindo significativamente a fadiga do revestimento asfáltico, uma vez que a camada semirrígida absorve e distribui melhor o carregamento imposto pelo tráfego, minimizando os efeitos negativos gerados pelas cargas repetitivas nos pavimentos.

Todavia, é indispensável o controle da cura química das camadas semirrígidas, uma vez que em alguns casos ocorre a propagação das trincas de retração desta camada para a camada do revestimento asfáltico. Para minimizar este fenômeno, o uso de cimentos pozolânicos contribui positivamente, sendo que o mesmo retarda e distribui o forte calor de hidratação liberado em cimentos comuns e, principalmente por este motivo, os cimentos pozolânicos são tecnicamente recomendados para o emprego em camadas semirrígidas de solo-cimento.

De acordo com Rosa (2009), o emprego de bases de pavimento de materiais granulares britados pode ser inviável economicamente quando a jazida destes agregados naturais está a uma distância considerável do ponto de aplicação, sem considerar, ainda, a degradação ambiental que ocorre ao explorar a jazida, que pelo atual controle ambiental, obriga a recuperação desta área explorada. Certamente, nestas situações, uma alternativa que apresenta viabilidade técnica, econômica e ambiental é o melhoramento da capacidade de suporte dos solos da região próximos da obra, através da estabilização química, com a adição de cal ou cimento. Desta forma, surge a possibilidade de substituir a solução já viável de solo-cimento, por uma solução com viabilidade mais atrativa ainda, que é a solução de cinza pesada estabilizada quimicamente com cimento.

O modelo de concepção inicial das pesquisas científicas já realizadas para o aproveitamento das cinzas pesadas brasileiras na construção de pavimentos rodoviários, inicialmente previu o uso de cinza pesada misturada com solo, até para se avaliar o potencial pozolânico da cinza pesada e também baseada na elevada resistência mecânica obtida de cinzas pesadas norte-americanas. Leandro (2005) relata que, o Índice de Suporte Califórnia (ISC) das cinzas norte-americanas, varia de 40 a 70%, garantindo um suporte suficiente para a aplicação em sub-bases e até mesmo em algumas bases de pavimentos rodoviários.

No entanto, observando a Tabela 3, onde foram reunidos os resultados de diversas referências bibliográficas, em relação à caracterização das cinzas pesadas puras e misturadas com solos naturais, percebe-se que a cinza pesada não apresentou potencial pozolânico significativo, também não apresentou ISC similar às cinzas pesadas norte-americanas e, apesar de ser classificada como um resíduo não perigoso no ensaio de lixiviação, foi classificada como resíduo não inerte no ensaio de solubilização. Até o presente momento, as pesquisas com a concepção de misturar a cinza pesada com solo natural não obtiveram o sucesso esperado para este resíduo gerado nas termelétricas brasileiras. Ainda, analisando as atuais referências bibliográficas que tratam do uso de cinzas residuais de carvão queimado em termelétricas, observa-se que a variabilidade dos resultados obtidos, principalmente para a granulometria e o Índice de Suporte Califórnia (ISC) para as cinzas pesadas puras, configura que a mesma pode ser considerada um material muito heterogêneo.

Consequentemente, a partir dos resultados das referências bibliográficas pesquisadas, apresentados na Tabela 3, ou seja, através da contribuição dos erros e acertos das demais pesquisas, foi possível rearranjar ideias e gerar uma proposta de metodologia de pesquisa para este tema de dissertação de modo a convergir para a viabilização do aproveitamento das cinzas pesadas brasileiras, considerando os aspectos técnicos, econômicos e ambientais.

Considerando o contexto apresentado, alguns pesquisadores constataram que é indispensável ampliar as propriedades mecânicas das cinzas pesadas com a adição de um estabilizante químico do tipo cimento ou cal, já que a estabilização granulométrica por si só, prevista em muitas pesquisas, não obteve resultados satisfatórios, considerando os parâmetros mínimos de comportamento mecânico exigidos nas especificações de bases e sub-bases rodoviárias. Além do mais, conforme Trichês *et al*. (2006), a adição da cal como estabilizante químico, resulta na redução das taxas de lixiviação e solubilização de compostos químicos perigosos presentes na cinza pesada, tendendo a inertizar o resíduo cinza pesada e viabilizar ambientalmente o aproveitamento do mesmo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Caracterização geológica do carvão

Segundo Press *et al*. (2006), o carvão fóssil é classificado como uma rocha sedimentar orgânica, formada pela transformação geológica da sedimentação de turfas e outras matérias orgânicas originárias da decomposição de restos vegetais presentes em pântanos que sofreram processos de soterramento. As turfas consistem em camadas geológicas de matéria orgânica concentrada contendo mais de 50% de carbono.

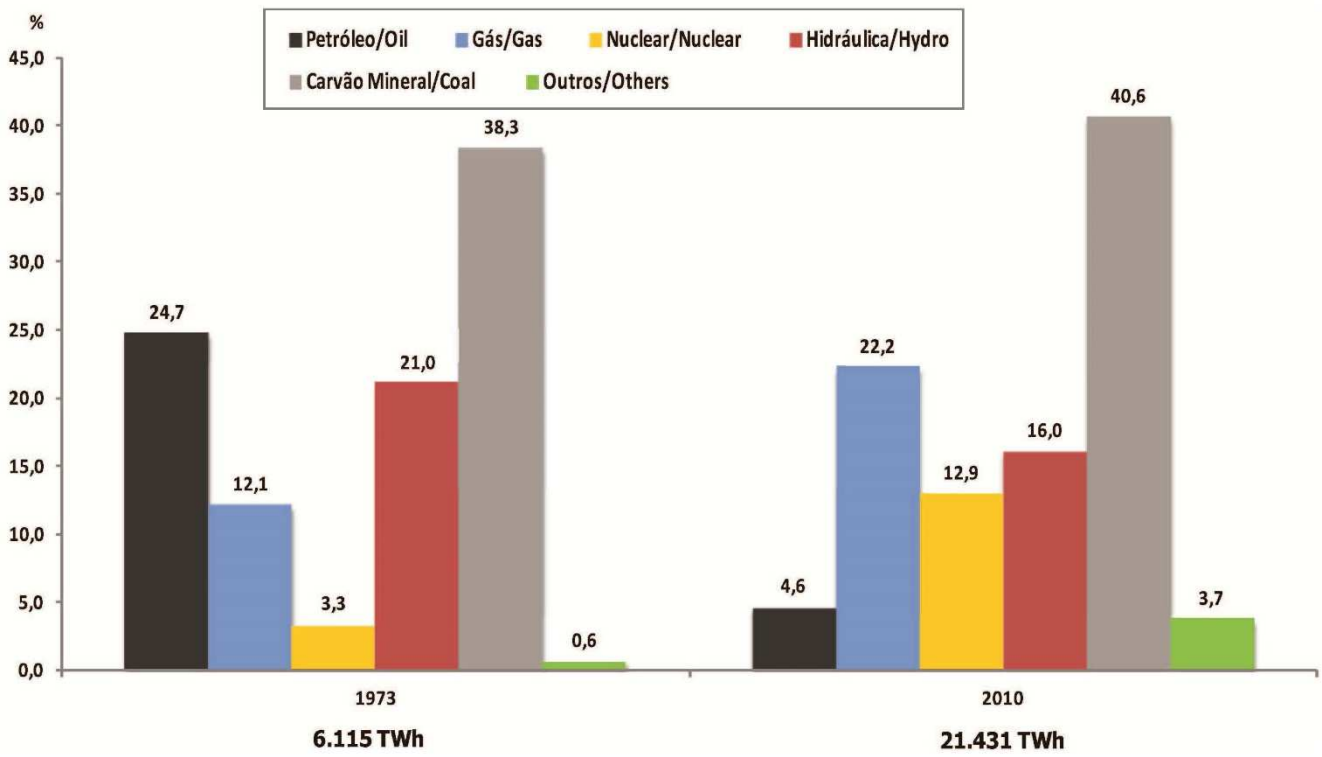
De acordo com Fallavena *et al*. (2013), sendo o carvão fóssil uma rocha sedimentar orgânica, o carvão é uma mistura heterogênea e complexa de constituintes orgânicos e inorgânicos contendo as fases sólida, líquida e gasosa intimamente misturadas. Os constituintes inorgânicos do carvão incluem os minerais, tais como cristais, grãos e agregados de vários minerais e, ainda, a presença de umidade. Devido à heterogeneidade, intrínseca a natureza da formação do carvão, se torna um desafio definir de maneira suficientemente representativa a caracterização físico-química desta rocha orgânica.

2.2 A importância do carvão para a crescente demanda energética

O carvão é considerado um importante insumo para a geração de energia e um estimulador do crescimento econômico, no entanto, segundo Sundstron (2012), o carvão está classificado como um problema ambiental de difícil solução e enfrenta as consequências da política de baixo incentivo ao setor energético. Tal cenário repercute negativamente para o estímulo às pesquisas científicas que viabilizem o aproveitamento dos seus rejeitos industriais, como as cinzas de carvão fóssil, posicionando o País na contramão das tendências mundiais pela busca da sustentabilidade ambiental. Lamentavelmente, o carvão foi estigmatizado como um “vilão ambiental”, pois, sua exploração remete historicamente a imagem degradante das fábricas do início da revolução industrial, onde a fumaça negra empestava as cidades, além de fazer lembrar o rosto sujo de cinzas dos mineiros subnutridos.

No entanto, Sabedot *et al*. (2011) destacam que organizações nacionais e internacionais, preocupadas com a produção de energia, têm enfatizado a importância do carvão fóssil para as próximas duas décadas, considerando que, a curto prazo, o carvão é a principal alternativa para o petróleo. Esta afirmativa é confirmada pelos dados da Figura 2, que demonstram a importância do carvão para a geração de energia elétrica mundial no ano de 1973 e 2010.

Figura 2 – Produção de energia elétrica mundial por fonte (1973 e 2010)

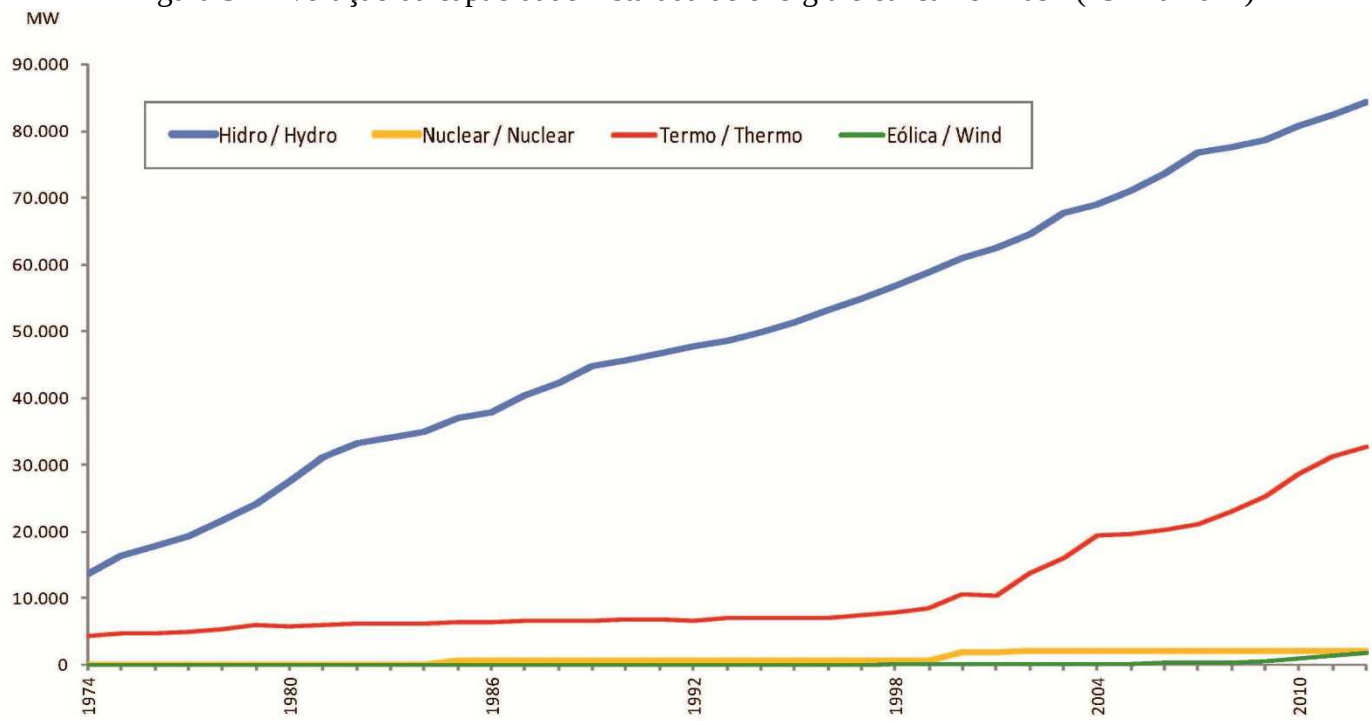


Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN), 2013.

Conforme os dados da Figura 3, extraídos do Balanço Energético Nacional (BEN), elaborado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) através da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o Brasil apresenta uma forte tendência de ampliar a participação das termelétricas no contexto da produção de energia elétrica do País. Segundo o Tribunal de Contas da União (TCU), o apagão energético de 2001 resultou em um prejuízo de R$ 45 bilhões ao País. Conforme consta na revista técnica JÁ Energia (2013), este apagão acendeu uma luz vermelha no Ministério de Minas e Energia, que, posteriormente, tornou prioritário o investimento em usinas termelétricas, onde dez anos mais tarde, foram as mesmas que garantiram o fornecimento de energia nos momentos críticos recentemente vivenciados.

No entanto, considerando que o Brasil tem dimensão continental devido a sua extensa área territorial, as termelétricas que empregam carvão fóssil como combustível, estão situadas geograficamente próximas às jazidas de carvão brasileiras, mais precisamente na Região Sul. Sendo assim, as termelétricas utilizam outros tipos de combustíveis e, por este motivo, são classificadas em dois tipos: usinas convencionais, que utilizam derivados de petróleo, gás, energia nuclear e carvão fóssil; usinas não convencionais, que operam com biomassa, resíduos orgânicos e outros combustíveis.

Figura 3 – Evolução da capacidade instalada de energia elétrica no Brasil (1974 a 2012)



Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN), 2013.

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2013, a demanda de carvão fóssil para a geração de energia elétrica aumentou 33,8% em 2012, em relação ao ano anterior. No entanto, observando-se a Tabela 1, pode ser constatado que ainda é tímida a participação do carvão fóssil para a produção de energia elétrica através das termelétricas brasileiras, sendo apenas 7,2%. Ainda conforme os dados gerais obtidos do BEN de 2013, esta participação pouco expressiva do carvão nas termelétricas é mais bem evidenciada quando se observa a oferta interna de energia elétrica por fonte, onde o carvão fóssil representa somente 1,6% da matriz energética brasileira. Em contrapartida, considerando o panorama mundial da matriz de energia elétrica, esta participação do carvão fóssil é de 40,6%, conforme dados da Figura 2.

Tabela 1 – Participação de cada fonte de combustível usado nas termelétricas para a geração de energia elétrica do Brasil, em 2012

Tipo de combustível	Participação (%)
Biomassa	30,4
Gás natural	35,4
Nuclear	12,1
Derivados de petróleo	14,9
Carvão e derivados	7,2

Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN), 2013.

No entanto, de acordo com a revista técnica JÁ Energia (2013), o crescimento produtivo médio estimado é de 4% ao ano para o Estado do Rio Grande do Sul, e para atender esta demanda, este Estado precisará duplicar a disponibilidade atual de energia elétrica. Para tanto, conforme consta na revista técnica JÁ Energia (2013), o carvão brasileiro é a maior reserva de combustível fóssil que o País detém, sendo quatro vezes superior à reserva de petróleo e mais acessível, tendo em vista que a extração do carvão é quase sempre superficial, no máximo a 200 metros, enquanto que para extrair o petróleo é preciso perfurar poços a 7 km de profundidade.

Analisando o avanço tecnológico para explorar o carvão fóssil, segundo a revista técnica JÁ Energia (2013), a tecnologia de gaseificação do carvão viabiliza o transporte do gás produzido, além de possibilitar uma maior facilidade na remoção de emissões, tais como, enxofre e cinzas, e permitir a captura do CO_2 durante a combustão. Após o acidente nuclear de Fukushima, no Japão, e o avanço tecnológico nas pesquisas para tornar o carvão fóssil menos poluente, a Europa, por exemplo, está revendo a sua estratégia de descarbonização planejada para ocorrer até o ano de 2050. A nova tecnologia da gaseificação do carvão permite empregar o gás na indústria carboquímica, onde é possível produzir diversos compostos químicos, como diesel, metanol e até gasolina, agregando significativo valor ao carvão fóssil explorado.

2.3 Caracterização do carvão fornecido pela empresa Copelmi Mineração

Segundo Sundstron (2012), as características do carvão fornecido pela empresa Copelmi Mineração Ltda., usado como matéria-prima de combustão nas termelétricas e indústrias do Rio Grande do Sul, é dependente das exigências e necessidades dos clientes, variando conforme os seguintes parâmetros: poder calorífico, teor de cinzas, distribuição granulométrica e teor de enxofre. Para garantir os parâmetros exigidos, a Copelmi Mineração realiza a mistura controlada dos diferentes tipos de carvão oriundos das diversas lavras de jazidas da região. Este processo é conhecido como blendagem, sendo realizado após o beneficiamento do carvão explorado. Os carvões obtidos das diferentes jazidas têm características próprias, considerando que cada jazida de carvão tem um histórico peculiar de formação; no entanto, de forma geral, o carvão destas jazidas pode ser classificado como um carvão sub-betuminoso. As características do carvão, o processo de beneficiamento e blendagem e, ainda, a granulometria do carvão, influenciam diretamente nas propriedades das cinzas de carvão geradas.

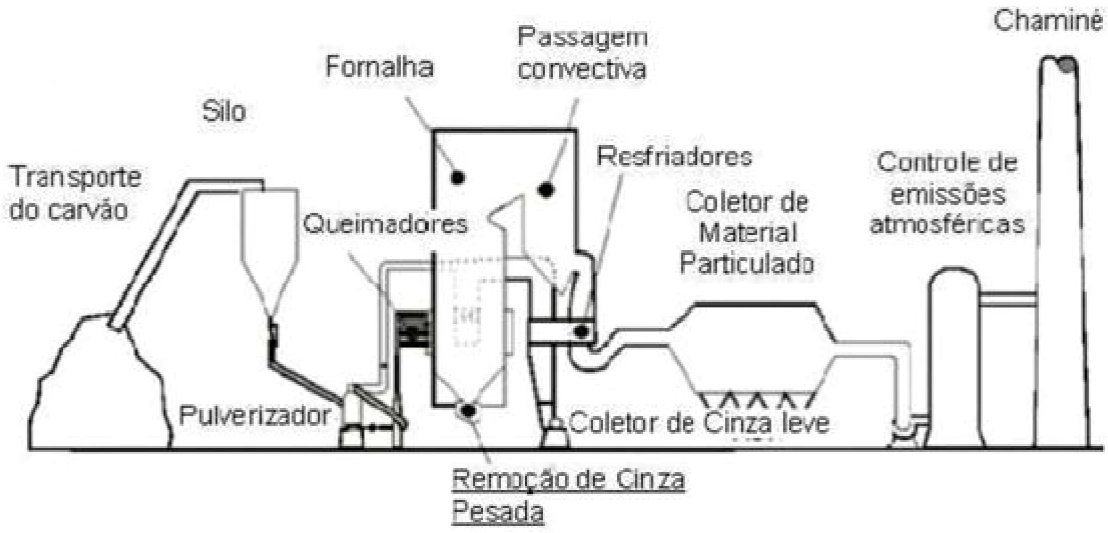
Ainda conforme Sundstron (2012), o carvão beneficiado fornecido à empresa Tractebel Energia-Unidade Térmica Charqueadas (UTCH), termelétrica que produziu as cinzas leves e pesadas da presente pesquisa, atende os seguintes parâmetros especificados para o produto: poder calorífico mínimo de 3.100 kcal/kg, teor aproximado de cinzas de 54%, teor de enxofre máximo de 1%, umidade máxima de 16%, distribuição granulométrica inferior a 50 mm e teor aproximado de 20% de material fino inferior a 3 mm. O referido carvão é oriundo do material bruto de mina, *Run Of Mine* (ROM), da área B3/B4 da mina de Butiá/RS, de menor concentração de carbono, associado ainda, ao carvão obtido pela relavagem de rejeitos de materiais mais nobres desta mesma mina. Posteriormente, por um processo de blendagem, realizado na unidade de beneficiamento do Recreio, se complementa o processo com o carvão beneficiado da mina do Cerro situada na unidade de Cachoeira do Sul/RS. Destaca-se que no processo de blendagem, é pertinente beneficiar camadas de carvão que apresentem os mais baixos teores de enxofre, tendo em vista, os limites de emissões altamente restritivos, estabelecidos pelos órgãos de controle ambiental.

2.4 Origem das cinzas leves e pesadas brasileiras

2.4.1 Processo de obtenção das cinzas

Trichês *et al*. (2006) destacam que, primeiramente, o carvão fóssil é pulverizado para ampliar a eficiência durante a sua combustão. Durante a queima do carvão, as cinzas leves que representam a maior parte do material inorgânico não eliminado pelo processo, são recuperadas nas tubulações de exaustão através do fluxo dos gases de combustão do carvão, resultando num resíduo sólido industrial seco, de elevado valor comercial, devido ao seu potencial pozolânico quando da presença de água. A menor parcela do material inorgânico não eliminado são as cinzas pesadas, que caem por gravidade em um tanque cheio de água posicionado sob a caldeira de combustão. Na medida em que este tanque extravasa com a cinza pesada, a mesma é removida com um jato de água de alta pressão e conduzida por um canal de limpeza para tanques de disposição ou para bacias de sedimentação para a perda de umidade. Conforme Lopes (2011), a parcela inorgânica do carvão fóssil não eliminada com o calor da caldeira, é composta de minerais formados por argilas, quartzos, piritas, carbonatos, entre outros minerais em menor proporção. Na Figura 4 está esquematizado o processo de queima do carvão fóssil, praticado atualmente nas termelétricas.

Figura 4 – Processo de queima do carvão fóssil em usinas termelétricas



Fonte: *University of North Dakota - Coal Ash Research Center,* (2002 *apud* FARIAS, 2005).

De acordo com Chies *et al*. (2003), tanto as condições de queima quanto as características do carvão fóssil são determinantes para as propriedades tecnológicas dos subprodutos gerados nas usinas termelétricas. Conforme Chies *et al*. (2003), a separação da matéria inorgânica (cinzas) da matéria orgânica (matéria volátil mais carbono fixo) ocorre durante o processo de combustão do carvão em grandes caldeiras de geração de vapor, as quais alimentam as turbinas geradoras de energia elétrica. Antes de ser queimado, o carvão britado é moído, resultando em um pó muito fino com granulometria inferior a 0,15 mm. O carvão já pulverizado é então insuflado para a fornalha da caldeira, que está em alta temperatura, cerca de 1.200 a 1.300 ºC. Após a queima do carvão, as cinzas de fundo caem dentro de tanques com água de resfriamento. Posteriormente, é ativado um sistema para a redução do tamanho das partículas das cinzas pesadas. Logo após, as cinzas pesadas são conduzidas hidraulicamente para tanques de decantação, onde, depois de sedimentadas, estão prontas para serem removidas. Já as cinzas leves, são coletadas durante o processo de queima, por equipamentos específicos conhecidos como precipitadores eletrostáticos.

Segundo Leandro (2005), considerando que a cinza pesada é um material granular, poroso, com granulometria representativa similar a areia natural e, ainda, tendo em vista que a cinza pesada deposita-se no fundo da caldeira de combustão do carvão, estas cinzas são transportadas por arraste hidráulico para as bacias de sedimentação, conforme ilustrado na Figura 5. O mesmo pesquisador relata que a cinza leve é um material de granulometria fina, não plástico, que apresenta propriedades pozolânicas, sendo um subproduto coletado através

do fluxo de gases provenientes da combustão do carvão nas caldeiras das termelétricas, através dos precipitadores eletrostáticos. A cinza leve aderida a estes equipamentos é transferida para os silos de estocagem, onde posteriormente será comercializada e empregada na fabricação de cimentos pozolânicos.

Figura 5 – Ponto de chegada da cinza pesada na bacia de sedimentação (à esquerda) e vista geral da bacia de sedimentação (à direita), local: Capivari de Baixo/SC



Fonte: Andrade, 2004.

2.4.2 Teor de cinzas presentes no carvão após a combustão

De acordo com Szeliga *et al*. (2011), na atualidade, o complexo termelétrico Jorge Lacerda pertencente ao Grupo Tractebel Energia é considerado o maior complexo termelétrico movido a carvão fóssil da América Latina, com capacidade de produção de 857 MW de energia, através das três usinas termelétricas (A, B e C) que compõem o complexo. Neste complexo termelétrico é utilizado como principal combustível o carvão do tipo CE 4500 (4.500 kcal/kg), com baixo poder calorífico, e consequentemente com alto teor de cinzas, cerca de 43%. O alto teor de cinzas é confirmado por Oliveira, M. *et al*. (2012), tendo em vista que constataram que em média 44,8% deste mesmo carvão é composto de material inorgânico após o seu beneficiamento.

De acordo com testes laboratoriais para a caracterização do carvão brasileiro, Fallavena *et al*. (2013) obtiveram para amostras de carvão fóssil oriundo da bacia carbonífera Sul Catarinense, o conteúdo de matéria mineral de 45,39%, destacando novamente o alto teor de cinzas presentes no carvão.

Já conforme consta em Oliveira *et al*. (2011), a termelétrica Jorge Lacerda está em funcionamento desde 1943 e, na mesma, é produzido 40% em peso de resíduos

correspondentes as cinzas do carvão. Oliveira *et al*. (2011) ainda destacam que destes 40% de cinzas produzidas, 60% são cinzas volantes (cinzas leves) e 40% são cinzas de fundo (cinzas pesadas). No entanto, Silva (2006) salienta que quando a combustão do carvão fóssil é realizada em termelétricas convencionais e sob a forma pulverizada, como é o caso do Brasil, surgem a partir dos minerais que compõem o carvão, cinzas leves e pesadas na respectiva proporção de 70% e 30%.

Tendo em vista que o teor de cinzas do carvão beneficiado é inversamente proporcional ao seu poder calorífico, Sundstron (2012) obteve um teor de cinzas médio de 51,19% para amostras de carvão beneficiado, com poder calorífico de 3.100 kcal/kg, empregados como combustível para a termelétrica do município de Charqueadas/RS.

Em contrapartida, cabe esclarecer que este elevado teor de cinzas do carvão é importante, tendo em vista que, a maior parcela do resíduo industrial corresponde às cinzas leves, as quais são totalmente consumidas pela indústria do cimento.

2.4.3 Características do processo formador das cinzas amostradas

Conforme Sundstron (2012), a empresa Tractebel Energia-Unidade Térmica Charqueadas (UTCH), termelétrica que produziu as cinzas leves e pesadas da pesquisa em tela, realiza a combustão do carvão pulverizado por leito de arraste, sendo que as caldeiras são compostas por câmaras de combustão a seco e a extração das cinzas é efetuada artificialmente. O principal combustível é o carvão fóssil com poder calorífico mínimo de 3.100 kcal/kg, no entanto, é empregado também o óleo diesel como combustível secundário. São queimados entre 28 e 37 mil toneladas de carvão ao mês, com capacidade de combustão diária em torno de 2 mil toneladas, produzindo cerca de 75 mil kWh de energia elétrica.

Ainda segundo Sundstron (2012), a empresa Copelmi Mineração descarrega o carvão transportado por rodovia em uma área de armazenamento coberta, junto à termelétrica, com capacidade de 8 mil toneladas. Através de um sistema de correias, o carvão é transportado deste ambiente para silos de estocagem com capacidade individual de 225 toneladas, sendo um total de oito silos. Posteriormente, dois moinhos do tipo martelo com capacidade horária de 12 toneladas, realizam a pulverização do carvão, obtendo um pó onde 70% é passante na peneira 200 *mesh* (0,075 mm), o qual em seguida alimenta o conjunto de caldeiras para a queima. As quatro caldeiras de combustão do carvão possuem capacidade individual de queima de 500 t/h, sendo possível usar simultaneamente o óleo diesel como combustível secundário.

Na termelétrica de Charqueadas/RS, Sundstron (2012) destaca que as cinzas leves são conduzidas através do fluxo dos gases da queima da caldeira até o seu ponto de extração. A recuperação das cinzas leves é formada por um sistema de filtro de mangas, instalado em substituição ao precipitador eletrostático, tendo em vista, a sua maior eficiência para a redução de material particulado. Posteriormente, os gases ainda atravessam um incomum sistema dessulfurizador, para a remoção de enxofre, onde é aspergida uma solução saturada de cal para extrair, dos gases da queima, as partículas residuais passantes pelo filtro de mangas. As cinzas leves, extraídas pelo filtro de mangas, são transportadas através de ar comprimido para silos, onde aguardam até sua distribuição comercial aos seus consumidores. No entanto, as cinzas pesadas caracterizadas por partículas de dimensões maiores, através da gravidade caem para o fundo da caldeira de combustão, sendo depositadas num tanque de água, onde são extraídas por um sistema de limpeza para duas correias que transportam as cinzas pesadas até quatro tanques de decantação para a redução da umidade, que após esta etapa, são carregadas sobre caminhões e encaminhadas para a disposição final. A proporção entre as cinzas leves e as cinzas pesadas é configurada historicamente pela variação de 60 a 70% de cinzas leves, sendo o restante formado por cinzas pesadas.

2.5 Caracterização das cinzas leves e pesadas brasileiras

2.5.1 Considerações iniciais sobre a caracterização das cinzas

De acordo com Leandro (2005), a cinza leve caracteriza-se por ser um resíduo finamente dividido, inorgânico, de cor cinza claro devido a menor presença de carbono, não plástico, com partículas esféricas, granulometria uniforme e com tamanho dos grãos similares ao dos siltes naturais, além de apresentar atividade pozolânica com a presença de água. Em contrapartida, a cinza pesada é caracterizada por ser um resíduo relativamente grosso, inorgânico, de cor cinza escuro, não plástico, poroso, e com predominância granulométrica semelhante às areias naturais. Em relação à umidade *in loco* das cinzas, Sundstron (2012) obteve valores médios inferiores a 0,2% para a umidade das cinzas leves, enquanto que, para a umidade das cinzas pesadas foram obtidos valores entre 40 e 50%, justificando as nomenclaturas alternativas empregadas para as cinzas, as quais são: cinza seca para a cinza leve, e cinza úmida para a cinza pesada.

Evidenciando o elevado grau de heterogeneidade das cinzas, Camara (2011) menciona que as propriedades físico-químicas das cinzas obtidas em usinas termelétricas são

influenciadas por diversos fatores, tais como: composição e poder calorífico do carvão; grau de beneficiamento e moagem do carvão; tipo, projeto e operação da caldeira; sistema de extração e o manuseio das cinzas leves e pesadas. Portanto, considerando estes fatores, a composição e as propriedades físico-químicas das cinzas apresentam variação, não apenas de uma termelétrica para outra, mas também na mesma termelétrica em diferentes caldeiras, assim como, na mesma caldeira em tempos e situações de queima diferentes.

Leandro (2005) confirma a heterogeneidade das cinzas produzidas em uma mesma caldeira, mencionando que no interior das caldeiras, ocorrem diferentes zonas de temperaturas, promovendo diferentes características físico-químicas, mineralógicas e microestruturais para as cinzas produzidas após a combustão das partículas do carvão pulverizado. Exposições do carvão a baixas temperaturas estimulam a formação de partículas de cinzas com menor grau de arredondamento, enquanto que, em elevadas temperaturas as partículas tendem a tomar a forma arredondada, além de que, ocorre a predominância de partículas esféricas nas parcelas mais finas das cinzas.

Sundstron (2012) concluiu, através de ensaios laboratoriais de três amostras de cinzas leves e pesadas de três termelétricas distintas, que ocorre significativa variação entre as cinzas pesadas oriundas da mesma ou de termelétricas diferentes. No entanto, as cinzas leves apresentam composições mais estáveis e reprodutíveis, considerando que o processo da combustão do carvão privilegia a homogeneização das cinzas leves e a heterogeneização das cinzas pesadas. Segundo Sundstron (2012), estes seriam os principais fatores que estimulam a preferência da indústria cimenteira pelo uso da cinza leve, em detrimento a cinza pesada.

Silva (2006) destaca que a elevada aplicação de cinzas pesadas para obras de pavimentação em outros países, está relacionada ao tipo do carvão que está sendo queimado. Na Dinamarca, Alemanha, nos Países Baixos e também nos Estados Unidos, não é necessário à pulverização do carvão fóssil para permitir uma melhor queima, como ocorre no Brasil, devido ao seu baixo teor de matéria orgânica. Na Figura 6, pode ser observado a diferença da graduação e do aspecto entre a cinza pesada produzida nos países mencionados e no Brasil. Destaca-se que a granulometria da cinza pesada produzida em outros países é predominantemente pedregulhosa.

Considerando o exposto, a revisão bibliográfica para a caracterização das cinzas leves e pesadas, concentrou-se nas cinzas produzidas pelas termelétricas brasileiras, mas sempre destacando as cinzas geradas pela Unidade Térmica Charqueadas (UTCH) pertencente à empresa Tractebel Energia, tendo em vista que esta termelétrica produziu as amostras de cinzas leves e pesadas coletadas para a presente pesquisa científica. Objetivando a

contextualização do cenário existente das termelétricas a carvão fóssil em operação no Brasil, a partir do Atlas de Energia Elétrica do Brasil (2008) elaborado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) através da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), foram extraídos os dados apresentados na Tabela 2 para as sete usinas termelétricas a carvão em operação, localizadas na Região Sul do País, totalizando a potência instalada de 1.905 MW, em 2008. Todavia, tendo em vista as termelétricas projetadas e em construção citadas por Rohde *et al*. (2006), aliada a evidente necessidade de energia do País, a potência instalada atingirá 5.082 MW com a realização dos próximos leilões de energia a serem coordenadas pela ANEEL.

Figura 6 – Cinza pesada produzida nos Estados Unidos, Dinamarca, Alemanha e Países Baixos (à esquerda) e cinza pesada produzida no Brasil (à direita)



Fonte: Silva, 2006.

Tabela 2 – Centrais termelétricas a carvão fóssil em operação no Brasil, em novembro/2008

Usina	Potência (MW)		Município/UF	Proprietário	Poder calorífico superior do carvão usado (kcal/kg)
Charqueadas	72		Charqueadas/RS	Tractebel Energia S/A.	3.100
Figueira	160		Figueira/PR	Copel Geração S/A.	5.000 a 6.000
Jorge Lacerda I e II	232	857	Capivari de Baixo/SC	Tractebel Energia S/A.	4.500
Jorge Lacerda III	262				
Jorge Lacerda IV	363				
Presidente Médici A/B/C	796		Candiota/RS	Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica-Eletrobras (CGTEE)	2.600 a 3.200
São Jerônimo	20		São Jerônimo/RS		3.800 a 4.200

Fonte: Atlas de energia elétrica do Brasil, 2008.

De acordo com Rohde *et al*. (2006), no Brasil, cerca de 90 a 95% das cinzas de carvão fóssil são produzidas pelas usinas termelétricas, sendo que a parcela restante de 5 a 10% são provenientes de unidades industriais que usam o carvão para a geração de vapor e calor.

A Tabela 3, comentada oportunamente ao longo da pesquisa em foco, apresenta os resultados e parâmetros obtidos nas diversas referências bibliográficas pesquisadas que tratam do uso de cinzas residuais de carvão queimado em termelétricas. A presente tabela reúne uma série de informações das cinzas leves e pesadas, inclusive com misturas com outros materiais aglomerantes ou não, mas, principalmente, no que diz respeito à caracterização física, a caracterização da resistência mecânica, e a caracterização ambiental das cinzas leves e pesadas puras obtidas através de ensaios laboratoriais.

2.5.2 Caracterização física

2.5.2.1 Análise granulométrica

Segundo Lopes (2011), as cinzas pesadas residuais de carvão queimado em termelétricas detêm elevada variação granulométrica, no entanto, na maioria dos casos, apresentam características granulares, sendo um material não plástico e não coesivo, com predominância dos grãos com tamanho de areia e silte com baixos teores de argila.

Ratificando o elevado grau de heterogeneidade das cinzas leves e pesadas, mencionado anteriormente, apresentam-se nas Figuras 7 e 8 as variações das curvas granulométricas das cinzas leves e pesadas coletadas em diferentes épocas e por três termelétricas brasileiras diferentes. Para a confecção dos gráficos ilustrados nas Figuras 7 e 8, primeiramente foram lançadas todas as composições granulométricas das referências bibliográficas contempladas por esta pesquisa científica e, posteriormente, permaneceram apenas as curvas granulométricas extremas e algumas intermediárias com a finalidade ilustrativa. Este procedimento foi realizado na tentativa de estipular uma faixa granulométrica estimada para as cinzas leves e para as cinzas pesadas produzidas nas termelétricas brasileiras.

Observando a Figura 7, que apresenta as curvas granulométricas das cinzas pesadas, destaca-se que a cinza pesada classificada com menor granulometria é a obtida por Chies *et al*. (2003), enquanto que, a cinza pesada identificada com maior granulometria é a amostra nº 2 estudada por Sundstron (2012), ambas as cinzas oriundas da termelétrica do município de Charqueadas/RS, evidenciando desta forma, o elevado grau de heterogeneidade da granulometria das cinzas pesadas para a mesma termelétrica de origem.

Tabela 3 - Resultados e parâmetros obtidos nas referências bibliográficas que tratam do uso de cinzas de carvão residuais de termelétricas

				Chies *et al.* (2003)	Higashi *et al.* (2003)	Andrade (2004)	Dias (2004)	Nardi (2004)	Leandro (2005)	Trichês *et al.* (2005)	Trichês *et al.* (2006)	Rohde *et al.* (2006)	Santos (2008)	Rosa (2009)	Vizcarra *et al.* (2010)	Camara (2011)	Lopes (2011)	Oliveira *et al.* (2011)	Silva (2011)	Szeliga *et al.* (2011)
Cinza Pesada Composição (S/CP) (0/100) **ou** **Cinza Leve** Composição (S/CL) (0/100)	**Representatividade da Amostra**		Bacia de Sedimentação ou Aterro da Amostra Coletada	Candiota, Copesul, Charqueadas, Riocell, Tubarão	Capivari de Baixo/SC	Capivari de Baixo/SC	Rio Grande/RS	Capivari de Baixo/SC	Capivari de Baixo/SC	Capivari de Baixo/SC	Capivari de Baixo/SC	Charqueadas/RS	Capivari de Baixo/SC	Charqueadas/RS	Usina Verde, Ilha do Fundão, UFRJ Rio de Janeiro/RJ	Capivari de Baixo/SC	Capivari de Baixo/SC	Capivari de Baixo/SC	Figueira/PR	Capivari de Baixo/SC
			Tipo de Cinza Estudada	Cinza Pesada	Cinza Pesada	Cinza Pesada	Cinza Leve Queima Incomp.	Cinza Leve	Cinza Pesada	Cinza Pesada	Cinza Pesada	Cinza Pesada	Cinza Pesada	Cinza Leve	Cinza Pesada/Leve de **RSU** Incinerado	Cinza Pesada	Cinza Pesada/Leve	Cinza Pesada/Leve	Cinza Leve	Cinza Pesada/Leve
			Nº de Amostras	5 das Bacias de Sedimentação	1 da Bacia da Unidade A ou B	1 da Bacia 7 da Unidade C	1 do Reserv. da Bianchini	1 do Reserv. da Usina	1 da Bacia da Unidade C	1 da Bacia 7 1 da Bacia 8	1 da Bacia 7	1 da Bacia de Sedimentação	1 da Bacia de Sedimentação	1 do Reserv. da Usina	1 do Reserv. da Usina	1 Tonel enviado pela SATC*	1 Tonel enviado pela SATC*	1 Tonel enviado pela SATC*	1 Retida no Filtro Ciclone da Usina	1 Tonel enviado pela SATC*
	Caracterização Física		Limite de Liquidez LL (%)	Não Plástico	Não Plástico	-	-	-	Não Plástico	-	Não Plástico	Não Plástico	Não Plástico	Não Plástico (CL)	Não Plástico (CP e CL)	-	Não Plástico (CP e CL)	Não Plástico (CP e CL)	-	-
			Limite de Plasticidade LP (%)	Não Plástico	Não Plástico	-	-	-	Não Plástico	-	Não Plástico	Não Plástico	Não Plástico	Não Plástico (CL)	Não Plástico (CP e CL)	-	Não Plástico (CP e CL)	Não Plástico (CP e CL)	-	-
			Teor de Umidade Natural (%)	-	-	-	-	-	-	-	30,0	-	-	-	-	-	-	-	5,02 (CL)	-
			Coeficiente de Inchamento Máximo/Teor de Umidade (%)	-	-	1,53/36	-	-	-	1,65/12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Massa Específica Real dos Grãos (gcm^{-3})	2,090 a 2,280	-	1,674	1,820 (CL)	-	1,979	1,910	1,920	2,210	-	2,280 (CL)	2,434 (CP) 2,412 (CL)	-	1,988 (CP) 2,105 (CL)	1,988 (CP) 2,105 (CL)	2,448 (CL) (pH=10,60)	-
			Massa Unitária Solta (gcm^{-3}) (Material Seco)	0,622 a 0,80 Teor Umid.(24a44%)	-	0,63 (amostra não destorroada)	-	-	-	1,08 (amostra não destorroada)	-	0,622 (Teor Umid. 38,4%)	-	-	-	-	-	-	-	-
			Proporção de Areia/Pedregulho (%)	41 a 70 / 1 a 2	-	-	-	-	-	-	76/0 (amostra destorroada)	55 / 0	-	8/0 (CL)	63/3 (CP) 54/0 (CL)	-	75/25 (CP) 5/0 (CL)	75/25 (CP) 5/0 (CL)	-	-
			Classificação da Cinza (*Transportation Research Board* –TRB)	-	A-3 (Areia Fina)	-	-	-	A-3 (Areia Fina)	-	-	-	A-2-4 (Areia Fina Siltosa)	-	A-2-4(Ar.Silt)(CP) A-4 (Silte) (CL)	-	A-2-4(Ar.Silt)(CP) A-4 (Silte) (CL)	A-2-4(Ar.Silt)(CP) A-4 (Silte) (CL)	-	-
	Caracterização Resistência Mecânica	**Ensaio Proctor**	Teor de Umidade Ótima (%)	30,3 a 54,5 29,7 a 51,2	-	-	-	-	-	-	42,0	54,5 49,7	47,0	-	-	-	38,0 (CP) 22,8 (CL)	-	-	38,0 (CP) 22,8 (CL)
			Massa Específica Aparente Seca (gcm^{-3})	0,868 a 1,162 0,910 a 1,191	-	-	-	-	-	-	0,95 (amostra não destorroada)	0,904 0,958	0,947	-	-	-	1,846 (CP) 1,925 (CL)	-	-	1,846 (CP) 1,925 (CL)
			Tipo da Energia de Compactação	Normal Intermediária	-	-	-	-	-	-	Normal	Normal Intermediária	Normal	-	-	-	Modificada	-	-	Modificada
			Índice de Suporte Califórnia ISC (%)	19 a 32 24 a 42	-	-	-	-	-	-	5 (amostra não destorroada)	19 24	15,4	-	-	-	-	-	-	-
			Expansão (%)	0 a 0,3 0 a 0,3	-	-	-	-	-	-	0,0	0,1 0,2	0,0	-	-	-	-	-	-	-
			Módulo de Resiliência (MPa) (Tensão confinante: 0,10 MPa) (Ensaio Triaxial de Cargas Repetidas)	-	-	-	-	-	-	-	125	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Caract. Ambiental		Classificação do Resíduo Sólido conforme os Ensaios de Lixiviação e Solubilização (Anexos F e G da NBR 10004:2004)	Classe II A Resíduo Não Inerte (Não Perigoso)	-	-	-	-	-	-	Classe II A Resíduo Não Inerte (Não Perigoso)	Classe II A Resíduo Não Inerte (Não Perigoso)	-	-	CP e CL: Classe II A Resíduo Não Inerte (Não Perigoso)	-	Class.II-Não Perig.: IIB Res. In. (CP) IIA Res.Não In.(CL)	Class.II-Não Perig.: IIB Res. In. (CP) IIA Res.Não In.(CL)	-	-
Solo Composição (S/CP) (100/0)	**Caracterização Física**		Limite de Liquidez LL (%)	-	-	-	-	-	51 a 67	-	49	-	-	23	60	53	Não Plástico	Não Plástico	-	-
			Limite de Plasticidade LP (%)	-	-	-	-	-	32 a 39	-	40	-	-	13	24	39	Não Plástico	Não Plástico	-	-
			Coeficiente de Inchamento Máximo/Teor de Umidade (%)	-	-	1,29/8	-	-	-	1,31/9,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Massa Específica Real dos Grãos (gcm^{-3})	-	-	2,633 (Areia)	-	-	2,632 a 2,688	2,71 (Areia)	-	-	-	2,640	2,709	2,651	2,772	2,772	-	-
			Massa Unitária Solta (gcm^{-3}) (Material Seco)	-	-	1,443 (Areia)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Proporção de Areia/Pedregulho (%)	-	-	-	-	-	35 a 44/0	-	25/0	-	-	62/0	24/3	-	64/17	64/17	-	-
			Classificação do Solo (*Transportation Research Board* –TRB)	-	A-5 (Silte)	-	-	-	A-7-5 a A-7-6 (Argila)	-	A-5 (Silte)	-	-	A-2-4 (Areia Fina Siltosa)	A-7-6 (Argila)	(Argila Silto-arenosa)	A-2-4 (Areia Fina Siltosa)	A-2-4 (Areia Fina Siltosa)	-	-
	Caracterização Resistência Mecânica	**Ensaio Proctor**	Teor de Umidade Ótima (%)	-	-	-	-	-	18,7 a 20,6	-	19,0	-	-	7,0	18,5	24,7	9,7	-	-	9,7
			Massa Específica Aparente Seca (gcm^{-3})	-	-	-	-	-	1,720 a 1,724	-	1,710	-	-	2,010	1,718	1,550	2,065	-	-	2,065
			Tipo da Energia de Compactação	-	Normal	-	-	-	Intermediária	-	Normal	-	-	Modificada	Modificada	Normal	Modificada	-	-	Modificada
			Índice de Suporte Califórnia ISC (%)	-	22,8	-	-	-	10,1 a 25,0	-	10,6	-	-	-	2,0	-	-	-	-	-
			Expansão (%)	-	0,2	-	-	-	0,2 a 1,2	-	3,6	-	-	-	4,9	-	-	-	-	-
			Módulo de Resiliência (MPa) (Tensão confinante: 0,10 MPa) (Ensaio Triaxial de Cargas Repetidas)	-	-	-	-	-	-	-	110	-	-	-	150	-	110	-	-	110
Mistura Solo/Cinza Pesada	**Caracterização Resistência Mecânica**		Composição (S/CP) que Atingiu Melhor Desempenho	-	65/35	-	-	-	65/35	0/22 + Pedr.+ Brita+Pó Pedra	70/30	0/100	-	50/50 (S/CL)	80/20 (S/CP) 80/20 (S/CL)	-	60/40	-	-	60/40
		Ensaio Proctor	Teor de Umidade Ótima (%)	-	-	-	-	-	20,6	7,2	16,7	-	-	16,0	16,0 14,0	-	-	-	-	-
			Massa Específica Aparente Seca (gcm^{-3})	-	-	-	-	-	1,526	1,990	1,590	-	-	1,585	1,670 1,640	-	-	-	-	-
			Tipo da Energia de Compactação	-	Normal	-	-	-	Intermediária	Intermediária	Normal	-	-	Modificada	Modificada	-	-	-	-	-
			Índice de Suporte Califórnia ISC (%) (Cura de 4 dias)	-	46,9	-	-	-	39,0	-	19,2	-	-	-	33,0 8,0	-	-	-	-	-
			Expansão (%) (Cura de 4 dias)	-	0,0	-	-	-	0,0	-	0,6	-	-	-	4,77 3,60	-	-	-	-	-
			Resistência à Compressão Simples (MPa) (Cura de 90 dias) (RCS90)	-	-	-	-	-	0,5	-	0,5	0,46	-	-	-	-	-	-	-	-
			Módulo de Resiliência (MPa) (Cura de 0 dias) (Tensão confinante: 0,10 MPa) (Ensaio Triaxial de Cargas Repetidas)	-	-	-	-	-	32 (Método Empírico)	-	140	-	-	-	150 200	-	190	-	-	190
Mistura Solo/Cinza Pesada/Cinza Leve/Cal	**Caracterização Resistência Mecânica**		Composição (S/CP/CL/Cal) que Atingiu Melhor Desempenho	0/90/0/10	65/35/0/5	-	0/0/91/9	0/0/87,9/12,1	65/32/0/3	0/22/0/3.8 (cim)+ Pedr.+Brita+Pó Pedra	70/30/0/4	0/96/0/4	-	70/0/25/5	-	-	70/27/0/3 90/0/7/3	-	60/20/8/12 S/Lodo/CL/Cim	70/27/0/3 90/0/7/3
		Ensaio Proctor	Teor de Umidade Ótima (%)	-	-	-	18,0	-	-	7,1	19,0	-	-	14,0	-	-	16,8 11,1	-	-	16,8 11,1
			Massa Específica Aparente Seca (gcm^{-3})	-	-	-	0,947	-	-	2,090	1,390	-	-	1,700	-	-	1,598 1,941	-	-	1,598 1,941
			Tipo da Energia de Compactação	-	Normal	-	Intermediária	Intermediária	Intermediária	Intermediária	Normal	Intermediária	-	Modificada	-	-	Modificada	-	-	Modificada
			Índice de Suporte Califórnia ISC (%) (Cura de 28 dias)	-	52,4 (Cura 4 dias)	-	120,0	-	107,0	-	92,1	75,0	-	-	-	-	-	-	-	-
			Expansão (%) (Cura de 28 dias)	-	0,08 (Cura 4 dias)	-	0,0	0,0	0,0	-	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-
			Resistência à Compressão Simples (MPa) (Cura de 28 dias) (RCS28)	6,0 a 10,0 (moldado com alta pressão)	-	-	0,49 (28d) 0,53 (90d)	16,9 Estimado através Rt	1,0	7,0 (pedrisco+brita=53%)	0,9	-	-	2,4 (28d) 5,9 (90d)	-	-	-	-	2,1	-
		Módulo de Resiliência (MPa) (Tensão confinante: 0,10 MPa) (Ensaio Triaxial de Cargas Repetidas)	Tempo de Cura: 0 dias	-	-	-	-	-	42 (Método Empírico)	-	-	-	-	-	-	-	170 200	-	-	170 200
			Tempo de Cura: 7 dias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	250 290	-	-	250 290
			Tempo de Cura: 15 dias	-	-	-	-	-	-	-	250	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Tempo de Cura: 28 dias	-	-	-	2.813	-	72 (Método Empírico)	11.580	-	-	-	-	-	-	310 420	-	-	310 420
			Tempo de Cura: 90 dias	-	-	-	-	-	112 (Método Empírico)	14.100	-	-	-	-	-	-	350 560	-	-	350 560

Fonte: Autoria própria, 2013. Dados extraídos das fontes citadas na tabela.

* Associação Beneficiente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina (SATC)

Pesquisas com cinzas residuais de Capivari de Baixo/SC (Termelétrica Jorge Lacerda)

Pesquisas com cinzas residuais de outros locais

Resultados mais bem sucedidos

Analisando a Figura 8, que ilustra as curvas granulométricas das cinzas leves, salienta-se que a cinza leve identificada com menor granulometria é a obtida por Lopes (2011), para as cinzas leves da termelétrica de Capivari de Baixo/SC, enquanto que a cinza leve classificada com maior granulometria é a amostra nº 1 estudada por Sundstron (2012), para as cinzas leves da termelétrica de Charqueadas/RS, evidenciando desta forma, o elevado grau de heterogeneidade da granulometria das cinzas leves para diferentes termelétricas. No entanto, analisando somente as amostras de cinzas leves nº 1 e 3 estudadas por Sundstron (2012), ambas obtidas junto à termelétrica de Charqueadas/RS, também é demonstrada a heterogeneidade da granulometria das cinzas leves para uma mesma termelétrica de origem.

2.5.2.2 Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP)

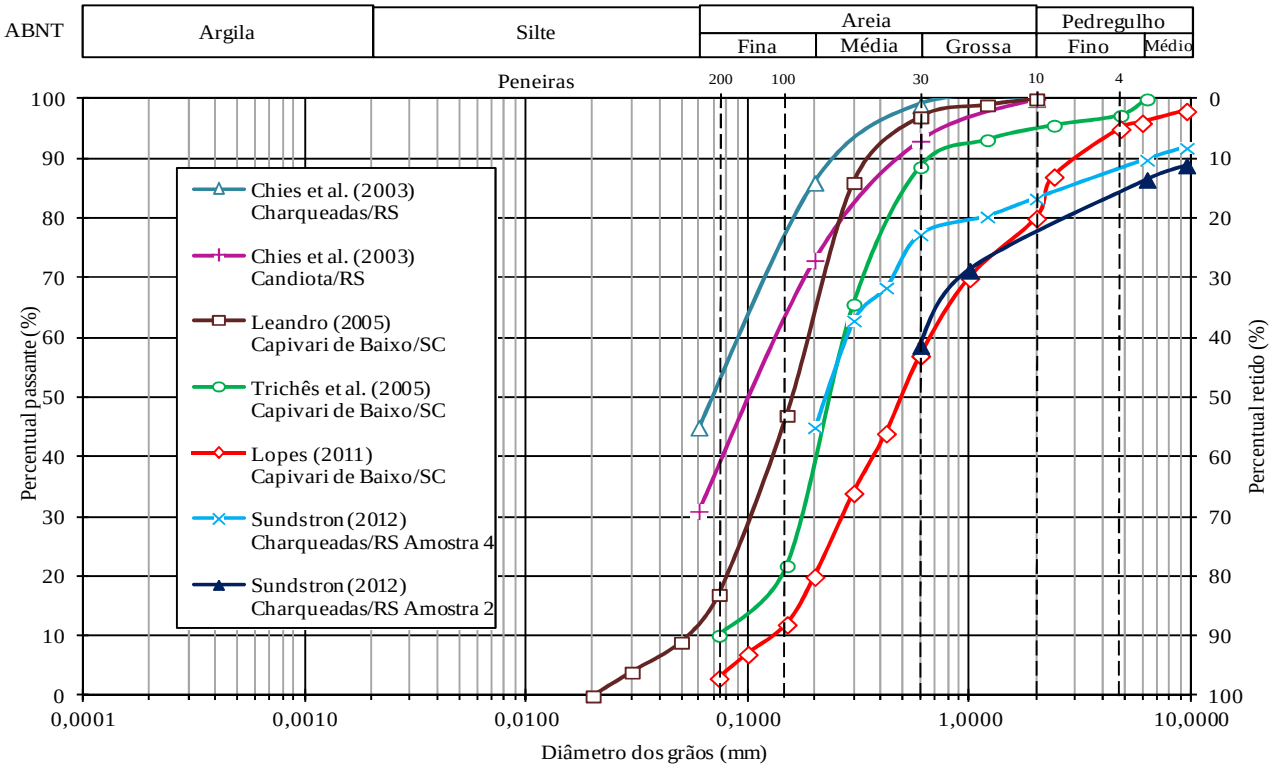
Conforme pode ser observado na Tabela 3, todas as referências bibliográficas contempladas por esta pesquisa científica, que estudaram em laboratório as cinzas leves e pesadas classificaram estes materiais como não plásticos e não coesivos.

2.5.2.3 Massa específica real dos grãos e massa unitária solta

De acordo com a Tabela 3 apresentada para as cinzas pesadas estudadas, a massa específica real dos grãos mínima identificada é 1,674 gcm^{-3}, conforme Andrade (2004) para as cinzas pesadas da termelétrica de Capivari de Baixo/SC, e o valor máximo é 2,360 gcm^{-3} obtido por Sabedot *et al*. (2011), para as cinzas pesadas de Triunfo/RS. Especificamente para a termelétrica de Charqueadas/RS, o mínimo obtido é de 2,210 gcm^{-3}, conforme Chies *et al*. (2003), e o máximo é 2,310 gcm^{-3} obtido por Sabedot *et al*. (2011), evidenciando uma pequena variação de valores para diferentes pesquisas em diferentes épocas.

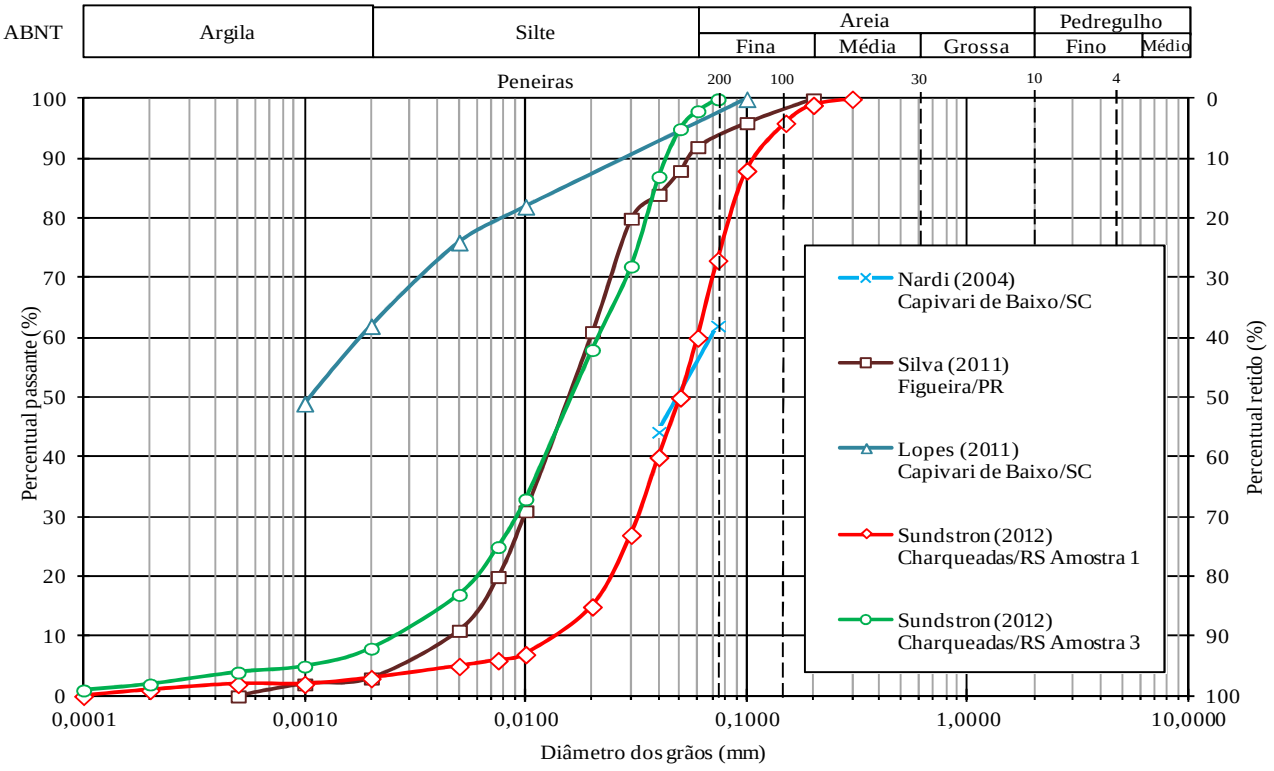
Contudo, analisando a Tabela 3 para as cinzas leves, a massa específica real dos grãos apresentou o mínimo de 1,820 gcm^{-3}, de acordo com Dias (2004) para as cinzas leves de Rio Grande/RS, e o valor máximo de 2,448 gcm^{-3}, conforme Silva (2011) para as cinzas leves da termelétrica de Figueira/PR. Considerando somente a termelétrica de Charqueadas/RS, o mínimo obtido é 2,170 gcm^{-3}, conforme Sabedot *et al*. (2011), e o máximo é 2,280 gcm^{-3} obtido por Rosa (2009), demonstrando pouca variação para pesquisas científicas distintas e em diferentes períodos de tempo.

Figura 7 – Variação das curvas granulométricas das cinzas pesadas coletadas em diferentes épocas e por três termelétricas brasileiras distintas



Fonte: Autoria própria, 2014. Dados extraídos das fontes citadas na legenda.

Figura 8 – Variação das curvas granulométricas das cinzas leves coletadas em diferentes épocas e por três termelétricas brasileiras distintas



Fonte: Autoria própria, 2014. Dados extraídos das fontes citadas na legenda.

Pode ser destacado nos dados apresentados somente para a termelétrica de Charqueadas/RS, que há uma tendência da massa específica real dos grãos da cinza leve apresentar valores um pouco inferiores à massa específica real dos grãos da cinza pesada. Em contrapartida, os valores da massa específica real dos grãos dos solos pesquisados, apresentaram variação de 2,632 a 2,772 gcm^{-3}, indicando que as cinzas leves e pesadas são materiais bem mais leves que os solos encontrados na natureza.

As referências bibliográficas contempladas por esta pesquisa científica apresentaram resultados de massas unitárias em situações de umidades adversas, dificultando a análise por comparação dos resultados. No entanto, conforme apresentado na Tabela 3, a massa unitária solta mínima identificada é 0,622 gcm^{-3} para o teor de umidade de 38,4% conforme Chies *et al*. (2003), para as cinzas pesadas da termelétrica de Charqueadas/RS, e o valor máximo de 1,080 gcm^{-3}, com umidade não informada, obtido por Trichês *et al*. (2005), para as cinzas pesadas da termelétrica de Capivari de Baixo/SC. Rohde *et al*. (2006) mediram a massa unitária solta para diversos teores de umidades, e constataram que a massa unitária altera-se significativamente com a variação dos teores de umidade, tendo em vista, a ocorrência do fenômeno de inchamento das cinzas pesadas.

2.5.2.4 Coeficiente de inchamento

Em relação ao potencial de inchamento da cinza pesada, analisando os dados da Tabela 3, os mesmos confirmam que o volume da cinza pesada é fortemente afetado pela presença de água, assim como ocorre na areia natural, no entanto, em maior grau. Ou seja, com o acréscimo de umidade, os dados da Tabela 3 sugerem que ocorre um aumento considerável do volume de cinza pesada em relação ao volume de areia natural, nas situações de operação destes materiais nas unidades em volume, ao invés das unidades em massa.

Observando a Tabela 3 para os valores do Coeficiente de Inchamento Máximo ($CI_{máx}$) da cinza pesada, identifica-se o valor mínimo de 1,53 para o teor de umidade de 36% conforme Andrade (2004), e o valor máximo de 1,65 para o teor de umidade de 12% obtido por Trichês *et al*. (2005), onde ambas as cinzas pesadas pesquisadas tiveram origem na termelétrica do município de Capivari de Baixo/SC. No entanto, para os valores do $CI_{máx}$ das areias naturais pesquisadas, o valor mínimo encontrado é 1,29 para o teor de umidade de 8% conforme Andrade (2004), e o valor máximo de 1,31 para o teor de umidade de 9,5% obtido por Trichês *et al*. (2005).

2.5.2.5 Classificação pelo método da *Transportation Research Board* (TRB)

De acordo com os dados apresentados na Tabela 3, as referências bibliográficas estudadas, variaram a classificação das cinzas pesadas de um material do grupo A-3 – areia fina a um material do grupo A-2-4 – areia fina siltosa. De acordo com o Manual de Pavimentação DNIT IPR 719 (2006), os materiais do grupo A-2-4 são caracterizados por areias finas com siltes não plásticos que excederam os limites estabelecidos para o grupo A-3.

Observando a Tabela 3, todas as referências bibliográficas contempladas por esta pesquisa científica classificaram as cinzas leves como um material do grupo A-4, que tem características similares aos solos siltosos não plásticos, segundo o Manual de Pavimentação DNIT IPR 719 (2006).

2.5.3 Caracterização da resistência mecânica

2.5.3.1 Ensaio de Proctor

Considerando os dados apresentados na Tabela 3 paras as cinzas pesadas estudadas, em relação à umidade ótima obtida no ensaio de compactação Proctor paras as energias normal, intermediária e modificada, é identificado o valor mínimo de 29,7% (energia intermediária) para as cinzas pesadas da termelétrica de Capivari de Baixo/SC, e o valor máximo de 54,5% (energia normal) para as cinzas pesadas da termelétrica de Charqueadas/RS, onde ambos os resultados foram obtidos por Chies *et al*. (2003). Em relação à energia de compactação, observou-se que o teor de umidade reduz quando se aumenta a quantidade de energia empregada, sendo observada a redução máxima de 6,6% para o teor de umidade da energia normal para a intermediária, referente à cinza pesada de Guaíba/RS de acordo com Chies *et al*. (2003). Especificamente para a termelétrica de Charqueadas/RS, nesta mesma pesquisa, ocorreu a redução de 4,8% para o teor de umidade da energia normal para a intermediária.

Com relação à Massa Específica Aparente Seca Máxima ($MEAS_{máx}$) das cinzas pesadas, analisando a Tabela 3, observa-se o valor mínimo de 0,868 gcm^{-3} (energia normal) de acordo com Chies *et al*. (2003), para a cinza pesada da termelétrica de Candiota/RS, e o máximo de 1,846 gcm^{-3} (energia modificada), conforme Szeliga *et al.* (2011) para a cinza pesada da termelétrica de Capivari de Baixo/SC. No que diz respeito à energia de compactação, observou-se o aumento máximo de 10,5% na $MEAS_{máx}$ quando variou-se da energia normal

para a intermediária, para a cinza pesada de Guaíba/RS conforme consta em Chies *et al*. (2003). Considerando especificamente a termelétrica de Charqueadas/RS, o aumento da $MEAS_{máx}$ é de 6%, variando da energia de compactação normal para a intermediária, de acordo com Chies *et al*. (2003).

Observa-se na Tabela 3, que o teor de umidade ótima é de 22,8% (energia modificada) para a cinza leve da termelétrica de Capivari de Baixo/SC, sendo o mesmo bem inferior ao teor de umidade ótima de 38% para a cinza pesada da mesma termelétrica, onde ambos os resultados foram obtidos por Szeliga *et al.* (2011). Para a $MEAS_{máx}$ da cinza leve da termelétrica de Capivari de Baixo/SC, Szeliga *et al.* (2011) obtiveram o valor de 1,925 gcm^{-3} (energia modificada), levemente superior a $MEAS_{máx}$ de 1,846 gcm^{-3} para a cinza pesada da mesma termelétrica.

De um modo geral, pode ser destacado que os valores das massas específicas aparentes secas das cinzas leves e pesadas apresentadas na Tabela 3 são inferiores as massas específicas aparentes secas dos solos naturais estudados, corroborando com as diferenças observadas anteriormente, para a massa específica real dos grãos entre as cinzas de carvão e os solos.

2.5.3.2 Índice de Suporte Califórnia (ISC) e expansão

Analisando os dados da Tabela 3 para as cinzas pesadas estudadas, destaca-se que o Índice de Suporte Califórnia (ISC) apresentou o valor mínimo de 5% para uma amostra não destorroada, compactada com a energia normal, para as cinzas pesadas da termelétrica de Capivari de Baixo/SC de acordo com Trichês *et al*. (2006), e o valor máximo de 42% (energia intermediária) para a cinza pesada de Guaíba/RS, conforme consta em Chies *et al*. (2003). Especificamente para a termelétrica de Charqueadas/RS, Chies *et al*. (2003) obtiveram para os ISCs das cinzas pesadas, os valores de 19 e 24%, respectivamente para as energias de compactação normal e intermediária.

Em relação à influência da energia de compactação nas pesquisas estudadas, o aumento máximo é de 43,5% para o ISC, quando se variou a energia normal para a intermediária, para a cinza pesada de Capivari de Baixo/SC, conforme consta em Chies *et al*. (2003). Através de uma análise genérica da Tabela 3, observa-se que os ISCs das cinzas pesadas são superiores aos obtidos para os solos naturais estudados, possivelmente, em função das características mais granulares das cinzas pesadas. No que diz respeito ao nível de expansão da cinza pesada, os resultados obtidos nas pesquisas e apresentados na Tabela 3 revelam que as mesmas são materiais não expansivos.

2.5.3.3 Módulo de resiliência

Observando a Tabela 3, destaca-se que Trichês *et al*. (2006) obtiveram o valor de 125 MPa para o módulo de resiliência da cinza pesada com origem na termelétrica de Capivari de Baixo/SC. No entanto, para os valores do módulo de resiliência dos solos pesquisados, o valor mínimo encontrado é 110 MPa conforme Trichês *et al*. (2005), e o valor máximo é 150 MPa obtido por Vizcarra *et al*. (2010). Através destes resultados, percebe-se uma tendência de similaridade entre os módulos de resiliência das cinzas pesadas e dos solos pesquisados.

2.5.4 Caracterização química

Ao contrário do que ocorre com alguns parâmetros físicos das cinzas, como por exemplo, a sua granulometria, quando se compara as concentrações médias dos constituintes químicos maiores das cinzas, conforme a Tabela 4 e Tabela 5, nota-se uma relativa similaridade entre as características químicas das cinzas leves e cinzas pesadas, mesmo que estas cinzas sejam geradas em diferentes termelétricas.

Observando especificamente as concentrações médias das cinzas pesadas produzidas pela termelétrica de Charqueadas/RS, apresentada na Tabela 4, constata-se que cerca de 92% da composição química das cinzas pesadas é composta pelos óxidos de sílica, alumina e hematita, o que corresponde respectivamente às concentrações médias de 60,62%, 24,13% e 6,91%. Para as cinzas leves, de acordo com a Tabela 5 apresentada, 93% da sua composição química é composta pelos óxidos de sílica, alumina e hematita, correspondente às concentrações médias respectivas de 62,60%, 26,74% e 3,66%. O restante dos constituintes químicos das cinzas leves e pesadas é formado por outros óxidos, por carbono (matéria orgânica), enxofre e por elementos menores (traços) de metais pesados.

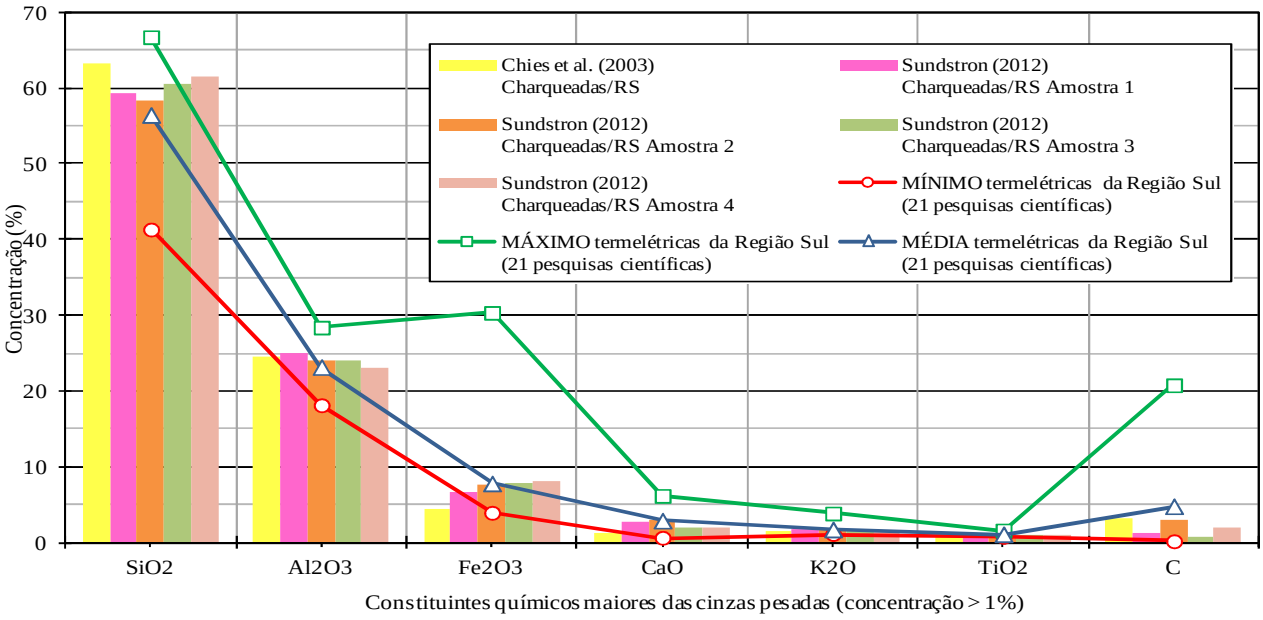
Através da análise química de elementos traços das cinzas leves e pesadas da termelétrica de Charqueadas/RS, Sundstron (2012) destaca a presença de significativas concentrações de metais pesados como chumbo, cromo trivalente e arsênio, e, desta forma, corrobora a necessidade de inertizar este resíduo industrial para viabilizar ambientalmente o seu aproveitamento.

Tabela 4 – Concentração (%) dos constituintes químicos maiores das cinzas pesadas: dados estatísticos das termelétricas da Região Sul e específicos para Charqueadas/RS

Constituintes químicos maiores		Termelétrica de Charqueadas/RS						Termelétricas da Região Sul (21 pesquisas científicas)	
		Chies *et al.* (2003)	Sundstron (2012)				Média (%)		
Substância	Nomenclatura		Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4		Média (%)	Desvio padrão (%)
SiO_2	Dióxido de Silício (Sílica)	63,30	59,40	58,30	60,60	61,50	60,62	56,42	7,55
Al_2O_3	Trióxido de Dialumínio (Alumina)	24,50	24,95	24,10	24,00	23,10	24,13	23,14	2,84
Fe_2O_3	Trióxido de Diferro (Hematita)	4,50	6,65	7,51	7,73	8,18	6,91	7,76	5,42
CaO	Óxido de Cálcio	1,31	2,68	3,03	1,89	2,03	2,19	2,85	1,72
K_2O	Óxido de Dipotássio	1,60	1,63	1,74	1,57	1,52	1,61	1,70	0,65
TiO_2	Dióxido de Titânio	0,98	1,11	1,07	1,08	1,05	1,06	1,05	0,19
MgO	Óxido de Magnésio	0,40	0,41	0,38	0,45	0,46	0,42	0,44	0,09
Na_2O	Óxido de Disódio	0,14	0,13	0,14	0,16	0,16	0,15	0,17	0,05
ZrO_2	Dióxido de Zircônio	-	-	-	-	-	-	0,15	0,04
P_2O_5	Pentóxido de Difósforo	-	0,04	0,04	0,56	0,06	0,18	0,10	0,15
MnO	Óxido de Manganês	-	0,05	0,06	0,04	0,05	0,05	0,06	0,02
S	Enxofre	0,05	0,11	0,22	0,04	0,26	0,14	0,18	0,15
C	Carbono	3,13	1,22	2,88	0,67	2,00	1,98	4,76	6,05
LOI	*Loss on Ignition* (Perda ao Fogo)	-	-	-	1,79	2,34	2,07	4,42	2,67

Fonte: Autoria própria, 2014. Dados extraídos das fontes citadas na tabela.

Figura 9 – Concentração (%) dos constituintes químicos maiores das cinzas pesadas: dados estatísticos das termelétricas da Região Sul e específicos para Charqueadas/RS



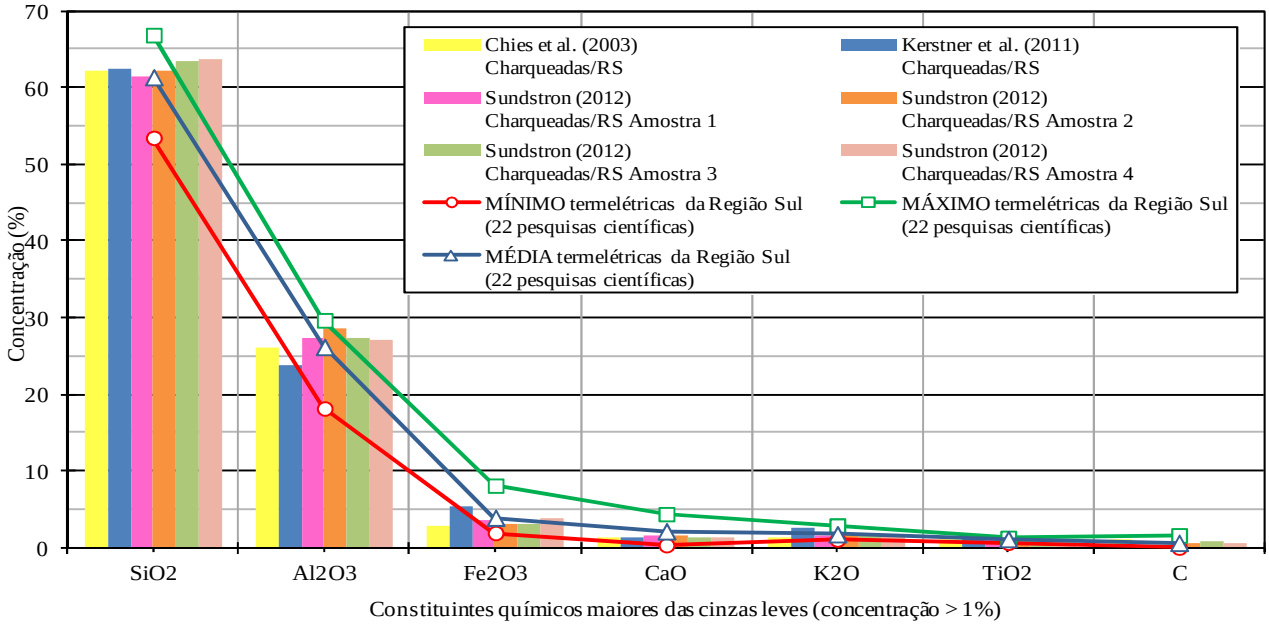
Fonte: Autoria própria, 2014. Dados extraídos das fontes citadas na legenda.

Tabela 5 – Concentração (%) dos constituintes químicos maiores das cinzas leves: dados estatísticos das termelétricas da Região Sul e específicos para Charqueadas/RS

Constituintes químicos maiores		Termelétrica de Charqueadas/RS							Termelétricas da Região Sul (22 pesquisas científicas)	
		Chies *et al.* (2003)	Kerstner *et al.* (2011)	Sundstron (2012)				Média (%)		
Substância	Nomenclatura			Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4		Média (%)	Desvio padrão (%)
SiO_2	Dióxido de Silício (Sílica)	62,20	62,50	61,50	62,20	63,50	63,70	62,60	61,40	3,25
Al_2O_3	Trióxido de Dialumínio (Alumina)	26,00	23,80	27,45	28,60	27,40	27,20	26,74	26,23	3,22
Fe_2O_3	Trióxido de Diferro (Hematita)	2,90	5,27	3,72	3,04	3,17	3,84	3,66	3,95	1,77
CaO	Óxido de Cálcio	1,26	1,37	1,66	1,52	1,30	1,39	1,42	2,18	1,02
K_2O	Óxido de Dipotássio	1,41	2,72	1,67	1,79	1,64	1,69	1,82	1,80	0,54
TiO_2	Dióxido de Titânio	1,10	1,23	1,21	1,22	1,19	1,18	1,19	1,17	0,15
MgO	Óxido de Magnésio	0,35	-	0,43	0,43	0,46	0,47	0,43	0,55	0,18
Na_2O	Óxido de Disódio	0,18	-	0,12	0,12	0,17	0,17	0,15	0,26	0,19
ZrO_2	Dióxido de Zircônio	-	-	-	-	-	-	-	0,08	0,08
P_2O_5	Pentóxido de Difósforo	-	-	0,04	0,04	0,05	0,06	0,05	0,06	0,02
MnO	Óxido de Manganês	-	-	0,02	0,02	< 0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
S	Enxofre	< 0,05	-	0,09	0,13	0,11	0,10	0,10	0,29	0,61
C	Carbono	1,09	-	0,06	0,50	0,84	0,55	0,61	0,68	0,49
LOI	*Loss on Ignition* (Perda ao Fogo)	-	-	1,14	0,88	1,04	0,73	0,95	1,04	0,54

Fonte: Autoria própria, 2014. Dados extraídos das fontes citadas na tabela.

Figura 10 – Concentração (%) dos constituintes químicos maiores das cinzas leves: dados estatísticos das termelétricas da Região Sul e específicos para Charqueadas/RS



Fonte: Autoria própria, 2014. Dados extraídos das fontes citadas na legenda.

Analisando as concentrações médias de carbono das cinzas, através da Tabela 4 e Tabela 5, percebe-se uma concentração superior de material incombusto nas cinzas pesadas em relação às cinzas leves. De acordo com Andrade (2004), o teor de carbono nas cinzas está associado às condições inadequadas de combustão, finura e umidade do carvão, sendo também evidenciado e corroborado pelo índice de perda ao fogo, *Loss on Ignition* (LOI). No entanto, tanto a concentração média de carbono quanto a concentração média do índice LOI, para as cinzas pesadas da termelétrica de Charqueadas/RS, representam valores inferiores a 50% dos observados para as concentrações médias das cinzas pesadas geradas nas termelétricas da Região Sul, indicando, desta forma, uma qualidade superior para as cinzas pesadas oriundas da termelétrica de Charqueadas/RS, que apresentam concentração média de carbono de 1,98%.

Sundstron (2012) destaca que as elevadas concentrações de material incombusto presentes nas cinzas pesadas são possivelmente causadas pela ineficiente cominuição do carvão antes de sua injeção na zona de queima, e relata que a concentração de material incombusto é a ferramenta mais importante para controlar a eficiência dos processos de queima do carvão. A excessiva concentração de carbono de 20,7%, obtida por Sundstron (2012), para uma amostra de cinza pesada do município de Triunfo/RS, confirma as imperfeições e a falta de controle dos processos de queima.

De acordo com Vizcarra (2010), os solos naturais que contêm mais de 2% de matéria orgânica, exigem altos teores de cimento para viabilizar a estabilização química e o aumento significativo de resistência da mistura. Lopes (2011) observa que na estabilização química do solo com cimento ou cal, a presença de matéria orgânica nos solos pode retardar ou inibir as reações cimentantes desta mistura. Rosa (2009) relata que o pH e teor de carbono dos solos estão entre as principais propriedades que podem inibir as reações cimentantes da mistura solo-cal. Lenzi (2001 *apud* ANDRADE, 2004) relata que o tempo de início da pega aumentou em 200% na confecção de argamassas com cinzas pesadas, em relação à argamassa de referência, devido ao teor de 3,53% de carbono incombusto presente na cinza pesada.

Dias (2004) destaca que os elementos químicos mais nocivos presentes nas cinzas de carvão são o carbono incombusto e o ferro na forma de hematita e de magnetita. O elemento ferro inibe as reações pozolânicas das cinzas, durante o processo de hidratação da cal, através de uma capa impermeável formada pela fixação da hematita e da magnetita sobre a superfície das partículas esféricas vitrificadas que compõem as cinzas. De acordo com Leandro (2005), a magnetita e a hematita se formam a partir da decomposição do mineral pirita (FeS_2) presente

no carvão fóssil minerado. Possivelmente, a excessiva quantidade de pirita está relacionada à ineficiência da etapa de beneficiamento que visa à extração das substâncias inorgânicas do carvão. Como exemplo da elevada presença de hematita nas cinzas de carvão, Nardi (1988 *apud* LEANDRO, 2005) obteve a concentração de 30,3% para as cinzas pesadas oriundas da termelétrica do município de Capivari de Baixo/SC.

Em relação ao Potencial Hidrogeniônico (pH) das cinzas de carvão, segundo Silva (2011), o pH pode variar de 4,5 a 12, sendo dependente principalmente das características geoquímicas do carvão empregado na combustão. Rohde *et al*. (2006) obtiveram o pH de 10,95 para as cinzas leves e 9,38 para as cinzas pesadas, onde ambas as cinzas foram geradas na termelétrica do município de Charqueadas/RS. Valores compatíveis para o pH das cinzas leves e pesadas foram obtidos por Silva (2011) e Farias (2005), onde o primeiro obteve o pH de 10,6 para as cinzas leves produzidas na termelétrica do município de Figueira/PR, e o segundo obteve o pH de 8,92 para as cinzas pesadas geradas na termelétrica do município de Capivari de Baixo/SC.

Sundstron (2012) analisou o pH das cinzas leves e pesadas em meio aquoso e obteve resultados de pH alcalinos para todas as análises, destacando maior homogeneidade e magnitude de alcalinidade para as cinzas leves, enquanto que para as cinzas pesadas foram observados resultados mais heterogêneos e em menor grau de alcalinidade. No entanto, em relação ao menor pH obtido para as cinzas pesadas, Farias (2005) destaca que as taxas de lixiviação e solubilização são muito influenciadas pelo pH do meio e, portanto, a elevada alcalinidade obtida para as cinzas leves tende a potencializar a solubilização de metais pesados quando da percolação de água. Os resultados obtidos por Sundstron (2012) para o pH das cinzas leves e pesadas de carvão estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores de pH para cinzas de carvão das termelétricas e indústrias da Região Sul

Amostras	Termelétricas e indústrias da Região Sul					
	Triunfo/RS		Guaíba/RS		Charqueadas/RS	
	Cinza pesada	Cinza leve	Cinza pesada	Cinza leve	Cinza pesada	Cinza leve
1	-	12,6	8,9	12,2	9,3	9,6
2	8,7	12,0	12,1	12,6	9,1	11,9
3	8,9	12,5	12,1	12,3	8,4	11,6
4	9,4	11,5	11,7	12,3	9,5	11,1
Média	9,0	12,2	11,2	12,4	9,1	11,1

Fonte: Sundstron, 2012.

2.5.5 Caracterização mineralógica e morfológica

De acordo com Sundstron (2012), as cinzas leves e pesadas residuais da queima do carvão fóssil em termelétricas consistem de uma mistura complexa de fases cristalinas e amorfas (vítreas) sem um ponto de fusão definido. Dias (2004) classificou a fase vítrea como sendo a fração ativa das cinzas, tendo em vista que esta parcela é responsável pelo aumento significativo do índice de atividade pozolânica presente nestes resíduos.

Quanto às características morfológicas das partículas das cinzas, as mesmas variam conforme as condições da queima e do tipo de cinzas de carvão; no entanto, Chies *et al*. (2003) destacam quatro tipos principais: partículas transparentes esféricas de cores acinzentadas ricas em cavidades; partículas transparentes irregulares com estrutura esponjosa; partículas opacas irregulares variando da cor cinza escura a preta com a presença de carbono incombusto; e partículas opacas esféricas de cor cinza-chumbo de origem metálica.

Quanto à coloração das cinzas, Sundstron (2012) corrobora que as partículas de cor mais escura indicam a presença de material incombusto na massa, ou seja, quanto mais clara a cinza mais eficiente é o processo de combustão do carvão pulverizado.

Em relação às cinzas pesadas, de acordo com Chies *et al*. (2003), os estudos mineralógicos realizados com técnicas distintas tem evidenciado uma predominância de material amorfo (vítreo) entre 60 e 75% da sua composição, sendo de natureza sílico-aluminosa. Na parcela dos minerais cristalinos das cinzas pesadas, classificada como a fração inerte devido ao seu baixo potencial pozolânico, observou-se através de análises por difração de raios-x a presença dos minerais quartzo, mulita, óxidos de ferro (hematita e magnetita), cristobalita, caulinita, calcita e feldspato. Estima-se que a composição dos minerais da parcela cristalina seja formada pela concentração de 20% em mulita, 30% em quartzo, 30% em óxidos de ferro, 2% em mica, sendo os demais minerais citados responsáveis pelo restante da parcela cristalina. Leandro (2005) relata que do ponto de vista mineralógico, a cinza pesada é formada por uma fase vítrea de natureza sílico-aluminosa, que contempla a maioria dos grãos da cinza pesada, complementada secundariamente por mulita, quartzo, hematita e magnetita, sendo comum a ocorrência de carbono amorfo associado aos grãos.

Segundo Lopes (2011), as características mineralógicas das cinzas leves constituem-se predominantemente de material vítreo (amorfo) de natureza sílico-aluminosa e em menor proporção de compostos cristalizados. Silva (2011) destaca que as cinzas leves são constituídas de um pó de grãos finos com propriedades pozolânicas, composto principalmente por partículas vítreas e esféricas, variando na faixa de 60 a 90% de material amorfo.

Tanto para as cinzas pesadas quanto para as cinzas leves, Silva (2006) destaca que a fase vítrea de natureza sílico-aluminosa é a mais importante e é constituída, principalmente, por grãos não opacos e de forma arredondada. Leandro (2005) expõe que a presença e a frequência de esferas vítreas nas cinzas são bons indicadores da sua qualidade pozolânica. Tendo em vista que durante a queima do carvão, o material argiloso vitrifica primeiro em relação aos minerais de quartzo, a formação da fase vítrea das cinzas está associada diretamente ao conteúdo de argilominerais presentes no carvão e na sua condição de queima. Nardi (1988 *apud* LEANDRO, 2005) relata que a frequência do mineral quartzo diminui em função do aumento da temperatura de queima e da finura do carvão, participando na composição e formação da fase vítrea das cinzas.

Conforme consta em Silva (2006), o carbono das cinzas leves e pesadas apresenta morfologia que varia na forma de massas irregulares, aglomerados reticulares e esferas. A quantidade de carbono está relacionada ao tipo das cinzas, às condições inadequadas de combustão e a finura e umidade do carvão, sendo encontrado geralmente na fase amorfa.

2.5.6 Caracterização do potencial pozolânico

2.5.6.1 Pozolanidade das cinzas

A principal propriedade de um material pozolânico é a sua capacidade de reagir e se combinar com o hidróxido de cálcio (cal hidratada) presente nos cimentos, formando compostos estáveis com poder aglomerante, tais como silicatos e aluminatos de cálcio hidratados. Segundo Silva (2011), em compostos a base de cimento Portland, o hidróxido de cálcio liberado pela hidratação dos silicatos presentes no cimento reage com o material pozolânico usado para substituir parte do cimento, gerando uma produção extra de silicatos de cálcio hidratados e a redução do custo de produção dos cimentos. Além do exposto, segundo o Manual de Pavimentação DNIT IPR 719 (2006), o emprego do material pozolânico na fabricação dos cimentos ocasiona a redução do calor de hidratação do cimento, o aumento da impermeabilidade e da resistência em relação às águas ácidas agressivas ao concreto e, por este motivo, os cimentos pozolânicos são recomendados para o emprego em estruturas com elevado volume de concreto e em ambientes agressivos, como por exemplo, as camadas de pavimento de solo-cimento.

De acordo com a ABNT NBR 12653 (1999) que especifica as principais características dos materiais pozolânicos, os mesmos são classificados como materiais pozolânicos naturais e

artificiais, e definem-se como materiais sílico-aluminosos que, por si sós, possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas, quando finamente divididos e na presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio para formar compostos com propriedades aglomerantes. Os materiais pozolânicos naturais são de origem vulcânica ou sedimentar, enquanto que os materiais pozolânicos artificiais são divididos em argilas calcinadas, cinzas leves e outros materiais, não havendo menção na ABNT NBR 12653 (1999) sobre as cinzas pesadas de carvão.

Chies *et al*. (2003) destacam que os elementos químicos maiores, como o silício e alumínio, presentes nas composições químicas das cinzas leves e pesadas, não variam muito de uma cinza para outra, e considerando que estes elementos químicos são os responsáveis pela atividade pozolânica das cinzas, pode-se deduzir que todas as cinzas apresentam potencial pozolânico para reagir com a cal hidratada. No entanto, de acordo com Chies *et al*. (2003) e Rohde *et al*. (2006), o grau de reação pozolânica depende também de outras variáveis, como a mineralogia e a granulometria do material.

Destaca-se a relevância mineralógica, tendo em vista que a parcela cristalina das cinzas é muito estável à temperatura ambiente, sendo classificada por Dias (2004) como a fração inerte das cinzas, enquanto que a elevada concentração nas cinzas de silicatos-aluminatos na fase vítrea amplia significativamente o índice de atividade pozolânica, correspondendo à fração ativa das cinzas. Leandro (2005) destaca que a presença predominante de esferas vítreas nas cinzas é um bom indicador do seu potencial pozolânico. Em relação à influência granulométrica das cinzas leves e pesadas, salienta-se que a reatividade pozolânica aumenta com a superfície específica do material, sendo que quanto maior a dimensão das partículas, menor a sua superfície específica, exigindo deste modo, que as pozolanas estejam finamente divididas, como é o caso das cinzas leves.

Mesmo que as cinzas pesadas ainda não sejam reconhecidas pela ABNT NBR 12653 (1999), e que seus índices de atividade pozolânica não atendam os mínimos especificados nesta norma, Rohde *et al*. (2006) destacam que as cinzas pesadas podem ser classificadas como um material pozolânico, tendo em vista que, ainda que em menor grau de atividade pozolânica quando comparada com as cinzas leves, as cinzas pesadas apresentam, na presença de água, potencial pozolânico para reagir com a cal e formar compostos com propriedades cimentantes.

Cheriaf *et al*. (1999 *apud* SILVA, 2011) estudaram a reatividade pozolânica da cal e do cimento, com uma amostra de cinza pesada da termelétrica de Capivari de Baixo/SC, e constataram que a cinza pesada pode ser utilizada em concreto, tendo em vista que os índices

de atividade pozolânica superaram os mínimos preconizados pela ABNT NBR 12653 (1999). Ainda nesta pesquisa, destaca-se o resultado obtido do aumento em 27% do índice de atividade pozolânica com o cimento, após a moagem da cinza pesada pelo período de 6 horas.

Em contrapartida, Ranganath *et al*. (1998 *apud* SILVA, 2011) verificaram a reação pozolânica da cal com diferentes cinzas leves e pesadas depositadas juntas em bacias de sedimentação. As cinzas leves e pesadas misturadas foram separadas em três frações de tamanho de partículas, tais como: tamanhos inferiores a 20 μm; tamanhos entre 20 μm e 75 μm; e tamanhos entre 75 μm e 150 μm. Os autores concluíram que a presença de partículas maiores que 75·μm afeta negativamente a reatividade pozolânica das cinzas, e recomendaram extrair estas partículas, não reativas e de grande tamanho, da produção dos cimentos, além de não misturar cinzas leves coletadas nos precipitadores eletrostáticos com as cinzas pesadas, quando o objetivo final é o aproveitamento como material pozolânico. Esta constatação também é corroborada por Malhotra e Mehta (1996 *apud* SILVA, 2011), que classificam a cinza pesada como uma adição mineral ao concreto, de fraca ação pozolânica.

Sundstron (2012) destaca que a redução do tamanho de partícula aliada à separação da parcela de material incombusto das cinzas pesadas, tende a transformar as mesmas em cinzas leves, o que viabiliza o seu emprego na produção do cimento como material pozolânico. De acordo com a avaliação mineralógica de Sundstron (2012), foi identificado que as partículas das cinzas pesadas apresentam o efeito de desagregação do material, tendo em vista que a cinza pesada é formada por compostos fracamente unidos, com tamanho de partículas menores similares as das cinzas leves. Esta constatação é corroborada pelo baixo índice de trabalho de *Bond* obtido em laboratório para as cinzas pesadas.

2.5.6.2 Índice de trabalho de *Bond*

O índice de trabalho de *Bond* é um parâmetro, regulamentado pela ABNT NBR 11376 (1990), empregado na metodologia de dimensionamento de moinhos, que experimentalmente indica uma estimativa do consumo de energia necessário para a cominuição de um determinado material. Sabedot *et al*. (2011) destacam que esta energia necessária para a britagem ou moagem de um material pode variar entre 5 e 25 kWh/t.

Para uma amostra de cinza pesada produzida em Triunfo/RS, similar à granulometria da cinza pesada produzida na termelétrica de Charqueadas/RS, Sabedot *et al*. (2011) obtiveram para esta cinza pesada o índice de trabalho *Bond* de 11,9 kWh/t. Este índice refere-se a energia necessária para a cominuição e homogeneização da amostra de cinza pesada a um

tamanho de partícula passante na granulometria de 150 micrômetros, que se enquadra na faixa granulométrica das cinzas leves apresentada na Figura 8.

Sabedot *et al*. (2011) destacam que as diferenças granulométricas entre as cinzas leves e pesadas, ilustradas na Figura 7 e Figura 8, podem ser reduzidas por um processo de moagem simples e de baixo custo, tendo em vista que, a energia necessária de 11,9 kWh/t, obtida em laboratório para a cominuição da cinza pesada em cinza leve, é inferior por exemplo, a energia necessária para a moagem do clínquer na fabricação do cimento Portland, igual a 13,45 kWh/t.

2.5.7 Caracterização ambiental

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), editou em 1987, e revisou em 2004, um conjunto de normas visando padronizar a amostragem, os ensaios de lixiviação e solubilização e a classificação dos resíduos sólidos, viabilizando, desta forma, a sua caracterização ambiental.

Sundstron (2012) salienta que a caracterização do resíduo sólido de acordo com o preconizado pela ABNT NBR 10004 (2004) é atualmente uma ferramenta largamente usada e aceita, tanto pelas empresas quanto pelos órgãos ambientais, como indicador determinante para o estudo do aproveitamento e a disposição final do resíduo. A classificação do resíduo sólido, através da ABNT NBR 10004 (2004), assegura uma análise completa referente à sua periculosidade, tendo em vista que são realizadas avaliações normatizadas do resíduo, quanto às características de toxidade, patogenicidade, reatividade, inflamabilidade e corrosividade.

A Tabela 7 e Tabela 8 apresentam, respectivamente, o extrato lixiviado e solubilizado paras as cinzas leves e pesadas de carvão, obtidos nas referências bibliográficas contempladas por esta pesquisa científica. Ao contrário da relativa similaridade observada para os constituintes químicos maiores das cinzas, mesmo às geradas em diferentes termelétricas, analisando os resultados da Tabela 7 e Tabela 8, é identificada uma elevada dispersão e heterogeneidade da concentração dos elementos e compostos químicos lixiviados e solubilizados, não sendo possível atribuir qualquer tipo de correlação ou convergência entre as diferentes pesquisas analisadas.

Tendo em vista o pH levemente alcalino das cinzas de carvão obtido por Sundstron (2012), tendendo, desta forma, a uma maior solubilização de metais pesados quando da percolação de água, quase todas as pesquisas classificaram as cinza leves e pesadas como um resíduo sólido Classe II A, sendo um material não perigoso, mas não inerte. A classificação

resultou da análise dos elementos e compostos químicos através dos ensaios de lixiviação e solubilização, considerando os Anexos F e G da ABNT NBR 10004 (2004). No entanto, ao contrário da maioria das pesquisas, Lopes (2011) e Oliveira *et al*. (2011), onde ambos analisaram a mesma amostra de cinzas, concluíram que a cinza pesada é classificada como um resíduo Classe II B, sendo um material não perigoso e inerte.

Sundstron (2012) destaca que apesar da presença de metais pesados como chumbo, cromo trivalente e arsênio, observados na análise química de elementos traços das cinzas da termelétrica de Charqueadas/RS, a concentração destes elementos no extrato lixiviado e solubilizado das cinzas pesadas é bem inferior ao limite máximo normatizado, ou ainda, nem mesmo foi detectada. Contudo, Sundstron (2012) constatou que o limite máximo normatizado foi ultrapassado na análise do extrato solubilizado para os elementos alumínio e sulfatos.

Tabela 7 – Concentração (mg/L) no extrato lixiviado, conforme ABNT NBR 10004 (2004), para cinzas de carvão das termelétricas e indústrias da Região Sul

Parâmetros inorgânicos (mg/L)		Limite máximo no lixiviado NBR 10004:2004 (mg/L)	Cinza pesada								Cinza leve
			Termelétrica de Charqueadas/RS		Termelétrica de Capivari de Baixo/SC			Demais termelétricas e indústrias			Termelétrica Capivari de Baixo/SC
								Triunfo/RS	Guaíba/RS	Candiota/RS	
Substância	Nomenclatura		Rohde *et al.* (2006)	Sundstron (2012) Amostra 2	Farias (2005)	Rohde *et al.* (2006)	Lopes (2011)	Rohde *et al.* (2006)	Rohde *et al.* (2006)	Rohde *et al.* (2006)	Lopes (2011)
F^-	Fluoretos	150	1,90	0,66	ND	0,78	0,10	1,10	0,58	0,54	1,77
As	Arsênio	1,0	< 0,03	0,012	0,02	< 0,03	< 0,04	0,04	< 0,03	< 0,03	< 0,04
Ba	Bário	70	< 0,6	0,645	1,14	< 0,6	0,21	< 0,6	< 0,6	< 0,6	0,14
Cd	Cádmio	0,5	< 0,007	ND	ND	< 0,007	< 0,003	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,003
Pb	Chumbo	1,0	< 0,2	0,199	0,06	< 0,2	< 0,03	< 0,2	< 0,3	< 0,2	< 0,03
Cr	Cromo	5,0	< 0,07	ND	ND	< 0,07	< 0,002	< 0,07	< 0,07	< 0,07	0,01
Hg	Mercúrio	0,1	< 0,0007	ND	ND	< 0,0007	< 0,005	< 0,0007	< 0,0007	< 0,0007	< 0,005
Ag	Prata	5,0	< 0,03	0,021	ND	< 0,03	< 0,003	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,003
Se	Selênio	1,0	< 0,03	0,011	ND	< 0,03	< 0,05	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,05
pH inicial do extrato não lixiviado			9,3	10,4	7,0	9,3	6,2	9,1	9,3	8,0	10,1
pH final do extrato lixiviado			4,3	5,9	-	4,6	4,9	4,9	5,2	3,4	4,7
Classe I - Perigoso ou Classe II - Não perigoso			Classe II	Classe II	Classe II	Classe II	Classe II	Classe II	Classe II	Classe II	Classe II

Fonte: Autoria própria, 2014. Dados extraídos das fontes citadas na tabela.

Não Detectado (ND).

Tabela 8 – Concentração (mg/L) no extrato solubilizado, conforme ABNT NBR 10004 (2004), para cinzas de carvão das termelétricas e indústrias da Região Sul

Parâmetros orgânicos e inorgânicos (mg/L)		Limite máximo no solubilizado NBR 10004:2004 (mg/L)	Cinza pesada						Cinza leve
			Termelétrica de Charqueadas/RS		Termelétrica de Capivari de Baixo/SC		Demais termelétricas e indústrias		Termelétrica Capivari de Baixo/SC
							Guaíba/RS	Candiota/RS	
Substância	Nomenclatura		Rohde *et al.* (2006)	Sundstron (2012) Amostra 2	Farias (2005)	Lopes (2011)	Rohde *et al.* (2006)	Rohde *et al.* (2006)	Lopes (2011)
Cl^-	Cloretos	250	0,95	2,81	14,6	24,1	1,80	1,20	5,97
$CaCO_3$	Dureza total	500	133,9	-	114	-	156,2	23,7	-
F^-	Fluoretos	1,5	0,84	1,31	ND	0,14	0,19	0,18	2,52**
SO_4^{-2}	Sulfatos	250	117,3	496**	47,2	30,5	142,7	10,0	163
NO_3^-	Nitratos	10,0	0,5	0,2	ND	0,4	< 0,5	< 0,5	0,1
C_6H_5OH	Fenóis	0,01	ND	ND	ND	< 0,0025	ND	ND	0,028**
ABS	Surfactantes	0,5	ND	0,03	ND	0,065	ND	ND	0,065
CN^-	Cianetos	0,07	< 0,02	ND	ND	0,018	< 0,02	< 0,02	0,011
Al	Alumínio	0,2	< 0,5*	1,1**	0,21**	< 0,07	< 0,5*	< 0,5*	3,65**
As	Arsênio	0,01	< 0,02*	ND	ND	< 0,001	< 0,02*	< 0,02*	< 0,001
Ba	Bário	0,7	< 0,6	0,060	0,03	0,25	< 0,6	< 0,6	0,17
Cd	Cádmio	0,005	< 0,007*	ND	ND	< 0,003	< 0,007*	< 0,007*	< 0,003
Pb	Chumbo	0,01	< 0,2*	ND	ND	< 0,002	< 0,2*	< 0,2*	< 0,002
Cu	Cobre	2,0	< 0,03	ND	ND	0,02	< 0,03	< 0,03	0,02
Cr	Cromo	0,05	< 0,07*	ND	ND	< 0,002	< 0,07*	< 0,07*	0,01
Fe	Ferro	0,3	< 0,05	0,075	0,39**	< 0,002	< 0,05	< 0,05	< 0,002
Mn	Manganês	0,1	< 0,06	0,012	0,18**	0,003	< 0,06	< 0,06	0,02
Hg	Mercúrio	0,001	< 0,0007	ND	ND	< 0,0005	< 0,0007	< 0,0007	< 0,0005
Ag	Prata	0,05	< 0,03	ND	ND	< 0,003	< 0,03	< 0,03	< 0,003
Se	Selênio	0,01	< 0,03*	ND	ND	< 0,002	< 0,03*	< 0,03*	< 0,002
Na	Sódio	200	1,06	20,0	21,5	21,3	2,40	0,74	36,3
Zn	Zinco	5,0	< 0,008	0,030	ND	0,15	< 0,008	< 0,008	0,20
Classe II A - Não inertes Classe II B - Inertes			Classe II A	Classe II A	Classe II A	Classe II B	Classe II A	Classe II A	Classe II A

Fonte: Autoria própria, 2014. Dados extraídos das fontes citadas na tabela.

Não Detectado (ND).
* Limite de detecção no laboratório é superior ao limite máximo permitido, onde por precaução classificou-se o resíduo como não inerte.
** Limite detectado no laboratório é superior ao limite máximo permitido.

2.5.8 Anormalidade das massas específicas das cinzas em relação aos solos

Pode ser observado na Tabela 3, que a massa específica real dos grãos para os solos naturais, variando de 2,632 a 2,772 gcm^{-3}, é superior aos valores máximos das massas específicas reais das cinzas de carvão, sendo 2,360 gcm^{-3} para as cinzas pesadas e 2,448 gcm^{-3} para as cinzas leves. O mesmo fenômeno se propaga para a massa unitária solta dos solos que é 1,443 gcm^{-3} obtida por Andrade (2004), enquanto que para as cinzas pesadas a variação da massa unitária solta é de 0,622 a 1,080 gcm^{-3}. Desta forma, observa-se que os resultados das massas específicas das cinzas leves e pesadas são anormais em relação às massas específicas dos solos e das areias naturais.

Leandro (2005) obteve 1,979 gcm^{-3} para a massa específica real da cinza pesada, e constatou que o resultado obtido é mais baixo que o alcançado para o solo natural que é 2,660 gcm^{-3}, devido à alta porosidade da cinza pesada. Leandro (2005) destaca que a massa específica real da cinza pesada pode ser utilizada como indicativo de sua qualidade em termos de resistência, tendo em vista que as cinzas pesadas de baixa massa específica real sempre tem uma textura muito porosa ou vesicular, devido à elevada concentração de cenosferas, contribuindo para a degradação das partículas quando submetidas aos carregamentos.

Dias (2004) observa que o carbono das cinzas é proveniente da combustão incompleta do carvão e se manifesta pela coloração escura das cinzas, além da formação de partículas ocas (cenosferas) que apresentam natureza esponjosa e absorvem muita água. Dias (2004) destaca ainda que a excessiva quantidade de partículas ocas torna os grãos das cinzas muito friáveis. Nardi (2004), através de evidência microscópica, constatou que a maioria das partículas das cinzas leves ocorre como esferas sólidas de vidro, mas, às vezes, pode estar presente uma pequena concentração de esferas ocas, conhecidas como cenosferas (esferas menores) e plerosferas (esferas maiores preenchidas com muitas cenosferas).

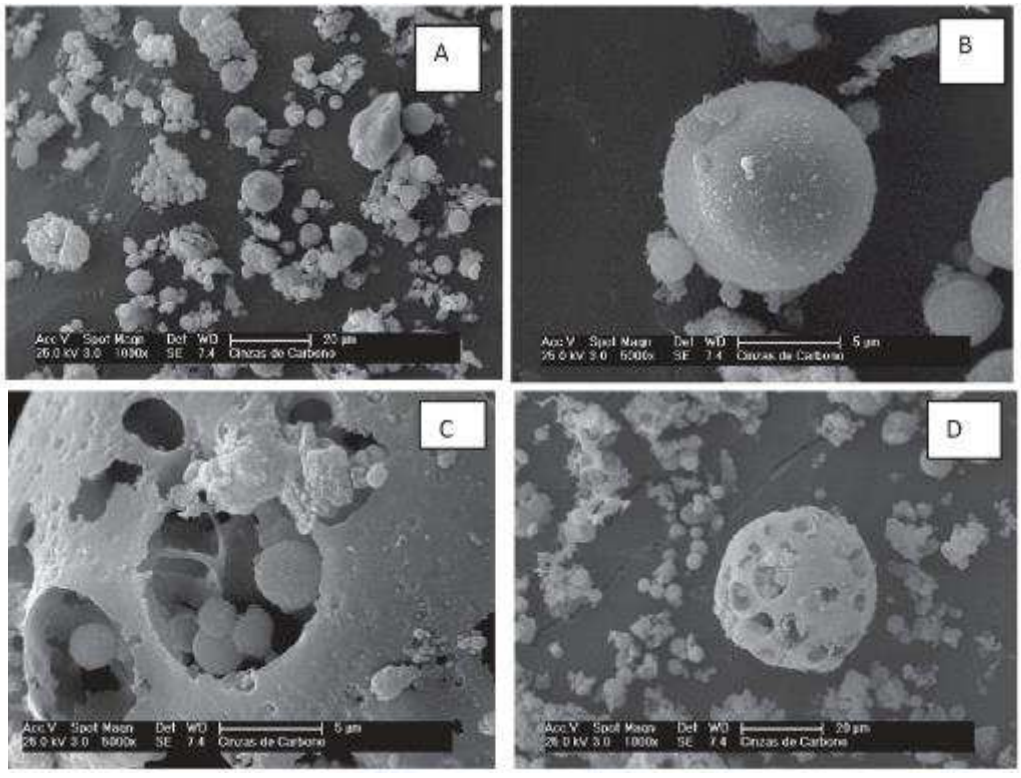
Rohde *et al*. (2006) explicam que a morfologia das partículas de cinzas leves e pesadas varia com as condições de combustão, mas, normalmente, predominam partículas esféricas com pequenas quantidades de cenosferas e de partículas de formas irregulares. Segundo Rohde *et al*. (2006), os valores das massas específicas das cinzas são geralmente mais baixos que os encontrados para os solos naturais, tendo em vista a presença de material carbonoso, além da concentração de pequenas quantidades de partículas ocas (cenosferas e plerosferas) com gases inclusos no seu interior.

Cheriaf *et al*. (1999 *apud* SILVA, 2006) destacam que a presença significativa de partículas ocas com gases no interior das partículas das cinzas pesadas oriundas da

termelétrica do município de Capivari de Baixo/SC, resulta em uma baixa massa específica real dos grãos para este resíduo, sendo obtido um valor em torno de 2,0 gcm^{-3}. A análise desta cinza pesada, através da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), evidenciou a existência de partículas esféricas e arredondadas que aglomeradas acarretam na formação de grãos irregulares.

Silva (2011) evidenciou, através de microscopia, que as partículas das cinzas leves são heterogêneas com diferentes diâmetros e formas, sendo que as esferas sólidas de superfícies lisas são normalmente de natureza sílico-aluminosa, e os formatos irregulares são características de carvão incombusto e de partículas amorfas que sofreram difusão em intercontato com outras partículas ou rápido resfriamento, conforme a Figura 11A e Figura 11B. Silva (2011) ainda observa que é possível visualizar esferas ocas contendo outras pequenas esferas no seu interior (plerosferas) e esferas ocas e vazias (cenosferas), conforme ilustrado na Figura 11C e Figura 11D. As cenosferas são formadas pela expansão dos gases CO_2 e H_2O que saem dos minerais do carvão durante a sua combustão.

Figura 11 – Imagens por MEV mostrando as diferentes morfologias encontradas para as partículas contidas nas cinzas leves



Fonte: Silva, 2011.

(A) Formatos irregulares de carvão incombusto. (B) Esfera sólida de superfície lisa.
(C) Detalhe da plerosfera contendo cenosferas.
(D) Plerosfera contendo outras pequenas esferas ocas no seu interior (cenosferas).

Andrade (2004) destaca que a predominância de partículas na forma arredondada, presentes nas cinzas pesadas, melhora a trabalhabilidade das argamassas e concretos, quando são empregadas em substituição ao agregado natural areia, tendo em vista que a esfericidade dos grãos das cinzas pesadas amplia o efeito de rolagem das partículas na matriz cimentícia, reduzindo, assim, o atrito interno entre as mesmas. Por outro lado, considerando as características morfológicas das partículas ocas presentes nas cinzas pesadas, as mesmas se comportam como "esponjas" durante a preparação da argamassa, absorvendo muita água, e proporcionando um significativo aumento percentual de água de amassamento para manter a plasticidade e consistência ótima de trabalho da mistura. Ainda, ao observar as características de um concreto com presença de cenosferas, Andrade (2004) obteve 2,307 gcm^{-3} para a densidade do concreto de referência, enquanto que a densidade do concreto com cenosferas foi de 2,0 gcm^{-3}.

2.6 Bases e sub-bases de pavimentos rodoviários

2.6.1 Classificação das bases e sub-bases

De acordo com o Manual de Pavimentação DNIT IPR 719 (2006), as bases e sub-bases de pavimentos de rodovias podem ser classificadas em: flexível, semirrígida e rígida. Não obstante, esta mesma classificação de bases e sub-bases também delimita o modo de classificar os pavimentos rodoviários, conforme é observado na sequência:

a) Pavimento flexível: é quando todas as camadas do pavimento, ou seja, revestimento, base, sub-base e reforço do subleito sofrem deformação elástica significativa após a passagem das cargas impostas pelo tráfego e, por consequência, todas as camadas do pavimento absorvem parcelas semelhantes de carregamento. Como exemplo, é citado um pavimento composto por uma base de material granular (brita graduada, solo-brita, macadame, entre outros) revestida por uma camada asfáltica;
b) Pavimento semirrígido: é quando a camada de base é cimentada, ou seja, estabilizada quimicamente pela adição de aglomerante com propriedades cimentícias (cal ou cimento). Um exemplo típico deste pavimento é uma base de solo-cimento revestida por uma camada asfáltica;
c) Pavimento rígido: é quando a camada, formada pela fusão do revestimento mais a base, apresenta elevada rigidez em relação às camadas inferiores, absorvendo

praticamente todas as tensões resultantes da passagem das cargas impostas pelo tráfego. Como exemplo, é mencionado um pavimento onde o revestimento mais a base fundem-se numa camada única formando uma laje de concreto de cimento Portland, assentada sobre uma sub-base de Concreto Compactado com Rolo (CCR).

A Tabela 9, adaptada do Manual de Pavimentação DNIT IPR 719 (2006), expõe a classificação das bases e sub-bases e os tipos e materiais usuais empregados nestas camadas, além do coeficiente de equivalência estrutural para cada tipo de material, sendo este último, o norteador do dimensionamento de pavimentos flexíveis e semirrígidos do método do DNER.

Tabela 9 – Camadas de base e sub-base flexível, semirrígida e rígida

Classificação		Camadas de bases e sub-bases				Coeficiente de equivalência estrutural (K)
Pavimento	Base e sub-base	Tipo		Material ou mistura usual		
Flexível		Granular	Estabilizada granulometricamente	Solo-brita Brita graduada Brita corrida		1,0
			Macadame seco e hidráulico			
		Estabilizada com aditivo	Com cimento Portland Com cal	Solo melhorado com cimento Solo melhorado com cal		
			Com cimento asfáltico (betume)	Solo-betume Bases betuminosas diversas		1,2 a 2,0
Semirrígida		Estabilizada com aditivo	Com cimento Portland	Solo-cimento (Resistência à Compressão Simples aos 7dias) (RCS7)	2,1 a 2,8 MPa 2,8 a 4,5 MPa > 4,5 MPa	1,2 1,4 1,7
			Com cal	Solo-cal		1,2
Rígida		Concreto	Com cimento Portland Com cimento Portland	Concreto plástico Concreto magro (CCR)		-

Fonte: Dados adaptados do Manual de Pavimentação DNIT IPR 719, 2006.

2.6.2 Tipos de bases e sub-bases

2.6.2.1 Base e sub-base granular

2.6.2.1.1 Estabilizada granulometricamente

Segundo o Manual de Pavimentação DNIT IPR 719 (2006), as camadas das bases e sub-bases granulares estabilizadas granulometricamente são compostas por solos, rochas britadas, escória de alto forno, ou pela mistura destes materiais. Estas camadas são sempre flexíveis e

são estabilizadas granulometricamente pela compactação de um material, ou de uma mistura de materiais que devem apresentar uma granulometria apropriada e índices geotécnicos definidos, onde ambos são fixados em especificações de serviço.

2.6.2.1.2 Macadame seco e hidráulico

Conforme o Manual de Pavimentação DNIT IPR 719 (2006), o macadame é uma base ou sub-base granular flexível que consiste numa camada de brita de graduação aberta, que após a sua compactação tem os vazios preenchidos por material de enchimento, composto por pó de pedra ou por solos arenosos com granulometria e plasticidade específica. A penetração do material de enchimento é realizada pelo seu espalhamento na superfície, seguido de varredura e compactação a seco, nos casos da execução de macadame seco, e compactação a seco e com água, nos casos da execução de macadame hidráulico.

2.6.2.2 Base e sub-base estabilizada com aditivo

Tendo em vista o exposto no Manual de Pavimentação DNIT IPR 719 (2006), as camadas das bases e sub-bases estabilizadas com aditivos contemplam processos tecnológicos e construtivos semelhantes às camadas granulares estabilizadas granulometricamente, no entanto, divergentes em alguns detalhes apresentados a seguir.

2.6.2.2.1 Solo-cimento

Trata-se de uma camada devidamente compactada composta pela mistura de solo, cimento Potland e água visando à estabilização química da mistura destes materiais. A mistura de solo-cimento deve atender a requisitos específicos referentes à densidade, durabilidade e resistência, resultando em um material duro, cimentado e de acentuada rigidez a flexão, sendo classificada como uma base ou sub-base semirrígida. O teor de cimento, em massa, empregado usualmente varia de 6 a 10%.

2.6.2.2.2 Solo melhorado com cimento

Esta mistura é obtida através da adição de pequenos teores de cimento, que variam de 2 a 4% da massa de solo, e busca principalmente a modificação do solo em relação a sua

plasticidade e sensibilidade à água, sem cimentação acentuada, sendo, portanto, considerada como uma camada de base ou sub-base flexível.

2.6.2.2.3 Solo-cal

É uma camada compactada, composta pela mistura de solo, cal e água. Às vezes, quando o solo é arenoso e com pouca argila, torna-se necessário adicionar cinza leve à mistura, tendo em vista que, segundo Lopes (2011), o tratamento com cal não é eficiente em solos com baixo ou nenhum teor de argila, uma vez que o melhoramento das propriedades mecânicas é produzido pelas reações entre a cal e os minerais argílicos. O teor de cal empregado frequentemente é de 5 a 6% da massa do solo, sendo que o processo de estabilização química da mistura solo-cal ocorre por: carbonatação, que é uma cimentação fraca; e pozolanização, que é uma cimentação forte. A camada de solo-cal é considerada semirrígida, caso ocorra uma eficiente estabilização química da mistura, através do alto teor de cal empregado aliada a natureza argilosa do solo usado, ou através do uso da cinza leve no caso de solos arenosos.

2.6.2.2.4 Solo melhorado com cal

Quando pelo baixo teor de cal empregado, ou pela natureza arenosa do solo usado associada à ausência de cinza leve, se obtêm uma mistura com estabilização química pouco eficiente, a camada de solo é somente melhorada com cal, sendo, portanto, considerada como uma camada de base ou sub-base flexível. Tendo em vista a ineficiente estabilização química da mistura, ocorre somente à modificação do solo em relação a sua plasticidade e sensibilidade à água, sem cimentação acentuada, com efeito análogo ao que ocorre com a mistura de solo melhorado com cimento.

2.6.2.2.5 Solo-betume

As camadas compactadas de solo-betume caracterizam-se pela mistura de solo, material betuminoso e água, sendo classificada como uma camada de base ou sub-base flexível.

2.6.2.2.6 Bases betuminosas diversas

As camadas de bases betuminosas são constituídas pela associação de agregados e materiais betuminosos, sendo que as técnicas construtivas aplicadas e os materiais

empregados são os mesmos usados no revestimento asfáltico dos pavimentos. São classificadas como camadas de bases flexíveis.

2.6.2.3 Base e sub-base de concreto

A camada de base e sub-base de concreto é composta pela associação de agregados, água e cimento Portland, sendo que a base em especial é fundida à camada de revestimento, formando uma camada única de concreto rica em cimento Portland (concreto plástico) e com acentuada resistência à tração. No entanto, a sub-base de concreto é constituída por camada de concreto magro, semelhante ao empregado em fundações, tendo em vista o seu baixo teor de cimento, mas com consistência apropriada para efetuar a compactação com equipamentos rodoviários, sendo geralmente denominada de Concreto Compactado com Rolo (CCR). As camadas de bases e sub-bases de concreto são consideradas camadas rígidas.

2.7 Gestão de resíduos sólidos industriais

2.7.1 Fundamentos da gestão de resíduos

Segundo Silva (2011), todo processo industrial gera resíduos, muitas vezes tóxicos e perigosos, os quais não podem ser simplesmente descartados na natureza sem causar danos à saúde e ao meio ambiente. Atualmente, o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos oriundo dos processos industriais, assim como os demais gerados nas diversas atividades humanas, é foco de preocupação das autoridades públicas e da sociedade como um todo.

Conforme Moreira (2006), no acordo formalizado pelo documento Agenda 21, resultante do encontro realizado no Rio de Janeiro em 1992, denominado de Eco/92, foi determinada a necessidade de integração da gestão dos resíduos à proteção ambiental. Definiu-se a iniciativa urgente de minimizar os resíduos sólidos, por meio de uma gestão preventiva, através da redução na sua geração, e da ampliação do reuso e da reciclagem. Para os resíduos remanescentes da gestão preventiva, ficou estabelecida a necessidade de promover a disposição e o tratamento ambientalmente correto aos mesmos. Após o evento Eco/92, ocorreu uma evolução na regulamentação do tema, obrigando a sociedade a se enquadrar neste novo panorama que se renova a cada dia.

Moreira (2006) ainda destaca que as exigências quanto ao controle dos resíduos e a necessidade de manter a competitividade numa economia globalizada, conduz a percepção das indústrias para o elevado desperdício econômico com os resíduos, obrigando o uso e a aplicação mais racional dos insumos nos seus processos produtivos, além de estimular o reuso e a reciclagem dos mesmos.

2.7.2 Gestão preventiva de resíduos

Silva (2011) relata que, de acordo com a agência de proteção ambiental americana *Environment Protection Agency* (EPA), antes de se pensar em solução de disposição, os resíduos devem que ser geridos seguindo os três conceitos da gestão preventiva, os quais são: a redução que produz o mínimo possível de resíduo; o reuso que reutiliza o resíduo no próprio processo que o gerou ou em outro processo, mas sem alterar suas propriedades físico-químicas; e a reciclagem que transforma o resíduo para servir de insumo para outro processo diferente daquele que o produziu.

Em contrapartida, Silva (2011) destaca que a gestão dos resíduos aplicada pelo setor industrial, ainda está focada no controle da poluição, onde são empregadas técnicas de tratamento dos resíduos gerados pelos processos produtivos, de modo a permitir o seu descarte final. Além do tratamento oneroso, esta postura ocasiona o desperdício de insumos e recursos naturais, divergindo do princípio de desenvolvimento sustentável. Considerando o exposto, novas metodologias de gerenciamento ambiental, de caráter preventivo, estão sendo aplicadas, objetivando evitar ou mesmo minimizar a produção da poluição.

2.7.3 Classificação dos resíduos

A padronização da amostragem, dos ensaios de lixiviação e solubilização e, a classificação dos resíduos sólidos é baseada por um conjunto de normas editadas em 1987 e revisadas em 2004 através da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). As normas técnicas vigentes elaboradas pela ABNT relacionadas à classificação dos resíduos sólidos são: NBR 10004:2004 – classificação dos resíduos sólidos; NBR 10005:2004 – procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos; NBR 10006:2004 – procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos; e NBR 10007:2004 – amostragem de resíduos sólidos.

Silva (2011) expõe que as normas mencionadas classificam os resíduos sólidos quanto aos seus potenciais riscos ao meio ambiente e à saúde pública, para permitir o seu adequado gerenciamento, mas não contemplam os resíduos radioativos que são de competência exclusiva da Comissão Nacional de Energia Nuclear. Segundo Farias (2005), a classificação dos resíduos norteiam os procedimentos necessários, para o tratamento a ser empregado no descarte dos resíduos sólidos oriundos dos processos industriais.

De acordo com a ABNT NBR 10004 (2004), a classificação dos resíduos sólidos contempla a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, a identificação de seus constituintes e suas características, e a comparação desses constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido. Cabe salientar que a classificação do resíduo pode ser baseada exclusivamente na identificação do seu processo produtivo, quando do enquadramento do resíduo nas listagens dos Anexos A ou B da referida norma, ou por meio da verificação de suas características. Os resíduos sólidos podem ser classificados em: Classe I – Perigosos; e Classe II – Não perigosos, sendo que os resíduos não perigosos são subdivididos em Classe II A – Não inertes e Classe II B – Inertes.

Segundo a ABNT NBR 10004 (2004), o resíduo é enquadrado na Classe I se apresentar periculosidade ou uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Para caracterizar um resíduo como perigoso é utilizada a comparação dos resultados obtidos no ensaio de lixiviação de resíduos, descrito na ABNT NBR 10005 (2004), com o Anexo F da ABNT NBR 10004 (2004), onde constam os limites máximos de concentração para alguns poluentes. Se o extrato lixiviado contiver qualquer um dos poluentes em concentrações superiores aos valores do Anexo F, o resíduo é classificado como perigoso ou tóxico.

Conforme a ABNT NBR 10004 (2004), o resíduo é enquadrado na Classe II B – Inerte quando, depois de submetido a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou desionizada à temperatura ambiente, conforme teste de solubilização da ABNT NBR 10006 (2004), não apresentar nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, conforme Anexo G da ABNT NBR 10004 (2004), excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor. O resíduo é classificado como Classe II A – Não inerte quando não é enquadrado na Classe I – Perigoso ou Classe II B – Inerte, e segundo a ABNT NBR 10004 (2004), pode apresentar propriedades de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

A Nota Técnica denominada Utilização de Resíduos Sólidos, a qual complementa a ABNT NBR 10004 (2004), enfatiza que a classificação de um resíduo, por si só, não deve

impedir o estudo de alternativas para a sua utilização. No entanto, é essa classificação que orienta os cuidados especiais no gerenciamento do resíduo sólido, os quais podem inviabilizar sua utilização quando não se puder garantir segurança ao trabalhador, ao consumidor final ou ao meio ambiente.

2.8 Gestão de resíduos aplicada atualmente às cinzas pesadas

2.8.1 Considerações iniciais sobre o aproveitamento das cinzas pesadas brasileiras

De acordo com Farias (2005), a cinza pesada é um resíduo sólido industrial, e por consequência, está suscetível às condições e exigências específicas para a sua disposição final no meio ambiente.

Apesar das vantagens técnicas e econômicas que o carvão apresenta sobre todas as demais alternativas energéticas atualmente disponíveis, Chies *et al*. (2003) destacam que a sua exploração gera alguns prejuízos, estando entre os seus maiores estigmas, os produtos residuais. Desta forma, o problema da combustão do carvão brasileiro, que apresenta alto teor de matéria mineral, é a geração de significativas quantidades de resíduos sólidos inorgânicos, que podem ocasionar sérios problemas ambientais.

No contexto exposto, é conveniente a aplicação da gestão preventiva às cinzas de carvão, por meio dos conceitos de reuso e reciclagem, ou seja, do seu aproveitamento. Para as cinzas leves, o reuso já é amplamente empregado, tendo em vista o relatado por Lopes (2011), onde 100% das cinzas leves, originárias do complexo termelétrico Jorge Lacerda, são consumidas pela indústria do cimento. Leandro *et al*. (2005) expõem que, ao contrário da cinza leve, a cinza pesada gerada nas termelétricas do Sul do Brasil, não está contemplada por nenhum tipo de aproveitamento, ficando depositada a céu aberto, configurando potencial risco ao meio ambiente.

Segundo Lopes (2011), o potencial de poluição das cinzas depende das concentrações dos elementos tóxicos e do grau de solubilização destes elementos na natureza. Rohde *et al*. (2006) destacam que é de conhecimento, através da bibliografia internacional e brasileira, que as cinzas de carvão contém elementos químicos, metais pesados e substâncias que apresentam propriedades químicas e toxicológicas que podem causar danos a saúde humana e ao meio ambiente.

Rohde *et al*. (2006) relatam que a experiência brasileira com cinzas de carvão, demonstra que em sua maioria, as mesmas são classificadas como resíduos do tipo Classe II A

– Não inerte, e desta forma, devem ser encaminhadas para aterro sanitário regido pela ABNT NBR 8419 (1992), quando não é aplicada a alternativa de reuso ou reciclagem a estes resíduos. Nos casos raros de classificação da cinza como resíduo do tipo Classe I – Perigoso, as cinzas devem ser destinadas a Aterro de Resíduo Industrial Perigoso (ARIP) que é regido pelas normas ABNT NBR 8418 (1983) e ABNT NBR 10157 (1987). Ainda, Rohde *et al*. (2006) evidenciam que é frequente a erosão dos aterros de cinzas de carvão, tendo em vista, a sua granulometria arenosa e a baixa coesão intrínseca a este resíduo.

Em contrapartida, Silva (2011) relata que historicamente no Sul do Brasil, as cinzas de carvão foram dispostas sem cuidados ambientais, como depósitos (bota-fora) no entorno das fontes geradoras, produzindo um estoque de milhões de toneladas de materiais de construção de extraordinária qualidade. Rohde *et al*. (2006) salientam que as cinzas dispostas em depósitos, sem nenhum controle ambiental, agridem o meio ambiente, a paisagem natural e os ciclos naturais. Através da pressão da sociedade e dos órgãos ambientais e governamentais, este panorama começou a mudar a partir da década de 1990. Atualmente, os excedentes de cinzas das termelétricas brasileiras, têm como destino final áreas licenciadas de armazenamento, como bacias de sedimentação e cavas de minas exauridas.

Silva (2011) destaca que, atualmente, as cinzas de carvão do Brasil são consideradas como resíduos de termelétricas, no entanto, ao avaliar suas características e possibilidades de aproveitamento, as cinzas podem ser consideradas como um recurso ou um subproduto da combustão a ser amplamente utilizada.

2.8.2 Barreiras e benefícios do aproveitamento das cinzas pesadas brasileiras

Apesar da importância energética e econômica do carvão para o Brasil, Sundstron (2012) destaca que o carvão está classificado como um problema ambiental de difícil solução e enfrenta as consequências da política de baixo incentivo ao setor energético. Tal cenário repercute negativamente para o estímulo às pesquisas científicas que viabilizem o aproveitamento dos seus rejeitos industriais, como as cinzas de carvão fóssil, posicionando o País na contramão das tendências mundiais pela busca da sustentabilidade ambiental. Além do exposto, Sundstron (2012) relata que as principais barreiras para o aproveitamento das cinzas pesadas brasileiras como matéria-prima são:

a) Deficiência no diálogo entre o setor carbonífero, mineradoras de carvão, usinas termelétricas, indústrias e órgãos de controle ambiental, gerando falta de políticas

públicas, legislação e especificações próprias, e subsídios que estimulem o consumo desses resíduos;

b) Estudos e pesquisas são realizados de maneira isolada, sem interação entre as mesmas;
c) Faltam estudos que demonstrem a viabilidade econômica para o aproveitamento deste resíduo em substituição a matéria-prima convencional de outros processos;
d) As usinas termelétricas estão despreparadas e desinteressadas em investir neste campo de estudo, classificando este resíduo simplesmente como descartável.

Ainda, Silva (2011) salienta que o baixo nível de consumo das cinzas pesadas é inevitável, tendo em vista, a combinação de custos elevados com transporte de um subproduto com baixo valor de mercado.

Em contrapartida, Nunes *et al*. (1996 *apud* FARIAS, 2005) ao avaliarem o uso das cinzas pesadas de carvão, concluíram que o aproveitamento das cinzas pesadas brasileiras na pavimentação pode gerar os seguintes benefícios:

a) Redução da demanda de matéria-prima convencional;
b) Redução dos custos energéticos relacionados com a extração e o transporte de agregados convencionais;
c) Redução dos custos da recuperação dos passivos ambientais gerados pela exploração de jazidas de materiais convencionais;
d) Redução dos problemas ambientais e econômicos referentes à estocagem e disposição final dos resíduos, minimizando assim, os custos da geração de energia elétrica;
e) Prováveis benefícios comerciais promovidos pelo aproveitamento dos resíduos, visto que são financiados pelos processos que os geram.

Rohde *et al*. (2006) destacam que as cinzas de carvão podem ter destino útil, sendo utilizadas como material de construção, ao invés de contribuir para a poluição ambiental e a ocupação de áreas nobres com elevado custo de disposição. Ainda, Rohde *et al*. (2006) constataram que a reciclagem das cinzas é uma alternativa de baixo custo, que transforma em economia, limpeza e proteção ambiental, o problema atual da disposição dos resíduos.

2.8.3 Potencial de aproveitamentos diversos das cinzas pesadas

Cincotto (1988 *apud* SUNDSTRON, 2012) relata o estudo elaborado pelo Comitê de Pesquisas em Materiais Residuais e Subprodutos para Construção de Rodovias, através da *Organization for Economical Cooperation and Development* (OECD), que propõe classes de resíduos, de acordo com o potencial de aproveitamento como material de construção.

Analisando a classe I, que contempla a classe de resíduos com aplicação potencial em rodovias, observa-se que dos 13 subprodutos relacionados, as cinzas pesadas e escórias aparecem na quinta colocação em termos de resíduo com potencial para a construção de rodovias. Segundo a OECD, a classe I contempla resíduos com potencial de aplicação máxima, detendo as melhores propriedades tanto na sua ocorrência natural, quanto na forma processada ou combinada, ou ainda, quando já foi registrado historicamente um desempenho satisfatório para o aproveitamento do resíduo.

Farias (2005) destaca que podem ocorrer variações no comportamento geotécnico entre a cinza pesada brasileira e a cinza pesada de países do hemisfério norte, tendo em vista, as suas diferenças granulométricas. O carvão brasileiro, com poder calorífico menor devido ao seu baixo teor de matéria orgânica, necessita passar por um processo de moagem para permitir uma melhor queima, o que resulta em uma cinza pesada de menor granulometria. Ainda, Farias (2005) relata que, diferentemente da propriedade pozolânica, o potencial cimentante das cinzas está correlacionado com o tipo e a proporção de carbonatos presentes na sua composição química, e considerando os baixos percentuais de óxido de cálcio observados, podem ocorrer limitações no desenvolvimento das reações cimentantes naturais deste resíduo.

Sundstron (2012) salienta que, atualmente no Brasil, o aproveitamento das cinzas leves como aditivo ao cimento pozolânico, é certamente o maior e mais atraente emprego deste resíduo, ao contrário do que ocorre com a tímida exploração das cinzas pesadas. Kreuz (2002) expõe que apesar do elevado volume gerado de cinza leve e pesada no Brasil, a maioria dos estudos é realizado para o uso da cinza leve, enquanto que, são poucos os estudos sobre o aproveitamento da cinza pesada. Tendo em vista a menor granulometria das cinzas leves e a sua forma de estocagem em silos, com um beneficiamento mínimo, o material está pronto para substituir parte do cimento Portland. Em contrapartida, a cinza pesada para ser aproveitada com o mesmo objetivo, deve ser submetida à moagem e secagem prévia, o que encarece o produto. Portanto, o desafio é viabilizar a aplicação da cinza pesada em atividades que permitam o aproveitamento no seu estado natural ou com pouco beneficiamento.

Sundstron (2012) cita como bom potencial de aproveitamento das cinzas pesadas brasileiras, o emprego em misturas de solo-cal para a construção de bases e sub-bases de pavimentos; e aterros estruturais melhorados com aglomerante para a construção de barragens, tendo em vista, a viabilidade de usufruir da sua propriedade pozolânica e distribuição granulométrica natural, sem qualquer tipo de beneficiamento. Contudo, tanto para a cinza leve já usada em larga escala, quanto para a cinza pesada atualmente pouco aproveitada, os estudos técnicos e econômicos indicam maior potencial de aproveitamento na

construção civil, através da produção industrial de cimento, de concreto asfáltico, de pré-moldados de concreto, e de concreto leve.

Considerando que na construção civil, as experiências brasileiras existentes para o aproveitamento da cinza pesada estão dirigidas principalmente aos artefatos de concreto, Pozzobon (1999) comprovou a viabilidade da aplicação da cinza pesada em blocos e briquetes de concreto para pavimentação, onde as peças de concreto foram dosadas com a substituição de 30% do cimento por cinza pesada. Andrade (2004) relata que outra possibilidade de uso da cinza pesada brasileira na construção civil, é na dosagem do concreto para fins estruturais, onde a mesma pode substituir a areia natural com teores que podem variar de 25% a 100%.

Segundo Rocha *et al*. (2003), as pesquisas recentes desenvolvidas para o aproveitamento da cinza pesada na fabricação de blocos estruturais, blocos de vedação, briquetes de pavimentação e concretos, tem apresentado a mesma qualidade quando comparada aos produtos com materiais convencionais, no entanto, com uma economia de até 40% no custo final da obra. Rocha *et al*. (2003) destacam que a adição de cinza pesada em concretos convencionais proporciona concretos de densidades menores, tendo em vista, à baixa massa específica da cinza pesada. Na substituição da areia pela cinza pesada brasileira, os concretos apresentaram um melhor desempenho do comportamento mecânico, atingindo resistência à compressão superior ao concreto de referência, para idades maiores que 28 dias.

Kreuz (2002) ao estudar concretos com diferentes consumos de cimento, diferentes proporções de substituição de agregados naturais por cinza pesada, diferentes proporções de substituição do cimento por cinza pesada, concluiu que nos concretos com incorporação de cinza pesada em relação aos concretos de referência, ocorreu significativa redução no consumo de cimento para a obtenção de concretos com as mesmas propriedades. No entanto, o consumo de água, para o mesmo abatimento, foi maior em relação ao concreto de referência, sendo que quanto maior o teor de substituição, maior a quantidade de água, possivelmente devido à estrutura porosa presente nas cinzas pesadas. Kreuz (2002) constatou que a cinza pesada, apresenta grande potencial como insumo na produção de concretos, tendo em vista, o aumento na resistência à compressão dos concretos produzidos com este material.

Piazza e Rui (1999 *apud* LEANDRO, 2005) relatam que, devido à estrutura porosa da cinza pesada, a relação água/cimento foi 70% maior para argamassas com substituição total da areia pela cinza pesada, em relação às argamassas fabricadas apenas com areia natural. A elevada relação água/cimento reduziu a resistência aos 28 dias de cura, tendo em vista que, as argamassas confeccionadas com cinza pesada apresentaram cerca de 20% da resistência à compressão, e cerca de 70% da resistência à tração por flexão, em relação às argamassas

fabricadas somente com areia natural. Para reduzir a quantidade de água de amassamento, os autores adicionaram às argamassas um superfluidificante, e substituíram de 15 a 30% da cinza pesada por cinza leve. A substituição parcial da cinza pesada pela cinza leve, elevou as resistências à compressão e à tração por flexão das argamassas, uma vez que, as cinzas leves reduziram a demanda de água de amassamento. Além disso, tendo em vista a menor dimensão das partículas da cinza leve, a mesma apresenta maior atividade pozolânica em relação a cinza pesada, e a sua incorporação à argamassa proporciona um melhor preenchimento dos espaços vazios, presentes entre as partículas da cinza pesada. Os autores afirmaram que os resultados obtidos, indicam que as cinzas pesadas apresentam potencial significativo para substituir as areias naturais na fabricação de argamassas, mesmo com a redução da resistência mecânica observada após a substituição total da areia pela cinza pesada.

Leandro (2005) relata que, as poucas pesquisas desenvolvidas no Brasil para o uso mais nobre da cinza pesada, estão dirigidas para a fabricação de artefatos de concreto. Desta forma, é indispensável à investigação e avaliação de novas alternativas de aproveitamento desse material como, por exemplo, na construção de bases e sub-bases de pavimentos. Além das pesquisas para o aproveitamento das cinzas pesadas brasileiras em matrizes de concreto, Farias (2005) relata que foram desenvolvidos estudos que comprovaram a viabilidade de aplicação das cinzas pesadas em sub-bases de pavimento. O próprio autor concluiu que a estabilização química da mistura de solo natural com cinza pesada, através da cal, ampliou em 60% a sua capacidade de suporte, habilitando a mistura para o emprego em sub-bases de pavimentos, tendo em vista, o desempenho mecânico observado.

Sundstron (2012) destaca que, a possível presença de traços de metais pesados na cinza pesada, restringe o seu aproveitamento na fertilização, recomposição e recuperação de áreas abertas na agricultura. A aplicação da cinza pesada necessita de ambientes controlados, como o que ocorre nos ambientes confinados da mineração e da pavimentação, tendo em vista a possibilidade de solubilização e transporte de algum elemento nocivo a saúde humana. Para um aproveitamento adequado e ambientalmente seguro, é indispensável imobilizar os elementos nocivos presentes nas cinzas pesadas. Felizmente, no Brasil, a legislação atual exige licença ambiental, para qualquer aproveitamento das cinzas como matéria-prima aplicada em escala industrial.

Conforme Kniess *et al*. (2002), a comparação através de diversas pesquisas, entre as características das cinzas pesadas e os materiais cerâmicos naturais e industriais, confirma que estes materiais apresentam composições químicas semelhantes, tanto em termos de teores de sílica e alumina, quanto em termos de óxidos fundentes. Tendo em vista a composição

química majoritária, de sílica e alumina presente na cinza pesada, a mesma detêm características favoráveis para ser utilizada como matéria-prima na produção de vidros e vitrocerâmicos. Kniess *et al*. (2002) constataram a possibilidade de reciclar a cinza pesada brasileira, mediante a sua transformação em materiais vítreos e vitrocerâmicos, viabilizando o aproveitamento de até 85% de cinza pesada na composição desses materiais.

2.8.4 Disposição atual das cinzas pesadas

2.8.4.1 Bacias de sedimentação, cavas de minas e depósitos

Silva (2011) observa que o principal aproveitamento das cinzas de carvão do Brasil é a comercialização para a produção de cimento, no entanto, isto ocorre apenas para as cinzas leves, além de não ser realidade em todas termelétricas brasileiras. Os resíduos excedentes têm como destino final, além dos depósitos, as bacias de sedimentação e cavas de minas exauridas. Rohde *et al*. (2006) relatam que no Brasil, desde a década de 1960, normalmente as cinzas de carvão foram destinadas a lagoas de decantação, ao preenchimento de cavas de minas abandonadas, ou ainda, foram depositadas sobre terrenos naturais. Destaca-se que, geralmente, não foram aplicadas na disposição final das cinzas, as adequadas técnicas construtivas, além das recomendações ambientais exigidas para esta classificação de resíduo.

Conforme consta em Oliveira *et al*. (2011), as cinzas leves são alocadas em silos e posteriormente vendidas para a indústria do cimento, e as cinzas pesadas, destinadas às bacias de decantação ou de sedimentação, localizadas nos arredores da termelétrica de Jorge Lacerda, conforme ilustrado na Figura 5. Segundo Higashi *et al*. (2003), cada bacia de sedimentação varia sua área superficial de 155.000 a 159.000 m², e possui dimensões de lados em torno de 745 m e 215 m. Os autores observam que, além da poluição visual, as cinzas pesadas podem contaminar o solo através de forças de percolação, atingindo o lençol freático nas regiões próximas às bacias, tendo em vista que o solo do fundo das bacias de sedimentação não apresenta tratamento adequado para a contenção de elementos químicos nocivos a saúde humana.

2.8.4.2 Aproveitamento – experiências internacionais

2.8.4.2.1 Aplicações diversas

Segundo Chies *et al.* (2003), para fins comerciais em todo o mundo, os grupos

industriais que aproveitam as cinzas e escórias de carvão, podem ser divididos em três categorias principais, tais como: construção, fabricação e estabilização de resíduos.

Chies *et al.* (2003) relatam que geralmente, na categoria construção, é onde se aproveita a maioria dos subprodutos do carvão, através de empresas construtoras, departamentos governamentais rodoviários, e outras instituições das esferas federal, estadual e municipal. Destacam-se os seguintes aproveitamentos na categoria construção: aplicação em concretos e argamassas; fabricação do cimento Portland pozolânico; aterros estruturais com ou sem a adição de aglomerantes; diques e barragens; bases estabilizadas para rodovias, pistas e edificações; e como *filler* em misturas betuminosas.

A categoria fabricação contempla, de acordo com Chies *et al.* (2003), os grupos industriais que tem provavelmente, o maior potencial para o desenvolvimento de novos aproveitamentos, dirigidos principalmente para a construção civil. Nesta categoria destaca-se o aproveitamento para a fabricação de agregados leves para concreto celular, e em artefatos para a construção civil, tais como: blocos, tijolos, placas, lajotas e painéis.

Conforme Chies *et al.* (2003), a categoria de estabilização de resíduos, geralmente inorgânicos, trata da utilização das propriedades pozolânicas das cinzas com a adição de cal, cimento ou gipsita, para encapsular e imobilizar os resíduos industriais perigosos ou tóxicos, produzindo uma massa endurecida com baixa capacidade de produzir lixiviado.

Rohde *et al*. (2006) destacam que no continente europeu e principalmente na Rússia, tanto as cinzas pesadas quanto as cinzas leves, a partir da década de 1960 são consideradas como materiais de construção com qualidades insuperáveis, sendo recomendadas na fabricação de cimento Portland, e na produção de: elementos de alvenaria, blocos de fundação, agregados leves, concretos convencionais e concretos leves. Ainda, em muitos países europeus, quantias elevadas de cinzas e escórias são aproveitadas em aterros estruturais, tanto na forma natural como melhoradas com aglomerantes. Na Inglaterra, estes aterros são observados em autoestradas, barragens, aeroportos e em outras aplicações onde são necessárias bases estáveis, enquanto que nos Estados Unidos é comum o emprego das cinzas em diques, barragens e aterros em geral.

Leandro (2005) salienta que, na construção civil, a cinza pesada é aproveitada para a confecção de argamassas, concretos convencionais, blocos de vedação, blocos estruturais, tijolos prensados e briquetes para pavimentação, sendo que este aproveitamento gera produtos, normalmente através da substituição dos agregados naturais ou do cimento pela cinza pesada. Rohde *et al*. (2006) observam que em nível mundial, as cinzas e escórias de

carvão fóssil estão firmemente estabelecidas, principalmente na Europa e na América do Norte, como um subproduto comercialmente viável.

2.8.4.2.2 Aplicações em bases e sub-bases de pavimentos

Conforme Leandro (2005), nos Estados Unidos e em outros países desenvolvidos, a cinza pesada é aproveitada, principalmente, como material para base e sub-base de pavimentos, na construção de diques e, ainda, como agregado para: concretos, asfaltos e argamassas para alvenaria. Nos Estados Unidos, as cinzas pesadas são empregadas com sucesso na construção rodoviária desde a década de 1950.

Moulton (1973 *apud* FARIAS, 2005) e Dawson *et al*. (1993 *apud* FARIAS, 2005) destacam que o aproveitamento de resíduos na engenharia rodoviária, como as cinzas pesadas descartadas por usinas termelétricas movidas a carvão, é uma realidade a muitos anos em países como a Inglaterra e os Estados Unidos.

Rohde *et al*. (2006) relatam que na Europa e nos Estados Unidos, a partir da década de 1960, ocorreu ampla disseminação do aproveitamento das cinzas de carvão estabilizadas quimicamente com aglomerantes, para o uso em bases, sub-bases e reforços de sub-leito de pavimentos. Em países como Inglaterra, França, Suécia, Rússia, entre outros, o aproveitamento das cinzas na pavimentação já faz parte das alternativas convencionais.

Chandler *et al*. (1994 *apud* SILVA, 2006) observam que na Dinamarca, Alemanha e nos Países Baixos, mais de 50% da cinza pesada gerada é aproveitada em camadas de base granular de pavimentos flexíveis. Ghafoori e Bucholc (1997 *apud* SILVA, 2006) salientam que, normalmente, a cinza pesada é aproveitada na produção de blocos de concreto, como um substituto de baixo custo para a areia natural; no entanto, em muitos países, a cinza pesada é aproveitada na construção das camadas de bases rodoviárias.

Silva (2006) destaca que o elevado aproveitamento de cinzas pesadas para obras de pavimentação em outros países, está relacionado ao tipo do carvão que está sendo queimado. Na Dinamarca, Alemanha, nos Países Baixos e também nos Estados Unidos, não é necessário à pulverização do carvão fóssil para permitir uma melhor queima, como ocorre no Brasil, devido ao seu baixo teor de matéria orgânica. Destaca-se que a granulometria da cinza pesada gerada em outros países é predominantemente pedregulhosa, conforme ilustrado na Figura 6.

De acordo com a *American Road & Transportation Builders Association* (2003), a primeira aplicação nos Estados Unidos, em relação à base rodoviária de cinza pesada estabilizada com cimento, ocorreu durante os anos de 1971 e 1972. A camada de base

construída foi composta pela mistura de 46% de cinza pesada com 54% de escória de alto forno, acrescida com uma proporção de 5% de cimento Portland em relação à massa total de agregados. A rodovia construída demonstrou excelente qualidade do pavimento por mais de 10 anos, e uma redução significativa no custo de implantação, quando comparado com o uso de agregados convencionais.

2.8.4.3 Aproveitamento – experiências brasileiras

2.8.4.3.1 Aplicações diversas

Rohde *et al*. (2006) destacam que testes laboratoriais e experiências de campo tem demonstrada a excelência da cinza brasileira, seja na forma pura, misturada com solos naturais, ou estabilizada com aglomerantes, para o uso como materiais de construção em diversas áreas como a pavimentação, construção civil, cerâmica, barragens, entre outras.

De acordo com Rohde *et al*. (2006), a capacidade máxima instalada da produção de cinzas de combustão de carvão fóssil, nas termelétricas da Região Sul do País e outras unidades industriais, era cerca de 4,5 milhões de toneladas por ano em 2006. Não está contabilizado a este volume cerca de 2,5 milhões de toneladas por ano de cinzas previstas para serem geradas logo após a conclusão das obras das termelétricas em construção. Os autores destacam que, apesar da disponibilidade de tecnologias voltadas ao aproveitamento, tanto das cinzas leves quanto das cinzas pesadas e escórias, apenas 50% das cinzas produzidas na época citada, eram aproveitadas conforme os conceitos da gestão preventiva de reuso e reciclagem. Observa-se que o percentual de aproveitamento só não é menor, devido à elevada demanda e consumo das cinzas leves pelas indústrias cimenteiras.

Segundo Lopes (2011), no Brasil a principal utilização das cinzas residuais da combustão do carvão fóssil, ocorre através da substituição de parte do clínquer por cinza leve na fabricação do cimento Portland, principalmente, o Cimento Portland Pozolânico (CP IV). Atualmente, 100% das cinzas leves originárias do complexo termelétrico Jorge Lacerda, situado no município de Capivari de Baixo/SC, é consumido pela indústria do cimento. Rohde *et al*. (2006) observam que toda cinza leve, atualmente produzida na termelétrica de Charqueadas/RS, é destinada a fabricação de Cimento Portland.

Sundstron (2012) relata que há preferência da indústria cimenteira pela cinza leve, enquanto que a cinza pesada é, geralmente, destinada apenas na recuperação de áreas degradadas próximas às termelétricas. No entanto, algumas indústrias da produção de:

cimento, concreto asfáltico, pré-moldados de concreto e concreto celular, regularmente já fazem proveito das cinzas pesadas dentro dos seus processos industriais, e estão ampliando estas quantidades em seus produtos, principalmente em épocas de baixa disponibilidade de oferta das cinzas leves, cada vez mais frequentes.

Conforme Sundstron (2012), a partir das pesquisas que demonstraram o potencial de aplicação da cinza pesada em artefatos de concreto para a construção civil, empresas, como o grupo Votorantim, implantaram projetos que aproveitam as cinzas pesadas de lagoa provenientes de Capivari de Baixo/SC, em blocos de alvenaria (produto Blocolit) e briquetes de pavimento (produto Pisolit). Ainda, Sundstron (2012) observa que, uma das maiores empresas de produção mundial de concreto celular, a Wehranh, recentemente apresentou projeto de instalação industrial no município de Butiá/RS, buscando proximidade ao insumo básico para sua produção. Tendo em vista a baixa massa específica das cinzas, as mesmas são consideradas excelentes insumos para a produção de concreto celular, sendo que o aproveitamento pode variar entre 5 a 10%, de cinza leve ou pesada, na sua composição.

Rohde *et al*. (2006) destacam que na década de 1980, o DAER/RS em cooperação com a CIENTEC/RS, desenvolveram técnicas construtivas apropriadas, para aterros das cinzas pesadas de Charqueadas/RS e escórias de São Jerônimo/RS. Em 1986, foi construído um aterro experimental em São Jerônimo/RS, junto ao arroio Porteirinha, com cerca de 200 metros de comprimento e quatro metros de altura, utilizando escórias da termelétrica de São Jerônimo/RS. Na década de 1990, nos aterros da rodovia e nos encontros da ponte sobre o rio Jacuí, que liga o município de São Jerônimo/RS a General Câmara/RS, foram utilizadas cinzas pesadas e escórias, numa extensão de 4 km de estrada, a qual representa uma das maiores obras com o aproveitamento destes resíduos. A fiscalização, sobre as atividades de construção, confirmaram as expectativas da boa estabilidade dos aterros implantados, tendo em vista, as adequadas características do resíduo para esta aplicação.

Fungaro (2004) relata que zeólitas para o tratamento de efluentes, produzidas através da cinza leve, foram testadas para despoluir o efluente de um processo de zincagem de uma indústria de galvanoplastia. O efluente, após o tratamento, apresentou pH e concentração de íon metálico, compatíveis com os limites estabelecidos pela legislação, para o descarte no meio ambiente. O tratamento do efluente apresentou a mesma eficiência para zeólitas produzidas a partir da cinza pesada de carvão, conforme observado por Fungaro *et al*. (2002). As zeólitas de cinzas de carvão são adsorventes de baixo custo, e comercialmente, podem ser aplicadas nas áreas industriais, domésticas, e de saúde, sendo que há também um mercado potencial de grande volume na área da agricultura, como fertilizante de liberação lenta.

Sundstron (2012) salienta que o aproveitamento das cinzas pesadas na produção de materiais cerâmicos é uma solução atraente para minimizar os problemas de disposição das cinzas no meio ambiente. A reciclagem das cinzas pesadas para a produção de lareiras e churrasqueiras, usufruindo das suas propriedades de isolamento térmico, é uma prática corrente de algumas empresas deste segmento produtivo. A empresa Kachelofen, instalada no município de Bagé/RS, produtora de estufas vitrocerâmicas artesanais, através da adição de cinzas pesadas secas e processadas, obtém um produto de qualidade térmica superior aos produtos gerados com insumos tradicionais.

2.8.4.3.2 Aplicações em bases e sub-bases de pavimentos

Leandro (2005) observa que, nos Estados Unidos, a cinza pesada é empregada com sucesso na construção rodoviária desde a década de 1950, em contrapartida, a cinza pesada no Brasil não tem o mesmo aproveitamento, sendo o resíduo quase que totalmente descartado a céu aberto, gerando risco ambiental, e assim, comprometendo a instalação de novas termelétricas no País.

Segundo a Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Centro de Ecologia (2000), na prática já se constata a utilização de cinzas pesadas em obras de infraestrutura e urbanização nas áreas periféricas dos municípios de Charqueadas e São Jerônimo no Rio Grande do Sul. No entanto, Rohde *et al*. (2006) relatam que, através de contrato firmado entre a CIENTEC/RS e a Prefeitura Municipal de Charqueadas/RS, em 1999, foi elaborado apenas um projeto de pavimentação para trechos experimentais na Rua Castro Alves, onde foi previsto em suas camadas estruturais, a aplicação de cinza pesada pura e cinza pesada estabilizada com a adição de cal.

2.9 Pesquisas com resultados mais bem sucedidos para viabilizar o aproveitamento das cinzas pesadas brasileiras em bases e sub-bases de pavimentos

Este tópico contempla uma breve revisão bibliográfica referente às pesquisas que obtiveram os resultados mais bem sucedidos, no que diz respeito à viabilidade técnica e ambiental do uso de cinzas residuais de carvão queimado em termelétricas, para a construção de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários.

A viabilidade do uso das cinzas pesadas está vinculada as pesquisas que apresentaram o melhor desempenho do comportamento mecânico, tendo em vista que o mesmo é essencial

para viabilizar o emprego em camadas estruturais do pavimento. Além disso, o melhor desempenho mecânico das cinzas pesadas está correlacionado com a redução das taxas de lixiviação e solubilização dos compostos químicos perigosos presentes neste resíduo. Ao analisar as taxas de lixiviação de resíduos aplicados em pavimentação, Hill *et al*. (2001 *apud* FARIAS, 2005) constataram que as taxas de lixiviação são afetadas pelas condições do material, tais como: a granulometria, a compactação, a estabilização química e o pH do meio.

Analisando a Tabela 3, observa-se que a variabilidade dos resultados obtidos, principalmente para a granulometria e o Índice de Suporte Califórnia (ISC), para as cinzas pesadas puras, configura que a mesma pode ser considerada um material heterogêneo. Segundo Camara (2011), esta heterogeneidade é justificada por diversos fatores, tais como: composição e poder calorífico do carvão; grau de beneficiamento e moagem do carvão; tipo, projeto e operação da caldeira; sistema de extração e o manuseio das cinzas pesadas.

Considerando o contexto apresentado, alguns pesquisadores constataram que é indispensável ampliar as propriedades mecânicas das cinzas pesadas com a adição de um estabilizante químico do tipo cimento ou cal. Ou seja, é pertinente à adição de um aglomerante como o cimento ou cal para estabilizar quimicamente as cinzas pesadas, já que a estabilização granulométrica por si só não obteve resultados satisfatórios para atingir os parâmetros mínimos de comportamento mecânico exigidos nas especificações de bases e sub-bases rodoviárias, conforme as pesquisas apresentadas na Tabela 3.

Ambiental e economicamente, o aproveitamento das cinzas leves não é tão atrativo quanto o aproveitamento das cinzas pesadas, uma vez que as cinzas leves possuem elevado valor comercial agregado e já estão sendo consumidas pela indústria do cimento na sua totalidade. No entanto, Rosa (2009) salienta que solos arenosos com escassez de argila coloidal não reagem satisfatoriamente à cal, tendo em vista que nos solos argilosos ocorre a concentração de pozolanas naturais, inexistentes em solos arenosos.

Tendo em vista que a cinza pesada é geralmente classificada com uma areia fina ou areia siltosa, conforme consta em Higashi *et al*. (2003) e Vizcarra *et al*. (2010), é recomendável que quando adicionado cal nas cinzas pesadas, também seja adicionado cinzas leves (material pozolânico), uma vez que as cinzas leves acionam as reações cimentantes da cal, aumentando, desta forma a resistência mecânica. Portanto, quando se adiciona cal as cinzas pesadas é conveniente adicionar também cinza leve, sendo necessário contabilizar este custo adicional, considerando o presente valor agregado deste resíduo, visto que é demandado na fabricação do cimento pozolânico.

De acordo com a especificação de serviço rodoviária DNIT ES 141 (2010), que trata das bases estabilizadas granulometricamente, tendo como parâmetro o ISC mínimo de 80% para as bases de pavimento para rodovias com elevado tráfego e 60% para rodovias de moderado a baixo tráfego, pode ser observado na Tabela 3 que sempre que adicionada cal ou cimento na cinza pesada, todas as pesquisas viabilizaram o seu uso do ponto de vista do comportamento mecânico.

Analisando a Tabela 3, Chies *et al*. (2003) destacam que misturando a proporção de 90% de cinza pesada oriunda de diversas termelétricas, com a proporção de 10% de cal hidratada, foram obtidos para tijolos ecológicos prensados com cargas elevadas, resultados de Resistência à Compressão Simples aos 28 dias de cura (RCS28) variando de 6 a 10 MPa. Leandro (2005) relata que misturando a proporção de 32% de cinza pesada com a proporção de 65% de solo natural mais a proporção de 3% de cal hidratada obteve resultados para o ISC de 107% e 1 MPa para a RCS28, viabilizando o uso destas cinzas pesadas, ainda que com módulo de resiliência inferido em apenas 72 MPa.

Ainda observando a Tabela 3, sem dúvida nenhuma, os melhores resultados mecânicos foram obtidos por Trichês *et al*. (2005), onde foi desenvolvido uma base de Concreto Compactado com Rolo (CCR) com baixo teor de cimento (com proporção de 3,8%), e foi substituída toda a areia do concreto por cinza pesada (com proporção de 22%), sendo que o restante do concreto foi composto de agregados convencionais, tais como: brita, pedrisco e pó de pedra. Trichês *et al*. (2005) obtiveram 7 MPa para a RCS28 e um módulo de resiliência de 11.580 MPa para a mistura estudada.

Do ponto de vista ambiental, considerando o pH levemente alcalino das cinzas pesadas de carvão obtido por Sundstron (2012), tendendo desta forma, a uma maior solubilização de metais pesados quando da percolação de água, quase todas as pesquisas classificaram a cinza pesada pura como um resíduo sólido industrial Classe II A, sendo, portanto, um material não perigoso, mas não inerte, de acordo com a ABNT NBR 10004 (2004).

Além da propriedade de melhorar o comportamento mecânico das cinzas pesadas, Farias (2005) concluiu que a adição de cal às cinzas pesadas reduz a concentração de elementos químicos perigosos solubilizados, tais como, mercúrio, chumbo e arsênio, uma vez que a cal, sendo um composto cimentante, tem a capacidade de imobilizar certos compostos metálicos. Farias (2005) ainda demonstrou, através de ensaios de percolação, que em todas as misturas solo-cinza pesada estabilizadas com cal (3% a 6% em peso), as concentrações dos metais pesados perigosos, controlados pela ABNT NBR 10004 (1987), presentes no líquido percolado, ficaram dentro dos padrões de potabilidade do Ministério da Saúde.

Rohde *et al*. (2006) destacam que as cinzas quando estabilizadas quimicamente com cimento ou cal levam notória vantagem em termos de imobilização das suas substâncias tóxicas ou poluentes. Silva (2011) obteve a inertização dos elementos químicos perigosos, solubilizados em tijolos compostos de solo-lodo-cinza leve através da propriedade estabilizante do cimento.

Trichês *et al*. (2006) relatam que os resultados obtidos indicaram que as cinzas pesadas aplicadas individualmente têm um péssimo comportamento geotécnico; no entanto, concluíram que quando as cinzas pesadas foram estabilizadas com cal, o comportamento geotécnico tornou-se satisfatório, habilitando este resíduo para a aplicação em camadas de sub-bases de pavimentos flexíveis. Além disso, conforme Trichês *et al*. (2006), a adição de cal resultou na minimização das taxas de lixiviação e solubilização de compostos químicos perigosos presentes na cinza pesada.

Ratificando a provável inertização do resíduo cinza pesada com a adição de um aglomerante químico, Chies *et al.* (2003) salientam que uma das categorias de aproveitamento das cinzas é a estabilização de resíduos, a qual trata da utilização das propriedades pozolânicas das cinzas com a adição de cal, cimento ou gipsita, para encapsular e imobilizar os resíduos industriais perigosos ou tóxicos, produzindo uma massa endurecida com baixa capacidade de produzir lixiviado.

Portanto, pode-se constatar através das pesquisas realizadas que a adição de um estabilizante químico, tanto a cal quanto o cimento, tendem a produzir a inertização do resíduo cinza pesada, viabilizando ambientalmente o aproveitamento do mesmo. Desta forma, a classificação ambiental do resíduo, para as cinzas pesadas puras, deve ser realizada para cotejar os efeitos da inertização do uso da cal ou do cimento como estabilizante químico.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 Proposta de análise para viabilizar o aproveitamento das cinzas pesadas brasileiras em bases e sub-bases de pavimentos

Com base nas referências bibliográficas, ou seja, através da contribuição destas pesquisas, foi possível rearranjar ideias e gerar uma proposta que avalie a viabilidade do aproveitamento das cinzas pesadas brasileiras para a construção de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários, respeitando os aspectos técnicos, econômicos e ambientais.

Para viabilizar tecnicamente o aproveitamento das cinzas pesadas de carvão fóssil, residuais das termelétricas brasileiras, para a aplicação em bases e sub-bases de pavimentos rodoviários, são necessários os ensaios para a caracterização física da cinza pesada pura, os ensaios para a caracterização da resistência mecânica da cinza pesada pura e, ainda, os ensaios para a caracterização da resistência mecânica para as diferentes combinações das misturas testadas, definindo, por fim, a combinação que gerou a mistura ideal de cinza pesada, cinza leve e cimento.

Posteriormente, adotando uma postura conservadora e considerando as implicações ambientais do aproveitamento das cinzas pesadas, foi efetuada a verificação da viabilidade ambiental, através de ensaios de lixiviação e solubilização para a primeira composição de mistura que resultou em uma Resistência à Compressão Simples (RCS) superior a 2,1 MPa, a qual é a resistência mínima aos 7 dias de cura, estabelecida na especificação de serviço de solo-cimento DNIT ES 143 (2010). Certamente, tendo em vista os teores dos estabilizantes químicos aplicados, caso a mistura seja classificada como inerte para esta resistência mínima, será inerte para as demais misturas com resistência superior a mínima especificada.

De modo a caracterizar a viabilidade econômica para aproveitar as cinzas pesadas como solução para bases e sub-bases de pavimentos rodoviários, foi efetuada a comparação de custo entre as bases e sub-bases tradicionais geralmente empregadas no Brasil, e a solução de base e sub-base efetuada com a mistura de cinza pesada, cinza leve e cimento. As principais variáveis consideradas no custo das soluções são: a Distância Média de Transporte (DMT) referente à aquisição do insumo da sua respectiva fonte de material até o local onde será usinada a mistura e, a DMT do local da mistura até o ponto de aplicação na pista.

As bases e sub-bases tradicionais, normalmente aplicadas no Brasil, e atualmente, contempladas no Sistema de Custos Rodoviários (SICRO) do DNIT, referem-se às camadas de brita graduada, macadame seco e hidráulico, solo-cimento, solo melhorado com cimento,

entre outras bases e sub-bases com menor aplicação na Região Sul do Brasil. A capacidade estrutural, de cada solução de base e sub-base tradicional, foi definida por meio do Coeficiente de equivalência estrutural (K), apresentado na Tabela 9. O referido coeficiente, é aplicado no dimensionamento de pavimentos flexíveis e semirrígidos, através do método do DNER apresentado no Manual de Pavimentação DNIT IPR 719 (2006).

Para a realização da presente pesquisa científica, na Tabela 10 estão relacionados os ensaios e métodos para a análise da viabilidade técnica e ambiental, para o aproveitamento das cinzas pesadas brasileiras em bases e sub-bases de pavimentos rodoviários.

3.1.1 Análise da viabilidade técnica

3.1.1.1 Necessidade da adição de estabilizantes químicos nas cinzas pesadas

Segundo as especificações de serviço DNIT ES 139 (2010) e DNIT ES 141 (2010) que tratam, respectivamente, das sub-bases e bases estabilizadas granulometricamente, o Índice de Suporte Califórnia (ISC) mínimo e a expansão máxima para aplicar a cinza pesada pura como sub-base e base de pavimentos rodoviários são:

a) ISC mínimo para sub-base de solo ou cinza pesada > 20% e expansão máxima de 1,0%, Proctor Intermediário (PI);
b) ISC mínimo para base de solo ou cinza pesada > 60% e expansão máxima de 0,5%, Proctor Intermediário (PI), para o tráfego de $N < 5 \times 10^6$;
c) ISC mínimo para base de solo ou cinza pesada > 80% e expansão máxima de 0,5%, Proctor Modificado (PM), para o tráfego de $N > 5 \times 10^6$.

Cabe destacar que, segundo o Manual de Pavimentação DNIT IPR 719 (2006), o número N citado é o parâmetro de tráfego calculado e empregado no dimensionamento dos pavimentos, e refere-se ao número equivalente de aplicações do eixo simples padrão de 8,2 toneladas de carga, durante todo o período de operação do pavimento rodoviário.

Conforme o exposto, para atender a especificação de serviço DNIT ES 141 (2010) para bases de pavimentos, é necessário que o ISC da cinza pesada pura seja superior a 60%. No entanto, quando se analisa os resultados obtidos nas referências bibliográficas que estão apresentados na Tabela 3, constata-se que para aplicar a cinza pesada em bases de pavimentos, a mesma necessita ser estabilizada quimicamente com cimento ou cal.

Tabela 10 – Ensaios e métodos de análise da viabilidade técnica e ambiental para o aproveitamento das cinzas pesadas

Material pesquisado	Propriedade pesquisada	Ensaio ou procedimento aplicado			Método aplicado	Quanti-dade*	Local do ensaio ou procedimento
Cinza Pesada pura Composição (CP/CL/Cim) (100/0/0)	**Representa-tividade da amostra**	Termelétrica de origem			Unidade Térmica Charqueadas (UTCH) (Resíduo sólido industrial)		Instalações da empresa Copelmi Mineração Butiá/RS
		Massa total das amostras coletadas (kg)			NBR 10007/2004	720 kg	
		Nº de amostras parciais coletadas no local (amostras simples)				581	
		Nº de amostras resultantes (amostra composta) (após homogeneização das amostras simples)				1	
	Caracterização física	Limite de Liquidez (LL) (%)			DNER-ME 041/94 NBR 6459/1984 DNER-ME 122/94	1	Laboratório do Departamento de Geotecnia (DEPGEO) da CIENTEC Porto Alegre/RS
		Limite de Plasticidade (LP) (%)			DNER-ME 041/94 NBR 7180/1984 DNER-ME 082/94	1	
		Coeficiente de Inchamento (CI)			DNER-ME 041/94 NBR 6467/1987 DNER-ME 192/97	1	
		Massa específica real dos grãos (gcm^{-3})			DNER-ME 041/94 NBR 6508/1984 DNER-ME 093/94	1	
		Massa unitária solta (gcm^{-3}) (material seco)			DNER-ME 041/94 NBR 7251/1982 DNER-ME 152/95	1	
		Análise granulométrica			DNER-ME 041/94 NBR 7181/1984 DNER-ME 051/94 (peneiramento) DNER-ME 080/94 (sedimentação)	1	
		Classificação TRB da cinza pesada			*Transportation Research Board* (TRB) AASHTO M 145 (1973)	1	
	Caracterização da resistência mecânica	**Ensaio de Proctor** energia de compactação: intermediária (cilindro pequeno) (não reusar o material no ensaio de compactação)	Teor de umidade ótima (%)		NBR 7182/1986 (cil. pequeno/grande) DNIT 164/2013-ME (cilindro grande) (adaptar especificação para cilindro pequeno) **No mínimo 5 pontos de umidade para cada curva de compactação**	1	
			Massa Específica Aparente Seca (MEAS) (gcm^{-3})				
		Índice de Suporte Califórnia (ISC) (%)	Energia de compactação: intermediária (cilindro grande) (cura de 7 dias)		NBR 9895/1987 (cilindro grande) DNER-ME 049/94 (cilindro grande) DNIT 160/2012-ME	1	
		Expansão (%)				1	
		Resistência à Compressão Simples (RCS) (MPa) energia de compactação: intermediária (cilindro miniatura Ø=5cm e Altura=10cm) (cura de 7 dias)			DNER-ME 201-94 / DNER-ME 202-94 (ao invés da energia normal, adaptar estas especificações para a energia intermediária e para o cilindro miniatura)	3	
	Caracterização química e ambiental	Potencial Hidrogeniônico (pH) (sem compactação e sem cura)			ASTM D 4980-89 (2003) (pHmetro)	2	Laboratório da empresa Pró-Ambiente Análises Químicas e Toxicológicas Ltda. Porto Alegre/RS
		Classificação do resíduo sólido (sem compactação e sem cura)	Ensaios	Lixiviação	Anexos F e G da NBR 10004/2004 NBR 10005/2004 NBR 10006/2004	2	
				Solubilização		2	
Cinza Leve pura Composição (CP/CL/Cim) (0/100/0)	**Representa-tividade da amostra**	Massa total das amostras coletadas (kg)			Produto comercial	50 kg	Empresa Tractebel Energia-Unidade Térmica Charqueadas (UTCH) Charqueadas/RS
		Nº de amostras coletadas no local			-	1	
	Caracterização química	Potencial Hidrogeniônico (pH) (sem compactação e sem cura)			ASTM D 4980-89 (2003) (pHmetro)	2	Laboratório da empresa Pró-Ambiente Análises Químicas e Toxicológicas Ltda. Porto Alegre/RS
Cimento puro Composição (CP/CL/Cim) (0/0/100)	**Representa-tividade da amostra**	Massa total das amostras coletadas (kg)			Produto comercial	50 kg	Cimento Portland Composto (CP II-Z-32), marca Votoran, produzido em Rio Branco do Sul/PR
		Nº de amostras coletadas no local			-	1	
	Caracterização química	Potencial Hidrogeniônico (pH) (sem compactação e sem cura)			ASTM D 4980-89 (2003) (pHmetro)	2	Laboratório da empresa Pró-Ambiente Análises Químicas e Toxicológicas Ltda. Porto Alegre/RS
Misturas testadas: Composição (CP/CL/Cim)	**Caracterização da resistência mecânica**	**Ensaio de Proctor** energia de compactação: intermediária (cilindro pequeno) (não reusar o material no ensaio de compactação)	Teor de umidade ótima (%)		DNER-ME 216/94 (cilindro pequeno) (ao invés da energia normal, adaptar esta especificação para a energia intermediária) NBR 7182/1986 (cil. pequeno/grande) **No mínimo 5 pontos de umidade para cada curva de compactação**	7	Laboratório do Departamento de Geotecnia (DEPGEO) da CIENTEC Porto Alegre/RS
			Massa Específica Aparente Seca (MEAS) (gcm^{-3})				
		Resistência à Compressão Simples (RCS) (MPa) energia de compactação: intermediária (cilindro miniatura Ø=5cm e Altura=10cm) (cura de 7 dias)	Misturas com cimento na proporção 2%	**Mistura 1** $(98/0/2)_{Teor\ cim=2,04\%}$	DNER-ME 201-94 (cilindro pequeno) DNER-ME 202-94 (cilindro pequeno) (ao invés da energia normal, adaptar estas especificações para a energia intermediária e para o cilindro miniatura)	3	
				Mistura 2 $(95/3/2)_{Teor\ cim=2,11\%}$		3	
				Mistura 3 $(93/5/2)_{Teor\ cim=2,15\%}$		3	
				Mistura 4 $(88/10/2)_{Teor\ cim=2,27\%}$		3	
			Misturas com cimento na proporção 4%	Mistura 5 $(96/0/4)_{Teor\ cim=4,17\%}$		3	
				Mistura 6 $(93/3/4)_{Teor\ cim=4,30\%}$		3	
				Mistura 7 $(91/5/4)_{Teor\ cim=4,40\%}$		3	
				Mistura 8 $(86/10/4)_{Teor\ cim=4,65\%}$		3	
			Misturas com cimento na proporção 6%	**Mistura 9** $(94/0/6)_{Teor\ cim=6,38\%}$		3	
				Mistura 10 $(91/3/6)_{Teor\ cim=6,59\%}$		3	
				Mistura 11 $(89/5/6)_{Teor\ cim=6,74\%}$		3	
				Mistura 12 $(84/10/6)_{Teor\ cim=7,14\%}$		3	
			Misturas com cimento na proporção 8%	**Mistura 13** $(92/0/8)_{Teor\ cim=8,70\%}$		3	
				Mistura 14 $(89/3/8)_{Teor\ cim=8,99\%}$		3	
				Mistura 15 $(87/5/8)_{Teor\ cim=9,20\%}$		3	
				Mistura 16 $(82/10/8)_{Teor\ cim=9,76\%}$		3	
Mistura ideal: Composição (CP/CL/Cim) (?/?/?)	**Caracterização da resistência mecânica**	Índice de Suporte Califórnia (ISC) (%)	Energia de compactação: intermediária (cilindro grande) (cura de 7 dias)		NBR 9895/1987 (cilindro grande) DNER-ME 049/94 (cilindro grande) DNIT 160/2012-ME	1	Laboratório do Departamento de Geotecnia (DEPGEO) da CIENTEC Porto Alegre/RS
		Expansão (%)				1	
		Resistência à Compressão Simples (RCS) (MPa) energia de compactação: intermediária (cilindro miniatura Ø=5cm e Altura=10cm) (Para a análise da influência da adição de cinza leve na mistura, foi obtida a RCS para a mistura ideal com e sem a adição de cinza leve)	Mistura ideal com cinza leve	Cura de 7 dias	DNER-ME 201-94 (cilindro pequeno) DNER-ME 202-94 (cilindro pequeno) (ao invés da energia normal, adaptar estas especificações para a energia intermediária e para o cilindro miniatura)	3	
				Cura de 14 dias		3	
				Cura de 28 dias		3	
				Cura de 84 dias		3	
			Mistura ideal sem cinza leve	Cura de 7 dias		3	
				Cura de 14 dias		3	
				Cura de 28 dias		3	
				Cura de 84 dias		3	
1ª Mistura > 2,1 MPa: Composição (CP/CL/Cim) (?/?/?)	**Caracterização química e ambiental**	Potencial Hidrogeniônico (pH)	Sem compactação e sem cura		ASTM D 4980-89 (2003) (pHmetro)	2	Laboratório da empresa Pró-Ambiente Análises Químicas e Toxicológicas Ltda. Porto Alegre/RS
			Com compactação e cura de 3 dias			2	
			Com compactação e cura de 28 dias **Somente se a 1ª mistura > 2,1 MPa (cura 3 dias), permaneça não inerte após ensaio de solubilização**			2	
		Classificação do resíduo sólido (com compactação e cura de 3 dias)	Ensaios	Lixiviação	Anexos F e G da NBR 10004/2004 NBR 10005/2004 NBR 10006/2004	2	
				Solubilização		2	
		Classificação do resíduo sólido (com compactação e cura de 28 dias) **Somente se a 1ª mistura > 2,1 MPa (cura 3 dias), permaneça não inerte após ensaio de solubilização**	Ensaios	Lixiviação		2	
				Solubilização		2	

Fonte: Autoria própria, 2013.

* Em geral, os ensaios não serão repetidos, com exceção aos ensaios de resistência à compressão simples (triplicata), aos ensaios de lixiviação e solubilização (duplicata), e aos ensaios para determinação do pH (duplicata). No entanto, caso seja constatato algum resultado inesperado ou incoerente para qualquer ensaio, o mesmo será realizado novamente.

Todavia, analisando apenas o comportamento mecânico, a cinza pesada poderia ser utilizada diretamente como sub-base de pavimentos em rodovias com tráfego menos intenso ou em vias urbanas.

Em contrapartida, conforme explanado na subseção 2.9 – Pesquisas com resultados mais bem sucedidos para viabilizar o aproveitamento das cinzas pesadas brasileiras em bases e sub-bases de pavimentos, é necessário adicionar pelo menos 3% de cal para tornar a cinza pesada um material inerte no teste solubilização, considerando a presença de elementos químicos nocivos à saúde humana. Esta restrição inviabiliza o aproveitamento da cinza pesada pura, mesmo como sub-base de pavimentos rodoviários.

Considerando o déficit de comportamento mecânico da cinza pesada para sua aplicação direta e a necessidade ambiental de inertização do resíduo, foram adicionadas pequenas parcelas de estabilizantes químicos na cinza pesada. Desta forma, foi avaliado através de ensaios laboratoriais, o comportamento da cinza pesada com a adição do Cimento Portland Composto (CP II-Z) nas proporções de 2%, 4%, 6% e 8%, sendo que todas estas proporções de cimento composto com a combinação de proporções de 0%, 3%, 5% e 10% de cinza leve.

3.1.1.2 Critérios para a adição dos estabilizantes químicos nas cinzas pesadas

A Tabela 11 apresenta as proporções dos materiais que compõem os diversos tipos comerciais de cimento Portland. A concepção de misturar cimento com cinza leve, ou seja, reunir um aglomerante químico com um material pozolânico artificial, visa reduzir a proporção necessária do Cimento Portland Composto (CP II-Z), minimizando o custo da solução da camada de base ou sub-base de pavimento.

Tabela 11 **–** Proporções dos materiais que compõem os tipos comerciais de cimento Portland

Cimento Portland	Tipo	Clínquer + Gesso (%)	Escória siderúrgica (%)	Material pozolânico (%)	Calcário (%)
CP I	Comum	100	-	-	-
CP I – S	Comum	95-99	1-5	1-5	1-5
CP II – E	Composto	56-94	6-34	-	0-10
CP II – Z	Composto	76-94	-	6-14	0-10
CP II – F	Composto	90-94	-	-	6-10
CP III	Alto-forno	25-65	35-70	-	0-5
CP IV	Pozolânico	45-85	-	15-50	0-5
CP V – ARI	Alta Resistência Inicial	95-100	-	-	0-5

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2013.

Desta forma, foi coletada uma amostra de cinza leve da mesma termelétrica de onde, normalmente, algumas cimenteiras adquirem as cinzas leves para produzir o Cimento Portland Pozolânico (CP IV) comercial. A amostra de cinza leve foi produzida pela usina termelétrica de Charqueadas/RS, e é geralmente, destinada a produção industrial de cimento, através das empresas representantes das marcas Votoran e Cimpor.

A adição da cinza leve ao cimento visa minimizar a proporção empregada do Cimento Portland Composto (CP II-Z) e transformar a mistura num Cimento Portland Pozolânico (CP IV) não comercial e produzido em laboratório, todavia, com custo reduzido quando comparado com a aquisição comercial do Cimento Portland Pozolânico CP IV. A presença da cinza leve tende a acrescentar uma maior atividade pozolânica para idades de misturas mais avançadas, a retardar a liberação do calor inicial de hidratação do cimento, e a alterar positivamente à textura da mistura devido ao preenchimento de espaços vazios, contribuindo, dessa forma, para uma melhor estabilização, tanto química quanto granulométrica.

Analisando na Tabela 11, a proporção dos componentes do Cimento Portland Composto (CP II-Z) e o Cimento Portland Pozolânico (CP IV), observa-se que, para produzir um cimento CP IV a partir de um cimento CP II-Z, a relação entre a quantidade de cinza leve e a quantidade de cimento CP II-Z pode chegar a 80%. As misturas testadas de cinzas pesadas estabilizadas com cimento e cinza leve contemplaram valores diversos para esta relação, mas suficientes para verificar os efeitos e a influência da relação de 80% mencionada.

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), o Cimento Portland Pozolânico (CP IV) apresenta um concreto de melhor qualidade, sendo mais impermeável, tendo maior resistência e com menor calor de hidratação. O menor calor de hidratação gerado reduz o efeito da retração, que é responsável pela fissuração no concreto, sendo, desta forma, amplamente recomendado para o emprego em camadas de solo-cimento. Como consequência dos benefícios apontados para o Cimento Portland Pozolânico (CP IV), o mesmo se torna altamente resistente a meios agressivos, como ácidos e cloretos e, ainda, tende a apresentar resistência mecânica final acima dos 28 dias de cura, superior aos demais tipos de cimentos comerciais.

Segundo os dados de custo para os estabilizantes químicos apresentados na Tabela 12, obtidos através do Sistema de Custos Rodoviários (SICRO) e da Unidade Térmica Charqueadas (UTCH), a relação de custo entre o Cimento Portland Composto (CP II-Z) e a cinza leve é superior a 12 vezes, ou seja, o cimento CP II-Z é muito mais caro que a cinza leve, o que torna a sua substituição parcial por cinza leve economicamente atraente.

Tabela 12 – Custo dos estabilizantes químicos para o Rio Grande do Sul, data-base: maio/2014

Material	Fonte do custo	Custo (R$/kg)
Cal hidratada	SICRO2/RS	0,43
Cimento Portland CP II-32	SICRO2/RS	0,50
Filler	SICRO2/RS	0,16
Cinza leve*	UTCH	0,04

Fonte: DNIT-SICRO2/RS e UTCH, 2014.

* Custo estimado obtido informalmente junto a Unidade Térmica Charqueadas (UTCH).

Tendo em vista que, ao adicionar a cinza leve ao cimento CP II-Z, é possível reduzir a proporção aplicada do cimento CP II-Z, a cinza pesada tende a obter a estabilização química com baixo consumo de cimento e com custo compatível com as soluções de base e sub-base tradicionais. No entanto, a cinza pesada estabilizada quimicamente com cimento e cinza leve apresenta vantagens técnicas e ambientais adicionais em relação a algumas soluções tradicionais, pois trata-se de uma solução ambientalmente correta, além de ser classificada como uma camada semirrígida de pavimento, o que conduz o revestimento asfáltico a trabalhar com pouca deformação, protegendo o seu rompimento precoce por fadiga, uma vez que a camada semirrígida absorve e distribui melhor o carregamento imposto pelo tráfego.

3.1.1.3 Justificativa para o uso do cimento na mistura ao invés da cal

Através de ensaios de laboratório, o comportamento mecânico da cinza pesada foi avaliado, com e sem a adição de cinza leve e cimento. Desta forma, a cinza leve e o cimento foram definidos como os estabilizantes químicos a serem adicionados na cinza pesada. O tipo do cimento empregado foi o Cimento Portland Composto (CP II-Z).

Com a substituição de 75% de solo argiloso por areia, Kolling *et al*. (2012) obtiveram elevada resistência à compressão em misturas de solo-cimento, promovida pela estabilização dos solos argilosos, através da presença de areia na mistura. Uma vez que é consenso nas referências bibliográficas pesquisadas, que as cinzas pesadas brasileiras são classificadas com uma areia fina, se evidencia a afinidade em misturar o aglomerante cimento à cinza pesada.

De acordo com Lopes (2011), o tratamento com cal não é eficiente em solos com baixo ou nenhum teor de argila, uma vez que o melhoramento das propriedades mecânicas é produzido pelas reações entre a cal e os minerais argílicos. Portanto, quando é empregada cal em solos arenosos, torna-se necessário acrescentar significativa proporção de cinza leve na mistura, para acionar a propriedade de estabilização química da cal. No entanto, a deficiência

presente na estabilização química de solos arenosos com cal é apenas atenuada com a adição de cinza leve, e não eliminada totalmente.

Outra restrição do uso da cal, é que a mesma apresenta reações aglomerantes muito lentas, apesar de vitalícias. Em contrapartida, nos pavimentos de alto desempenho é necessário que os materiais apresentem resistências iniciais elevadas para permitir a liberação do pavimento, o quanto antes, ao tráfego. Já o cimento apresenta tempo de cura praticamente total de 28 dias, enquanto que a cal necessita de, pelo menos, 90 dias de tempo de cura para apresentar resistências que, em geral, ainda são inferiores ao cimento com 28 dias de cura.

Ainda, o elevado tempo de cura da cal, aliado a mistura com cinzas pesadas residuais das termelétricas brasileiras, possivelmente produziria taxas de lixiviação e solubilização de elementos tóxicos à saúde humana por tempo adicional desnecessário, em comparação com o cimento, tendo em vista o prolongado tempo para as reações aglomerantes inertizarem o resíduo. Por outro lado, os benefícios do emprego da cal caracterizam-se pela inexistência de fissuração e um significativo crescimento da resistência após os 90 dias de tempo de cura.

Analisando a Tabela 12, observa-se a similaridade entre o custo do cimento e da cal, sendo o custo do cimento ligeiramente superior. Contudo, para estabilizar quimicamente os solos, é possível aplicar um menor teor de cimento em relação à cal, proporcionando a mesma resistência mecânica para os mesmos tempos de cura. Ou seja, é necessário aumentar significativamente o teor de cal em relação ao teor de cimento, para que a cal adquira resultados parecidos com o cimento, todavia, a tendência é de que os resultados sejam sempre inferiores ao cimento, para baixos períodos de cura.

Tendo em vista as informações expostas, foi adotado como estabilizante químico o Cimento Portland Composto (CP II-Z) ao invés da cal. No entanto, deve-se ter cuidado com o teor de cimento empregado, visto que, quando aplicado em altos teores, a camada tende a criar muitas fissuras, principalmente quando não há um controle adequado durante o processo de cura. Através da percolação de água nas fissuras, aliada a ação do tráfego pesado, ocorre a formação de pressões hidráulicas que tendem a degradar a estrutura do pavimento, reduzindo sensivelmente sua vida útil. A expectativa é que a fissuração, devido à aplicação do cimento, seja reduzida com a adição da cinza leve, ou seja, espera-se o comportamento de um cimento pozolânico com baixo calor inicial de hidratação, liberado na mistura.

3.1.1.4 Distância máxima da usina misturadora até o ponto de aplicação na pista

De acordo com a especificação de serviço para a base de solo-cimento DNIT ES 143

(2010), o tempo decorrido entre a mistura pronta na usina misturadora e o início da compactação deve ser inferior a 1 hora, a menos que, a critério do projeto, comprovado por ensaios, seja verificada a inexistência de inconveniente na adoção de tempo superior. Considerando a velocidade média de 60 km/h e o tempo máximo de uma hora especificado é obtida a distância máxima de 60 km do ponto de aplicação na pista até a usina misturadora.

Uma vez que a especificação de serviço de solo-cimento permite um tempo superior a uma hora para o início da compactação, possivelmente, para distâncias da usina até o ponto de aplicação superiores a 60 km é necessário adicionar um retardador de pega para não comprometer a qualidade estrutural da mistura. No entanto, analisando a mistura de cinza pesada, cinza leve e cimento, destaca-se que tanto a cinza leve quanto a cinza pesada são mencionadas nas referências bibliográficas como materiais que apresentam potencial para retardar o início de pega das reações cimentantes.

Hoppe (2008) ao substituir 50% de cimento por cinza leve, constatou significativa alteração na cinética de hidratação e nos tempos de início e fim de pega, em relação à pasta de cimento de referência. O autor obteve para o tempo de início de pega, o aumento em 1 hora e 40 minutos; e para o tempo de fim de pega, o aumento em 55 minutos; em relação à pasta de cimento de referência sem a adição de cinza leve. Lenzi (2001 *apud* ANDRADE, 2004) relata que o tempo de início de pega aumentou em 200% na confecção de argamassas com cinzas pesadas, em relação à argamassa de referência, devido ao teor de 3,53% de carbono incombusto presente na cinza pesada.

Portanto, a solução mais conveniente para atender a especificação de serviço DNIT ES 143 (2010) é a instalação de uma usina misturadora de cinza pesada, cinza leve e cimento no máximo a 60 km do ponto de aplicação da mistura, sendo necessário transportar a cinza pesada até o local da usina. Outra configuração possível é a instalação da usina misturadora, junto à usina termelétrica de Charqueadas/RS, no entanto, em atendimento a especificação DNIT ES 143 (2010), é indispensável verificar, através de ensaio dos tempos de início e fim de pega, a inexistência de inconvenientes para distâncias superiores a 60 km.

3.1.2 Análise da viabilidade ambiental

Tendo em vista o pH levemente alcalino das cinzas pesadas de carvão obtido por Sundstron (2012), há uma certa tendência de ocorrer maior solubilização de metais pesados, quando da percolação de água. A maioria absoluta das pesquisas científicas, conforme exposto na subseção 2.5.7 – Caracterização ambiental, classificou a cinza pesada de acordo os

ensaios de lixiviação e solubilização da ABNT NBR 10004 (2004), como um resíduo sólido industrial Classe II A, ou seja, a cinza pesada é um material não perigoso, mas não inerte.

A cinza leve e o cimento foram adicionados na mistura como estabilizantes químicos, de modo a produzir a inertização do resíduo cinza pesada, viabilizando ambientalmente o aproveitamento do mesmo. Adotando uma postura conservadora para a segurança ambiental, tendo em vista as implicações ambientais para aproveitar as cinzas pesadas, a viabilidade ambiental foi verificada através de ensaios de lixiviação e solubilização para a primeira composição de mistura que resultou em uma resistência superior a 2,1 MPa. A resistência mencionada refere-se à mínima resistência à compressão, aos 7 dias de cura, estabelecida na especificação de serviço de solo-cimento DNIT ES 143 (2010).

Certamente, considerando os teores dos estabilizantes químicos aplicados, caso a mistura seja classificada como inerte para a primeira composição que resultou em uma resistência superior a 2,1 MPa, a mistura será inerte para as demais resistências superiores a mínima especificada, não sendo necessário verificar as taxas de lixiviação e solubilização para os teores de cinza leve e cimento que resultaram em resistências mais elevadas.

A avaliação das taxas de lixiviação e solubilização da mistura compactada e com tempos de cura de 3 e 28 dias permitem verificar a velocidade de inertização da mistura em relação ao seu tempo de cura. Caso a primeira composição de mistura, que resultou em uma resistência superior a 2,1 MPa, seja classificada como não inerte para os tempos de cura de 3 e 28 dias, será necessário repetir novamente o mesmo processo de análise ambiental; no entanto, para a composição de mistura que apresentou resistência imediatamente superior à verificada anteriormente. Uma vez que no ensaio de solubilização a amostra fica imersa por 7 dias para então ser verificado o seu extrato solubilizado, possivelmente, aos 3 ou aos 28 dias de tempo de cura mais 7 dias de imersão, a amostra seja inertizada sem que haja a necessidade de repetir novamente o processo de análise ambiental.

3.1.3 Análise da viabilidade econômica

3.1.3.1 Sistema de Custos Rodoviários (SICRO) do DNIT

O DNIT, órgão da administração pública que lidera e estabelece padrões nacionais para os custos rodoviários, desenvolveu o Sistema de Custos Rodoviários (SICRO) com o intuito de obter parâmetros de custos, para servir de referência para suas licitações de obras rodoviárias.

O Manual de custos rodoviários do DNIT (2003) apresenta a metodologia e os critérios adotados, para o cálculo dos custos unitários dos serviços necessários à execução das obras rodoviárias, além de apresentar as rotinas e procedimentos empregados no sistema informatizado SICRO2. O sistema SICRO2 contempla um novo conjunto de composições de custo, criado a partir das antigas composições do SICRO, que foram adequadas ao recente Manual de custos rodoviários do DNIT (2003).

A correção de mercado, para o custo dos serviços contemplados pelo sistema SICRO2, é realizada pelo DNIT por meio da frequente atualização dos insumos básicos, para cada Estado do Brasil, de modo a caracterizar as diferenças sociais, econômicas, naturais e logísticas de cada região. Os insumos básicos atualizados, tais como, a mão-de-obra, os equipamentos e os materiais alimentam estruturas de Composições de Custos Unitários (CCUs) de referência, estabelecidas para cada serviço rodoviário.

Os custos referenciais das soluções para bases e sub-bases de pavimentos rodoviários, cotejados na presente pesquisa científica, foram obtidos através do sistema SICRO2 para o Estado do Rio Grande do Sul e com data-base em relação a maio/2014.

3.1.3.2 Custo da recuperação de áreas degradadas das fontes de materiais tradicionais

Considerando o crescente rigor ambiental, aplicado para permitir a exploração das fontes de materiais tradicionais, tais como pedreiras e jazidas de solo, na análise comparativa do custo final das soluções das bases e sub-bases de pavimentos, deve ser considerado o custo para a recuperação de áreas degradadas, quando as fontes de materiais tradicionais empregadas não são exploradas comercialmente.

Como referencial para a estimativa de custo, pode ser citado o custo médio, previsto em setembro/2008, para a recuperação ambiental das jazidas de solo exploradas e destinadas a construção da terraplanagem da rodovia BR-448/RS. O referido custo, obtido no projeto elaborado pelo DNIT, foi de R$ 0,75 para cada metro cúbico de solo compactado na rodovia.

Em vista da situação encontrada, ao contrário do que ocorre quando há o aproveitamento da cinza pesada, ao final da vida útil da exploração das fontes de materiais tradicionais, deve ser levado em conta o custo para a recuperação das suas áreas degradadas, nos casos de emprego de fontes de materiais não comerciais.

3.1.3.3 Custo em função da distância de transporte para aquisição dos insumos

Para analisar a viabilidade econômica do aproveitamento da cinza pesada, o mais

importante é elaborar curvas de custo para as soluções de bases e sub-bases tradicionais que são geralmente empregadas no Brasil, e para a solução de base e sub-base efetuada com a mistura de cinza pesada, cinza leve e cimento. As curvas de custo das soluções são variáveis, principalmente, em função da Distância Média de Transporte (DMT) referente à aquisição do insumo da sua respectiva fonte de material até o local onde será usinada a mistura, e em função da DMT do local da mistura até o ponto de aplicação na pista.

As fontes de materiais dos insumos referem-se as suas respectivas origens, tais como, o depósito de areia, a jazida de solo, a pedreira, o local de aquisição do cimento, o depósito de cinza pesada, e a termelétrica onde foi gerada a cinza leve e pesada. Cabe destacar que, dependendo do traçado percorrido para transportar a cinza pesada, variável em função do local de usinagem da mistura da base ou sub-base do pavimento, poderá ser mais conveniente obter a cinza pesada do depósito de cinzas, do que da termelétrica de origem.

Desta forma, é possível verificar qual é a distância limite de transporte, para viabilizar o aproveitamento da cinza pesada em termos de custo. Como exemplo, da viabilidade da distância de transporte, cita-se a termelétrica de Candiota/RS que está a 420 km de Porto Alegre/RS, distância que inviabiliza economicamente transportar esta cinza pesada para as proximidades de Porto Alegre/RS. No entanto, para preservar a viabilidade econômica do aproveitamento das cinzas pesadas da termelétrica de Candiota/RS, este resíduo pode ser empregado em pavimentos do sistema viário dos municípios da Região ou em rodovias mais próximas a usina.

Atualmente, existem custos absorvidos pelas usinas termelétricas para depositar as cinzas pesadas em aterros de resíduos em imensas e inservíveis áreas de bota-foras, além de controles ambientais, possíveis sanções e multas, entre outros custos e entraves. Tendo em vista o cenário exposto, é demonstrada a conveniência e a atratividade econômica do aproveitamento das cinzas pesadas como solução para bases e sub-bases de pavimentos rodoviários, nos casos de distâncias de transporte com adequada viabilidade.

A condição do aproveitamento das cinzas pesadas nas bases e sub-bases dos pavimentos rodoviários, exige um volume significativo de material, ou seja, a termelétrica deve produzir um volume considerável de cinza pesada. Mas, para contornar esta condição, pode ser reunido em um mesmo local um volume suficiente de cinza pesada residual de várias termelétricas e indústrias, como é o caso do aterro de resíduos industriais da empresa Copelmi Mineração, situado no município de Butiá/RS.

3.1.3.4 Aspectos da cinza pesada e areia que afetam o custo e desempenho das soluções

Silva (2006) obteve resultados satisfatórios ao substituir totalmente a areia natural por cinza pesada de carvão, para a aplicação em sub-bases de Concreto Compactado com Rolo (CCR). Tendo em vista que a cinza pesada é classificada como uma areia fina queimada, e apresenta propriedades similares a areia, é importante comprovar a viabilidade econômica do aproveitamento da cinza pesada em relação a um material similar, no caso a areia natural.

Cabe observar que, atualmente, a areia natural vem sofrendo fortes restrições ambientais impostas para a sua extração e, por consequência direta, sofre a elevação no seu preço de mercado. Como exemplo deste cenário, é citada a crise ambiental ocorrida entre abril e julho/2013, devido às exigências ambientais no Estado do Rio Grande do Sul, onde o custo de aquisição da areia natural aumentou mais de duas vezes no apogeu da crise.

Caso o custo da solução de base e sub-base de cinza pesada estabilizada quimicamente com cinza leve e cimento seja compatível com as soluções de base e sub-base tradicionais, está comprovada a viabilidade econômica do aproveitamento da cinza pesada. Porém, resta ainda esclarecer qual é a justificativa para aproveitar a cinza pesada ao invés de usar a areia.

Possivelmente, sendo a cinza pesada gratuita e estando a uma DMT do local onde será usinada a mistura, compatível com os custos de aquisição e transporte da areia natural até a usina, aproveitar a cinza pesada será mais viável economicamente que a solução de base e sub-base de areia com cimento e cinza leve. No entanto, ainda deve ser cotejado o custo para transportar as misturas do seu local de usinagem até o ponto de aplicação na pista, uma vez que a diferente densidade das misturas promove custos distintos entre as soluções.

Com a substituição de 75% de solo argiloso por areia, Kolling *et al*. (2012) obtiveram o aumento da resistência à compressão em misturas de solo-cimento. Em comparação aos solos argilosos, uma característica positiva e comum nas cinzas pesadas e nas areias naturais é o maior tamanho dos seus grãos em relação aos grãos da argila. Por consequência, menor é a superfície específica para ser envolvida pela pasta de cimento, favorecendo a ligação entre os grãos da cinza pesada ou areia e, desta forma, é ampliado o desempenho mecânico da mistura, tendo em vista a sua melhor estabilização química.

Portanto, possivelmente o teor de cimento necessário para estabilizar quimicamente a mistura de cinza pesada, cinza leve e cimento será menor, em comparação com a solução de solo-cimento empregando solos argilosos. No entanto, mesmo com estas vantagens da cinza pesada, em relação aos solos argilosos, pode ser necessário aumentar o teor de

cimento, não por um critério de resistência mecânica, mas pela necessidade ambiental de inertização da cinza pesada.

Em contrapartida, ao analisar a areia como material concorrente e similar da cinza pesada de carvão, deve ser destacado que existem limites para a similaridade entre estes dois materiais, uma vez que a cinza pesada tende a ser melhor que a areia natural nos aspectos apresentados a seguir:

a) Até o presente momento, a cinza pesada não possui valor comercial e sim custos para descartar este resíduo industrial de termelétrica;
b) Silva (2006) relata que a cinza pesada apresenta melhor resistência aos 90 dias de cura em relação a areia, possivelmente devido as suas propriedades pozolânicas, melhorando, ao longo prazo, o desempenho das bases e sub-bases dos pavimentos;
c) Na Tabela 3 observa-se que os valores da massa específica real dos grãos dos solos e das cinzas pesadas indicam que a cinza pesada é um material bem mais leve que os solos encontrados na natureza, promovendo uma provável redução no custo do seu transporte. Mas o que confirma realmente a redução no custo do transporte da cinza pesada em comparação ao solo é a sua menor massa específica compactada na pista. As médias obtidas nos ensaios de compactação apresentados na Tabela 3 indicam a relação de 1,69 (1,630÷0,966), entre as massas específicas aparentes secas. Ou seja, a redução no custo do transporte da cinza pesada é de pelo menos 40%, quando comparado com o custo do transporte do solo; todavia, esta redução será verificada novamente com os ensaios geotécnicos previstos na Tabela 10.

Observado os aspectos positivos da cinza pesada em comparação com a areia, por outro lado, existem desvantagens a serem superadas para o aproveitamento das cinzas pesadas em relação a areia, principalmente quando as cinzas pesadas são estabilizadas quimicamente:

a) Analisando a Tabela 3, observa-se elevada heterogeneidade das características físicas e mecânicas das cinzas pesadas. Segundo Camara (2011), esta heterogeneidade é justificada por diversos fatores, tais como: composição e poder calorífico do carvão; grau de beneficiamento e moagem do carvão; tipo, projeto e operação da caldeira; sistema de extração e o manuseio das cinzas pesadas;
b) Sundstron (2012) destaca que a concentração de material incombusto é a ferramenta mais importante para controlar a eficiência dos processos de queima do carvão; no entanto, é observada frequentemente nas cinzas pesadas excessiva concentração de carbono, confirmando as imperfeições e a falta de controle dos processos de queima. Como consequência, Vizcarra (2010) observa que os solos naturais que contêm mais

de 2% de matéria orgânica exigem altos teores de cimento para viabilizar a estabilização química e o aumento significativo de resistência da mistura. Lopes (2011) salienta que a presença de matéria orgânica pode retardar ou inibir as reações cimentantes que ocorrem na mistura de solos com cimento;

c) Dias (2004) relata que os elementos químicos mais prejudiciais presentes nas cinzas de carvão são o carbono incombusto e o ferro na forma de hematita e de magnetita. O elemento ferro inibe as reações pozolânicas das cinzas, durante o processo de hidratação da cal, através de uma capa impermeável formada pela fixação da hematita e da magnetita sobre a superfície das partículas esféricas vitrificadas que compõem as cinzas. Segundo Leandro (2005), a magnetita e a hematita se formam a partir da decomposição do mineral pirita, presente no carvão fóssil minerado. Possivelmente, a excessiva quantidade de pirita está relacionada à ineficiência da etapa de beneficiamento, que visa à extração das substâncias inorgânicas do carvão.

3.2 Materiais

3.2.1 Cinza Leve (CL) e Cinza Pesada (CP)

Tanto a Cinza Leve (CL) quanto a Cinza Pesada (CP) coletada para a presente pesquisa são oriundas da usina termelétrica de Charqueadas/RS, pertencente à empresa Tractebel Energia. Por força de contrato, a termelétrica de Charqueadas/RS transfere a responsabilidade da disposição final das cinzas pesadas para a empresa Copelmi Mineração.

De acordo com Rosa (2009), a produção de cinza leve da termelétrica de Charqueadas/RS varia de 100 a 150 mil toneladas ao ano, sendo totalmente comercializada às indústrias cimenteiras representantes das marcas Votoran e Cimpor. Segundo Sundstron (2012), a proporção entre as cinzas leves e as cinzas pesadas da termelétrica de Charqueadas/RS é configurada historicamente pela variação de 60 a 70% de cinzas leves, sendo o restante formado por cinzas pesadas. Com os dados informados, pode-se inferir que a produção aproximada de cinza pesada da termelétrica de Charqueadas/RS varia de 54 a 81 mil toneladas ao ano.

A caracterização das cinzas leves e pesadas foi abordada no Capítulo 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. No entanto, considerando que o foco desta pesquisa é o aproveitamento das cinzas pesadas, foi realizada uma caracterização específica para a cinza pesada coletada, apresentada no Capítulo 4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS. Na

Figura 12, pode ser observada a diferença da graduação e do aspecto entre a cinza leve e a cinza pesada, após secagem e o destorroamento das amostras coletadas.

Figura 12 – Detalhe da amostra de cinza leve (à esquerda) e cinza pesada (à direita) após secagem e destorroamento



Fonte: Autoria própria, 2014.

3.2.2 Cimento (Cim)

Na presente pesquisa, foi adotado como aglomerante químico o Cimento Portland Composto (CP II-Z-32), da marca Votoran, produzido industrialmente no município de Rio Branco do Sul/PR. Os dados referentes à caracterização do cimento foram obtidos junto ao fabricante, através do suporte técnico de atendimento ao consumidor, e estão apresentados na Tabela 13. Tendo em vista que foi adotado um cimento composto com pozolana, já está incorporado na sua composição cerca de 6 a 14% de cinza leve, conforme os dados expostos na Tabela 11. O cimento CP II-Z-32 da marca Votoran, em saco de 50 kg, foi adquirido em julho de 2014, sendo que a mesma amostra foi usada em todos os ensaios realizados.

Tabela 13 – Caracterização do Cimento Portland Composto (CP II-Z-32), marca Votoran

Parâmetros obtidos no controle da produção do cimento		Dados médios mensais do controle				Limites NBR 11578:1991
		Fev/2014	Mar/2014	Abr/2014	Mai/2014	
Finura Blaine (cm²/g)		3.606	3.526	3.652	3.473	≥ 2.600
Tempo de início da pega (h:min)		04:59	04:50	05:12	04:46	≥ 01:00
Tempo de fim da pega (h:min)		06:13	06:03	06:29	05:59	≤ 10:00
Resistência à Compressão Simples (RCS) (MPa)	3 dias	22,9	22,3	22,6	22,7	≥ 10,0
	7 dias	27,8	27,5	28,2	27,7	≥ 20,0
	28 dias	35,3	34,5	35,8	35,4	≥ 32,0 e ≤ 49,0

Fonte: Cimentos Votorantim, 2014.

3.2.3 Água

Tanto a água utilizada no ensaio de compactação da cinza pesada e das misturas de cinza pesada, cinza leve e cimento, quanto a água utilizada na moldagem dos corpos-de-prova para os ensaios de Resistência à Compressão Simples (RCS), Índice de Suporte Califórnia (ISC), lixiviação e solubilização, e Potencial Hidrogeniônico (pH) são provenientes da rede pública de abastecimento do município de Porto Alegre/RS.

Em contrapartida, para a caracterização física da cinza pesada, referente a realização dos ensaios de Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP), análise granulométrica e massa específica real dos grãos, foi utilizada água destilada, em atendimento as normas e métodos de ensaios aplicados.

3.2.4 Misturas testadas de Cinza Pesada/Cinza Leve/Cimento (CP/CL/Cim)

Tendo em vista o déficit de comportamento mecânico observado na cinza pesada para sua aplicação direta e a necessidade ambiental de inertização do resíduo, foi avaliado o comportamento da cinza pesada com a adição do Cimento Portland Composto (CP II-Z) nas proporções de 2%, 4%, 6% e 8%, sendo que todas estas proporções de cimento composto com a combinação de proporções de 0%, 3%, 5% e 10% de cinza leve. Na Tabela 14 estão apresentadas as proporções e os teores adotados em cada mistura, bem como a nomenclatura para identificação ao longo da apresentação dos resultados da presente pesquisa.

A avaliação das misturas compostas pelas diversas combinações e proporções dos materiais permitiu determinar as proporções ótimas que convergem para a mistura considerada ideal, para aplicação como camada de base e sub-base de pavimento rodoviário. A mistura ideal foi definida com base nos resultados de Resistência à Compressão Simples aos 7 dias (RCS7), aliado ao custo dos estabilizantes químicos empregados em cada mistura, ou seja, a mistura ideal é a que apresenta melhor relação benefício-custo.

Posteriormente, adotando uma postura conservadora e considerando as implicações ambientais do aproveitamento das cinzas pesadas, a primeira composição de mistura com Resistência à Compressão Simples (RCS) superior a 2,1 MPa, a qual é a resistência mínima aos 7 dias de cura conforme a especificação de serviço DNIT ES 143 (2010), foi submetida aos ensaios de lixiviação e solubilização, de modo a verificar a sua viabilidade ambiental.

Tabela 14 – Composição, teores e nomenclatura das misturas testadas na pesquisa

Material ou mistura	Composição da mistura (CP/CL/Cim)	Proporção de materiais (%)			Teor de cinza leve (%)	Teor de cimento (%)	Nomenclatura adotada
		Cinza Pesada (CP)	Cinza Leve (CL)	Cimento (Cim)			
Cinza pesada	100/0/0	100	0	0	0,00	0,00	CP
Cinza leve	0/100/0	0	100	0	-	-	CL
Cimento	0/0/100	0	0	100	-	-	Cim
Mistura 1*	98/0/2	98	0	2	0,00	2,04	CP98 / CL0 / Cim2
Mistura 2	95/3/2	95	3	2	3,16	2,11	CP95 / CL3 / Cim2
Mistura 3	93/5/2	93	5	2	5,38	2,15	CP93 / CL5 / Cim2
Mistura 4*	88/10/2	88	10	2	11,36	2,27	CP88 / CL10 / Cim2
Mistura 5	96/0/4	96	0	4	0,00	4,17	CP96 / CL0 / Cim4
Mistura 6	93/3/4	93	3	4	3,23	4,30	CP93 / CL3 / Cim4
Mistura 7*	91/5/4	91	5	4	5,49	4,40	CP91 / CL5 / Cim4
Mistura 8	86/10/4	86	10	4	11,63	4,65	CP86 / CL10 / Cim4
Mistura 9*	94/0/6	94	0	6	0,00	6,38	CP94 / CL0 / Cim6
Mistura 10	91/3/6	91	3	6	3,30	6,59	CP91 / CL3 / Cim6
Mistura 11	89/5/6	89	5	6	5,62	6,74	CP89 / CL5 / Cim6
Mistura 12*	84/10/6	84	10	6	11,90	7,14	CP84 / CL10 / Cim6
Mistura 13*	92/0/8	92	0	8	0,00	8,70	CP92 / CL0 / Cim8
Mistura 14	89/3/8	89	3	8	3,37	8,99	CP89 / CL3 / Cim8
Mistura 15	87/5/8	87	5	8	5,75	9,20	CP87 / CL5 / Cim8
Mistura 16*	82/10/8	82	10	8	12,20	9,76	CP82 / CL10 / Cim8

Fonte: Autoria própria, 2014.

* Misturas selecionadas para realização do ensaio de Proctor, visando à verificação do teor de umidade ótima.

3.3 Métodos

3.3.1 Coleta das amostras de cinzas

Segundo Sundstron (2012), tratar as cinzas leves e pesadas residuais de termelétricas como produtos homogêneos constitui na prática de um erro, tendo em vista a complexidade e a diversidade dos fatores que compõem suas propriedades finais, exigindo, desta forma, uma análise mais criteriosa caso a caso, através da análise de informações e características concretas da realidade dos processos empregados.

Para a perfeita avaliação e caracterização das cinzas, Sundstron (2012) relata que é indispensável considerar aspectos como: origem e qualidade do carvão adquirido, tipo do processo de combustão, participação ou não de outro combustível no processo, tipo do

sistema de abatimento de sólidos e enxofre utilizado, assim como as formas de armazenagem, tratamento logístico e disposição do resíduo.

A heterogeneidade das cinzas pesquisadas é resultante principalmente da variabilidade dos processos de queima da termelétrica de Charqueadas/RS. Como exemplo, pode ser citada a presença ou não de óleo diesel na combustão, uma vez que este combustível secundário é adicionado na queima do carvão apenas para elevar a temperatura da caldeira. Camara (2011) destaca outros fatores que justificam a heterogeneidade das cinzas pesquisadas, tais como: composição e poder calorífico do carvão; grau de beneficiamento e moagem do carvão; tipo, projeto e operação da caldeira; sistema de extração e o manuseio das cinzas.

Sundstron (2012), ao analisar amostras de cinzas leves e pesadas de termelétricas distintas, concluiu que ocorre significativa variação entre as cinzas pesadas oriundas da mesma ou de diferentes termelétricas. Todavia, as cinzas leves apresentam composições mais estáveis e reprodutíveis, considerando que o processo da combustão do carvão privilegia a homogeneização das cinzas leves e a heterogeneização das cinzas pesadas, estimulando, desta forma, a preferência das indústrias cimenteiras pela cinza leve, em detrimento à cinza pesada.

3.3.1.1 Amostra de Cinza Leve (CL)

A concepção de misturar cimento com cinza leve, ou seja, reunir um aglomerante químico com um material pozolânico artificial, visa reduzir a proporção necessária do Cimento Portland Composto (CP II-Z), minimizando o custo da solução da camada de base ou sub-base de pavimento.

Diante disto, foi coletado cerca de 50 kg de cinza leve da mesma termelétrica de onde, normalmente, algumas cimenteiras adquirem as cinzas leves para produzir o Cimento Portland Pozolânico (CP IV) comercial. A amostra de cinza leve da presente pesquisa foi produzida pela usina termelétrica de Charqueadas/RS e é, geralmente, destinada à produção de cimento, através das empresas representantes das marcas Votoran e Cimpor.

Tendo em vista que as cinzas leves apresentam composições mais estáveis e reprodutíveis, tendendo a um resíduo mais homogêneo, foi coletada apenas uma amostra deste material. A cinza leve é reconhecida pela ABNT NBR 12653 (1999) como um material pozolânico artificial que apresenta eficiência incontestável, uma vez que é usada amplamente na produção industrial de cimento.

Desta forma, a cinza leve foi considerada na presente pesquisa como um produto comercial, assim como o cimento, justificando a ausência da realização de ensaios adicionais

nestes materiais. Todavia, a plena caracterização das cinzas leves está abordada no Capítulo 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. Não obstante, foi verificado o pH da amostra da cinza leve e do cimento, permitindo a avaliação mais adequada do potencial de solubilização de elementos químicos destes materiais e a sua influência ambiental na mistura com a cinza pesada.

3.3.1.2 Amostra de Cinza Pesada (CP)

A cinza pesada coletada para a presente pesquisa foi oriunda da usina termelétrica de Charqueadas/RS; todavia, tanto a coleta das amostras parciais quanto à homogeneização das mesmas foi realizada nas instalações da empresa Copelmi Mineração, localizada no município de Butiá/RS. Após a homogeneização das amostras parciais, foram obtidos cerca de 720 kg de cinza pesada para a pesquisa.

O critério de amostragem adotado originou-se da provável logística, a ser empregada na produção de cinza pesada estabilizada com cinza leve e cimento, por meio de uma usina misturadora de materiais. Tendo em vista a elevada heterogeneidade intrínseca a cinza pesada, aliada à necessidade de produção industrial em larga escala para atender a demanda das obras rodoviárias, o mais adequado e viável é homogeneizar o material, de modo a minimizar o efeito da heterogeneidade presente na cinza pesada.

Ao todo foram coletadas 581 amostras parciais em diferentes períodos de tempo, contemplando, desta forma, a variabilidade dos processos de queima da termelétrica de Charqueadas/RS. As 581 amostras parciais, correspondentes ao período de coleta, referem-se a uma produção total de cinza pesada de 16.180 toneladas. A amostragem abrangeu um período adequado de produção da termelétrica, com a finalidade de obter uma melhor representatividade das diversas situações do processo e da qualidade da cinza pesada. A coleta das amostras parciais ocorreu por três meses, desde o início de fevereiro até o fim de abril de 2014.

As amostras parciais foram extraídas de cada caminhão, que retornou com a cinza pesada produzida na termelétrica de Charqueadas/RS. De cada caminhão, foi coletado um volume total aproximado de três litros de cinza pesada. Este volume mencionado foi formado pela coleta e mistura da cinza pesada de quatro pontos da carroceria, onde cada ponto correspondeu ao volume de uma pá de concha. Os pontos de coleta na carroceria do caminhão foram distribuídos da seguinte forma: um ponto na frente, um ponto de cada lado no centro e um ponto no fundo da carroceria. Deste modo, adquiriu-se uma amostra de cinza pesada mais representativa do processo industrial e, por consequência, uma maior confiabilidade dos resultados da pesquisa.

Após a coleta de todas as amostras parciais de cinzas pesadas, as mesmas foram homogeneizadas, formando uma amostra composta que é representativa do processo industrial da termelétrica de Charqueadas/RS. A ABNT NBR 10007 (2004), que trata da amostragem de resíduos sólidos, denomina as amostras parciais de amostras simples, enquanto que a homogeneização das amostras simples é denominada de amostra composta. Posteriormente, a amostra composta foi enviada em um *big bag* para a Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC).

3.3.2 Preparação das amostras de cinzas

A preparação das amostras de cinzas leves e pesadas, anteriormente à realização dos ensaios, contemplou procedimentos como, a secagem em estufa com temperatura inferior a 60°C, o destorroamento e o peneiramento das amostras.

No destorroamento das amostras foram desagregados completamente os torrões presentes nas cinzas, todavia, evitando-se a redução do tamanho natural das partículas individuais das amostras.

O peneiramento para os ensaios de caracterização física da cinza pesada foi realizado conforme o método de ensaio DNER ME 041 (1994), que trata da preparação de amostras para estes tipos de ensaios. Nos ensaios referentes à caracterização da resistência mecânica das cinzas, cada ensaio possui um procedimento específico de peneiramento da amostra, que está detalhado no método de ensaio aplicado, apresentado na Tabela 10.

3.3.3 Ensaios de caracterização física – CP

Os ensaios de caracterização física da Cinza Pesada (CP) foram realizados no laboratório do Departamento de Geotecnia (DEPGEO), localizado no município de Porto Alegre/RS e pertencente à Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC). Os tópicos a seguir descrevem as diretrizes adotadas, bem como as normas e métodos aplicados na realização dos ensaios de caracterização física da cinza pesada, relacionados na Tabela 10.

3.3.3.1 Análise granulométrica

O ensaio de análise granulométrica da cinza pesada foi realizado considerando os procedimentos estabelecidos na norma ABNT NBR 7181 (1984) e nos métodos de ensaios DNER ME 051 (1994) e DNER ME 080 (1994), baseados na referida norma. Tendo em vista

que a cinza pesada é constituída tanto por fração grossa, quanto por fração fina, a análise granulométrica foi efetuada por granulometria conjunta, englobando as etapas de peneiramento e sedimentação.

3.3.3.2 Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP)

Após a preparação da amostra de cinza pesada, os ensaios para determinação do Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP) foram realizados, respectivamente, conforme as normas brasileiras ABNT NBR 6459 (1984) e ABNT NBR 7180 (1984) e, ainda, de acordo com os métodos de ensaios baseados nestas normas, denominados DNER ME 122 (1994) e DNER ME 082 (1994).

3.3.3.3 Massa específica real dos grãos e massa unitária solta

Para a realização do ensaio da massa específica real dos grãos da cinza pesada, foi empregado o método que prescreve o uso do picnômetro, uma vez que o mesmo fornece resultados com maior precisão. A massa específica real dos grãos foi determinada de acordo com a norma ABNT NBR 6508 (1984) e o método de ensaio DNER ME 093 (1994).

Em paralelo, foi determinada a massa unitária no estado solto e seco conforme a norma ABNT NBR 7251 (1982) e o método de ensaio DNER ME 152 (1995), dividindo-se a massa da cinza pesada pelo volume do recipiente utilizado. A massa unitária obtida aplica-se para efetuar a conversão da cinza pesada na unidade de peso para a unidade de volume ou vice-versa e, ainda, para definir o coeficiente de empolamento, o qual indica a relação entre a densidade do material compactado na pista e o material no estado solto.

3.3.3.4 Coeficiente de inchamento

O ensaio de inchamento da cinza pesada foi realizado conforme os procedimentos estabelecidos na norma ABNT NBR 6467 (1987) e no método de ensaio DNER ME 192 (1997) baseado na norma mencionada. Foram obtidos dois parâmetros no ensaio de inchamento: a umidade crítica, que é definida como o teor de umidade, acima do qual, o coeficiente de inchamento pode ser considerado constante e igual ao coeficiente de

inchamento médio; e o coeficiente de inchamento, que é o quociente entre o volume úmido e o volume seco de uma mesma massa de cinza pesada.

Determinar a umidade crítica e o coeficiente de inchamento da cinza pesada se torna importante, uma vez que a compactação da mistura de cinza pesada com cinza leve e cimento se baseia no teor de umidade ótima de compactação e, ainda, de acordo com Rohde *et al*. (2006), o volume da cinza pesada é fortemente afetado pela presença de água, assim como ocorre na areia natural, todavia, em maior grau. Ou seja, com o acréscimo de umidade é gerado um aumento considerável do volume de cinza pesada em relação ao volume de areia natural, onde a magnitude deste aumento é quantificada através da diferença entre os coeficientes de inchamento destes materiais.

3.3.3.5 Classificação pelo método da *Transportation Research Board* (TRB)

De acordo com Pinto e Preussler (2010), o sistema de classificação da *Transportation Research Board* (TRB), ou sistema rodoviário de classificação, é amplamente empregado na engenharia rodoviária em todo mundo, sendo proposto originalmente nos Estados Unidos, no *Bureau of Public Roads* e posteriormente normatizado através da AASHTO M 145 (1973).

Neste sistema, a classificação dos solos é realizada com base nos ensaios de caracterização física, mais precisamente, na análise granulométrica e nos limites de Atterberg (LL e LP). A classificação da cinza pesada foi efetuada conforme os procedimentos estabelecidos na norma AASHTO M 145 (1973), obtidos junto ao Manual de Pavimentação DNIT IPR 719 (2006).

3.3.4 Ensaios de caracterização da resistência mecânica

Os ensaios para a caracterização da resistência mecânica, referentes à cinza pesada, as misturas 1 a 16 testadas e a mistura ideal foram realizados no laboratório do Departamento de Geotecnia (DEPGEO), situado no município de Porto Alegre/RS e pertencente à Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC). Na sequência, estão descritas as diretrizes adotadas, bem como as normas e métodos aplicados na realização dos ensaios relacionados na Tabela 10, referentes à caracterização da resistência mecânica dos materiais pesquisados.

3.3.4.1 Ensaio de Proctor – CP, misturas 1, 4, 7, 9, 12, 13, 16 e mistura ideal

3.3.4.1.1 Diretrizes e critérios gerais para o ensaio

O ensaio de compactação para a Cinza Pesada (CP) foi realizado sem reuso do material compactado e considerando os procedimentos estabelecidos na norma ABNT NBR 7182 (1986) e, ainda, no método de ensaio DNIT ME 164 (2013) baseado na referida norma. No entanto, ao invés da moldagem dos corpos-de-prova em cilindro grande, especificado no método de ensaio DNIT ME 164 (2013), a moldagem foi adaptada para compactação em cilindro pequeno.

Em contrapartida, nos ensaios de compactação das misturas 1, 4, 7, 9, 12, 13, 16 e da mistura ideal foram empregados os procedimentos descritos na ABNT NBR 7182 (1986) e no método de ensaio DNER ME 216 (1994), sem reuso do material. Todavia, ao invés da moldagem dos corpos-de-prova na energia de compactação equivalente ao Proctor Normal (PN), especificada no método de ensaio DNER ME 216 (1994), adaptou-se a moldagem para a energia correspondente ao Proctor Intermediário (PI). Considerando o exposto, para a melhor comparação dos resultados padronizou-se a energia intermediária e a moldagem dos corpos-de-prova em cilindro pequeno para todos os ensaios de compactação realizados.

Para a determinação de cada curva de compactação, referente à cinza pesada e as misturas confeccionadas, foi realizada individualmente a moldagem de cinco a seis corpos-de-prova em cilindro pequeno, visando à obtenção da umidade ótima e da Massa Específica Aparente Seca Máxima ($MEAS_{máx}$). Tendo em vista o emprego da energia correspondente ao Proctor Intermediário (PI), os corpos-de-prova moldados no cilindro pequeno de diâmetro de 10 cm e altura de 12,7 cm foram compactados em 3 camadas, sendo aplicado em cada camada 21 golpes com soquete grande de 4,5 kg de massa e altura de queda de 46 cm.

3.3.4.1.2 Justificativa para o uso da energia intermediária ao invés da normal

Tendo em vista que na solução de solo-cimento o objetivo é a estabilização química da camada e não a sua estabilização granulométrica, o método de ensaio DNER ME 216 (1994) especifica o emprego da energia de compactação equivalente ao Proctor Normal (PN). No entanto, mesmo considerando como objetivo a estabilização química da camada, na presente pesquisa foi empregada a energia de compactação correspondente ao Proctor Intermediário (PI), diferentemente do recomendado no método de ensaio DNER ME 216 (1994).

A energia intermediária foi adotada tendo em vista o significativo acréscimo de resistência em relação à energia normal recomendada. Segundo Trichês *et al*. (1993 *apud* SILVA, 2006), para misturas com baixo consumo de cimento, a resistência média à compressão aos 28 dias de idade aumenta em cerca de 22% ao mudar da energia de compactação normal para a intermediária, e 40% ao mudar da normal para modificada.

Em contrapartida, foi desprezada a energia equivalente ao Proctor Modificado (PM), mesmo com ganho de resistência de 40%, uma vez que durante a compactação da camada na pista é difícil de ser alcançada a $MEAS_{máx}$ correspondente à energia modificada. Observando a norma ABNT NBR 7182 (1986), justifica-se a dificuldade mencionada, na medida em que a energia modificada empregada é quase 5 vezes superior à normal, enquanto que a energia intermediária é apenas cerca de 2 vezes maior que a normal.

3.3.4.1.3 Justificativa para o ensaio de Proctor apenas das misturas 1, 4, 7, 9, 12, 13, 16

Pode ser observado na Tabela 14 que foram selecionadas apenas algumas misturas de cinza pesada, cinza leve e cimento para a realização do ensaio de compactação, visando verificar o grau de dispersão para o teor de umidade ótima das misturas 1, 4, 7, 9, 12, 13 e 16. Analisando as proporções dos materiais empregados, estrategicamente foram selecionadas as misturas 1, 4, 7, 9, 12, 13 e 16 para a determinação do teor de umidade ótima, viabilizando a redução de custo e tempo da presente pesquisa, uma vez que eliminou-se a necessidade dos ensaios de compactação para as demais misturas confeccionadas.

Considerando que o teor de umidade ótima das misturas 1, 4, 7, 9, 12, 13 e 16 não apresentou significativa dispersão, foram adotados para a compactação das demais misturas teores médios parciais representativos dos teores ótimos obtidos. Todavia, na hipótese de dispersão significativa para o teor de umidade ótima das misturas 1, 4, 7, 9, 12, 13 e 16, poderia ser aplicado um teor específico para cada mistura não ensaiada de modo a atingir a $MEAS_{máx}$, tendo em vista à correlação direta deste parâmetro com a resistência à compressão.

Silva (2006) observou pequena dispersão nas umidades ótimas obtidas ao analisar a aplicação da cinza pesada em sub-bases de Concreto Compactado com Rolo (CCR). Nas misturas realizadas, Silva (2006) obteve o teor de umidade ótima de 7,06% para a mistura com elevado consumo de cimento e 7,16% para a mistura sem cimento. Além disso, considerando a estrutura porosa presente nas cinza pesadas e a curva de compactação achatada obtida por Lopes (2011), constata-se que pequenas dispersões no teor de umidade das misturas não provocam variações significativas na massa específica aparente seca.

3.3.4.2 Índice de Suporte Califórnia (ISC) e expansão – CP e mistura ideal

Após a moldagem na energia intermediária, em cilindro grande de diâmetro de 15,2 cm e altura de 17,8 cm, dos corpos-de-prova da Cinza Pesada (CP) e da mistura ideal para a condição de umidade ótima definida no ensaio de compactação, foram realizados os ensaios para determinar o ISC e a expansão destes materiais, de acordo com a norma brasileira ABNT NBR 9895 (1987) e, os métodos de ensaios DNER ME 049 (1994) e DNIT ME 160 (2012).

Tendo em vista o tempo de cura mínimo de 7 dias adotado para o ensaio de resistência à compressão simples da cinza pesada e das misturas confeccionadas, padronizou-se, para a melhor comparação dos resultados, realizar o ensaio do ISC e da expansão após 7 dias da sua moldagem. Para tanto, os corpos-de-prova moldados permaneceram durante 7 dias submersos em água, para seu posterior rompimento.

É relevante determinar o ISC da cinza pesada e da mistura ideal, uma vez que este parâmetro é usado em projetos rodoviários, fornecendo uma ideia da capacidade de suporte dos materiais empregados na construção de bases e sub-bases de pavimentos. Além do exposto, o ISC é usado como dado de entrada para a capacidade de suporte do subleito, sendo geralmente empregado no dimensionamento de pavimentos flexíveis pelo método do DNER obtido no Manual de Pavimentação DNIT IPR 719 (2006).

Conforme demonstrado na subseção 3.1.1.1 – Necessidade da adição de estabilizantes químicos nas cinzas pesadas, através dos resultados obtidos nas referências bibliográficas apresentados na Tabela 3, será possível confirmar a partir do ensaio do ISC da cinza pesada e da mistura ideal, a necessidade de adição de estabilizantes químicos nas cinzas pesadas para viabilizar o seu emprego em camadas de bases de pavimentos rodoviários.

3.3.4.3 Resistência à Compressão Simples (RCS) – CP, misturas 1 a 16 e mistura ideal

Na condição da umidade ótima ou próximo desta, moldaram-se os corpos-de-prova da Cinza Pesada (CP) e das misturas de cinza pesada, cinza leve e cimento conforme o método de ensaio DNER ME 202 (1994). Todavia, ao invés da moldagem dos corpos-de-prova na energia de compactação equivalente ao Proctor Normal (PN), especificada no método de ensaio DNER ME 202 (1994), adaptou-se a moldagem à energia do Proctor Intermediário (PI), aliado ao emprego de corpos-de-prova miniaturas de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura.

Posteriormente, foi realizado o ensaio para determinar a Resistência à Compressão Simples (RCS) destes materiais, de acordo com o método de ensaio DNER ME 201 (1994) e,

mediante uma velocidade de compressão continua e sem choques de 1,14 mm/min. A RCS da cinza pesada e das misturas 1 a 16 foi avaliada para o tempo de cura de 7 dias, enquanto que, para determinar a resistência à compressão da mistura ideal com e sem a adição de cinza leve, adotou-se os tempos de cura de 7, 14, 28 e 84 dias de idade.

Determinar a Resistência à Compressão Simples aos 7 dias de idade (RCS7), para a cinza pesada e para as misturas 1 a 16, permitiu verificar a influência da adição de cimento e cinza leve na RCS7 da cinza pesada pura. Os tempos de cura de 14, 28 e 84 dias de idade possibilitaram a análise da evolução da RCS da mistura ideal com e sem a adição de cinza leve, tendo em vista o retardamento esperado para o crescimento das resistências mecânicas de idades iniciais, uma vez que a estabilização química da mistura foi efetuada com um cimento pozolânico produzido em laboratório, através da adição de cinza leve ao cimento. A análise da RCS para idades mais avançadas, em relação à mistura ideal com e sem a adição de cinza leve, permitirá concluir se o objetivo de produzir um cimento pozolânico foi alcançado.

Para a cura, após a desmoldagem dos corpos-de-prova, os mesmos foram mantidos dentro de sacos plásticos em câmara úmida com umidade relativa superior a 95% e temperatura em torno de 23 ºC ± 2, sendo, ainda, submetidos à imersão por 4 horas antes da ruptura, conforme os procedimentos previstos no método de ensaio DNER ME 202 (1994). O envolvimento dos corpos-de-prova por sacos plásticos evitou a perda ou ganho de umidade, além da carbonatação do hidróxido de cálcio, através da ação do gás carbônico contido no ar.

3.3.5 Ensaios de caracterização química e ambiental

Os ensaios para a caracterização química e ambiental, em relação a cinza pesada, a cinza leve, ao cimento e a primeira composição de mistura com RCS7 superior a 2,1 MPa, foram realizados no laboratório da empresa Pró-Ambiente Análises Químicas e Toxicológicas Ltda., com instalações estabelecidas no município de Porto Alegre/RS. Nas subseções a seguir, estão descritas as diretrizes adotadas, bem como as normas e métodos aplicados na realização dos ensaios, relacionados na Tabela 10, referentes à caracterização química e ambiental dos materiais pesquisados.

3.3.5.1 Potencial Hidrogeniônico (pH) – CP, CL, Cim e 1ª mistura > 2,1 MPa

A caracterização química dos materiais foi contemplada pela realização do ensaio para determinar o pH da Cinza Pesada (CP), Cinza Leve (CL), Cimento (Cim) e da primeira

composição de mistura com Resistência à Compressão Simples aos 7 dias (RCS7) superior a 2,1 MPa, considerando os procedimentos estabelecidos na norma ASTM D 4980-89 (2003).

Os equipamentos utilizados no ensaio foram um pHmetro Digimed DM-22, um eletrodo de vidro Digimed DM-22 modelo DME-MV1, as soluções tampões 04, 07 e 10 Merck, e uma balança analítica. Para cada determinação do pH, foi pesado em um béquer de 50 mL, 10 g de cada material ensaiado e, em seguida, foram adicionados 10 mL de água destilada. Na sequência, as amostras foram agitadas com um bastão de vidro e deixadas em repouso por 30 minutos. Após o tempo transcorrido, houve nova agitação e a medição do pH.

Para avaliar o pH da 1ª mistura > 2,1 MPa com cura de 3 e 28 dias, o critério para o tamanho máximo das partículas da amostra seguiu os requisitos das normas ABNT NBR 10005 (2004) e ABNT NBR 10006 (2004). As normas mencionadas, referentes à análise do extrato lixiviado e solubilizado, especificam que o tamanho das partículas da amostra deve ser inferior à malha de 9,5 mm. Consequentemente, a amostra da 1ª mistura com RCS7 superior a 2,1 MPa foi cuidadosamente fragmentada até atender ao requisito exposto. No entanto, limitou-se através de peneiramento, o tamanho mínimo dos fragmentos da amostra em 4,8 mm, de modo a obter uma representação mais adequada da mistura compactada na pista, uma vez que a amostra pulverizada da mistura distorce significativamente esta condição.

Conhecer o pH da cinza leve e pesada, do cimento e da 1ª mistura > 2,1 MPa para a condição sem compactação e cura é importante, uma vez que este parâmetro indica o potencial de elementos químicos nocivos que podem lixiviar e solubilizar devido a alcalinidade, tendo em vista que há um período após o início da pega da mistura, onde a mesma ainda não foi inertizada. Já para a 1ª mistura > 2,1 MPa, na condição com compactação e com cura de 3 e 28 dias, avaliou-se o pH de modo a correlacionar a influência da variação do pH com a inertização da mistura, em relação ao tempo de cura. O pH da 1ª mistura > 2,1 MPa aos 28 dias de tempo cura também foi verificado, na medida em que a mistura com cura de 3 dias permaneceu não inerte após o ensaio de solubilização.

Com a adição de cimento e cinza leve, o pH da mistura sem compactação e cura será ampliado em relação ao pH da cinza pesada pura. Portanto, ainda que num período curto de tempo após o início da pega da mistura, as taxas de lixiviação e solubilização serão ambientalmente piores se comparadas às taxas da cinza pesada pura. Todavia, observa-se que o cenário da mistura compactada na pista, sem o tempo de cura adequado para inertização, é similar ao cenário atual das bacias de sedimentação e aterros de cinzas pesadas. Porém, além do reduzido período de tempo, a mistura na pista estará assentada sobre uma camada de solo compactada, a qual reduz significativamente os níveis de percolação da água da chuva.

3.3.5.2 Classificação do resíduo sólido – CP e 1ª mistura > 2,1 MPa

Tendo em vista que a principal proposta desta pesquisa científica é o aproveitamento do resíduo Cinza Pesada (CP), promovendo uma prática sustentável para o processo, foram realizados ensaios de caracterização ambiental para verificar a viabilidade do aproveitamento das cinzas pesadas sem prejudicar o meio ambiente ou a saúde humana.

A caracterização ambiental foi contemplada pela classificação de resíduos, referente à cinza pesada pura e à primeira composição de mistura com RCS7 superior a 2,1 MPa aos 3 e 28 dias de cura, através da realização dos ensaios de lixiviação e solubilização, respectivamente, conforme as normas ABNT NBR 10005 (2004) e ABNT NBR 10006 (2004), as quais são regidas pela norma ABNT NBR 10004 (2004) – classificação dos resíduos sólidos. Os ensaios de lixiviação e solubilização da 1ª mistura > 2,1 MPa aos 28 dias de tempo cura também foram realizados, na medida em que a mistura com cura de 3 dias permaneceu não inerte após o ensaio de solubilização.

Para a cinza pesada pura, foram realizados os ensaios de lixiviação e solubilização para a condição sem compactação e sem cura, tendo em vista que ao analisar as taxas de lixiviação de resíduos aplicados em pavimentação, Hill *et al.* (2001 *apud* FARIAS, 2005) constataram que, normalmente, materiais compactados têm taxas menores de lixiviação do que materiais não compactados. A cinza leve e o cimento foram adicionados na mistura como estabilizantes químicos, de modo a produzir a inertização do resíduo cinza pesada, viabilizando ambientalmente o aproveitamento do mesmo, de acordo com os critérios expostos na subseção 3.1.2 – Análise da viabilidade ambiental.

De modo a atender as normas ABNT NBR 10005 (2004) e ABNT NBR 10006 (2004), a análise do extrato lixiviado e solubilizado da 1ª mistura > 2,1 MPa na condição com compactação e com cura de 3 e 28 dias, foi efetuada utilizando uma amostra com tamanho das partículas inferior à malha de 9,5 mm. Desta forma, a amostra da 1ª mistura com RCS7 superior a 2,1 MPa foi cuidadosamente fragmentada até atender ao requisito exposto. Não obstante, através de peneiramento foi limitado o tamanho mínimo dos fragmentos da amostra em 4,8 mm, visando obter uma representação mais adequada da mistura compactada na pista, uma vez que a amostra pulverizada da mistura não configura esta condição. Na Figura 13, pode ser observada a diferença da graduação e do aspecto entre os fragmentos da amostra da mistura descartados após peneiramento e, os fragmentos da amostra da mistura usados nos ensaios de lixiviação e solubilização.

Sundstron (2012) salienta que a caracterização do resíduo sólido, de acordo com o preconizado pela ABNT NBR 10004 (2004), é atualmente uma ferramenta largamente usada e aceita tanto pelas empresas quanto pelos órgãos ambientais como indicador determinante para o estudo do aproveitamento e a disposição final do resíduo. A classificação do resíduo sólido, através da ABNT NBR 10004 (2004), assegura uma análise completa referente à sua periculosidade, uma vez que são realizadas avaliações do resíduo, quanto às características de toxidade, patogenicidade, reatividade, inflamabilidade e corrosividade.

Figura 13 – Detalhe dos fragmentos descartados da amostra da mistura (à esquerda) e dos fragmentos da amostra da mistura usados nos ensaios de lixiviação e solubilização (à direita)



Fonte: Autoria própria, 2014.

3.3.6 Custos referenciais aplicados e cotejo das soluções de bases e sub-bases

De modo a caracterizar a viabilidade econômica do aproveitamento das cinzas pesadas, foi realizado o cotejo do custo entre as bases e sub-bases tradicionais geralmente empregadas no Brasil, e a solução de base e sub-base formada pela mistura ideal de cinza pesada, cinza leve e cimento. As principais variáveis consideradas no custo das soluções pesquisadas foram à distância de transporte referente à aquisição do insumo da sua respectiva fonte de material até o local onde será usinada a mistura, e a distância de transporte do local da mistura até o ponto de aplicação na pista. Os custos referenciais das soluções para bases e sub-bases de pavimentos rodoviários foram obtidos através do sistema SICRO2, para o Estado do Rio Grande do Sul e com data-base em relação a maio/2014.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Considerações iniciais sobre os resultados obtidos

Os resultados apresentados e analisados no presente capítulo dizem respeito aos ensaios e métodos para a análise da viabilidade técnica e ambiental para o aproveitamento das cinzas pesadas brasileiras em bases e sub-bases de pavimentos rodoviários, além da comparação de custo entre as bases e sub-bases tradicionais geralmente empregadas no Brasil, e a solução de base e sub-base efetuada com a mistura de cinza pesada, cinza leve e cimento, de modo a caracterizar a viabilidade econômica para o aproveitamento das cinzas pesadas.

Os resultados e as análises referentes a todas as etapas envolvidas nesta pesquisa, estão apresentados seguindo a mesma estrutura do Capítulo 3 – METODOLOGIA DA PESQUISA, mais precisamente conforme a subseção 3.3 – Métodos, no qual foi descrita a metodologia experimental e os critérios empregados no estudo da viabilidade. Nas seções APÊNDICE e ANEXO estão apresentados na íntegra, às tabelas dos custos referenciais aplicados no cotejo das soluções de bases e sub-bases de pavimentos, assim como, os boletins e laudos dos ensaios realizados na presente pesquisa científica.

4.2 Análise da viabilidade técnica

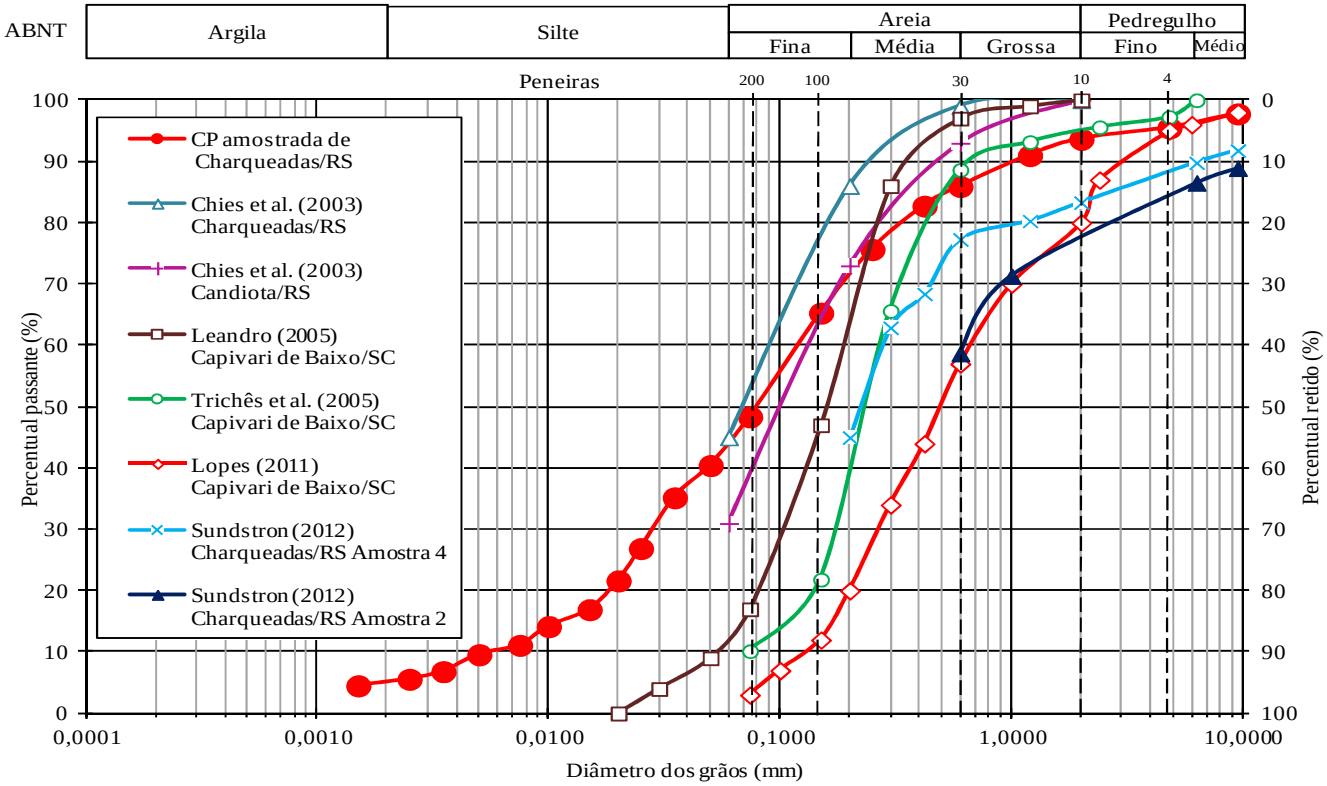
4.2.1 Ensaios de caracterização física – CP

4.2.1.1 Análise granulométrica

Com o resultado do ensaio da análise granulométrica da amostra de Cinza Pesada (CP), foi confeccionada a curva granulométrica apresentada na Figura 14. Visando uma análise comparativa, foram inseridas na mesma figura as curvas granulométricas das cinzas pesadas obtidas na revisão bibliográfica, apresentadas na subseção 2.5.2.1 – Análise granulométrica.

De modo a validar o elevado grau de heterogeneidade das cinzas pesadas observado na subseção 2.5.2.1, destaca-se que a curva granulométrica da cinza pesada amostrada oriunda da usina termelétrica de Charqueadas/RS, apresenta dispersão acentuada com maior presença de material siltoso, quando comparada às demais curvas granulométricas da mesma termelétrica de origem, obtidas através da revisão bibliográfica.

Figura 14 – Curvas granulométricas da cinza pesada amostrada
e as obtidas na revisão bibliográfica



Fonte: Autoria própria, 2014. Dados extraídos das fontes citadas na legenda.

4.2.1.2 Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP)

Após a preparação da amostra de cinza pesada, foram iniciados os ensaios para determinação do LL e o LP. Todavia, não foi possível determinar estes parâmetros geotécnicos, tendo em vista a elevada concentração de material granular presente na composição granulométrica da amostra, ocasionando desta forma, a ausência de características plásticas do material. Considerando o exposto, a amostra de cinza pesada foi classificada como um material não plástico e não coesivo.

Corroborando com o déficit de plasticidade obtido na cinza pesada ensaiada, a revisão bibliográfica apresentada na subseção 2.5.2.2 – Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP), constatou que todas as pesquisas que estudaram em laboratório as cinzas pesadas também classificaram estes materiais como não plásticos e não coesivos.

4.2.1.3 Massa específica real dos grãos e massa unitária solta

Por meio de ensaio geotécnico, determinou-se que a massa específica real dos grãos para a cinza pesada amostrada é 2,290 gcm^{-3}, resultado compatível com os encontrados na

revisão bibliográfica apresentada na subseção 2.5.2.3 – Massa específica real dos grãos e massa unitária solta, e que confirma a baixa amplitude de valores obtidos para este parâmetro, variável de 2,210 a 2,310 gcm^{-3} para a cinza pesada gerada na termelétrica de Charqueadas/RS em diferentes pesquisas e períodos de tempo. Em contrapartida, de acordo com o apresentado na Tabela 3, os valores da massa específica real dos grãos dos solos pesquisados apresentaram variação de 2,632 a 2,772 gcm^{-3}, indicando que as cinzas pesadas são materiais bem mais leves que os solos encontrados na natureza.

A massa unitária determinada, no estado solto e seco, para a amostra de cinza pesada é 0,814 gcm^{-3}, resultado divergente ao encontrado por Chies *et al*. (2003), os quais obtiveram para a cinza pesada da termelétrica de Charqueadas/RS, a massa unitária solta de 0,622 gcm^{-3} para o teor de umidade de 38,4%. No entanto, conforme Rohde *et al*. (2006), a massa unitária altera-se significativamente com a variação dos teores de umidade, tendo em vista a ocorrência do fenômeno de inchamento das cinzas pesadas. Logo, a massa unitária determinada de 0,814 gcm^{-3} não é um valor absoluto para este parâmetro geotécnico, sendo considerado desta forma, apenas como um valor inicial de referência.

Todavia, o resultado do ensaio da massa unitária foi aplicado nas Composições de Custo Unitário (CCUs) das soluções de base e sub-base formada pela mistura de cinza pesada, cinza leve e cimento, uma vez que este parâmetro possibilita a definição do coeficiente de empolamento da cinza pesada, o qual indica a relação entre a densidade do material compactado na pista e o material no seu estado solto.

4.2.1.4 Coeficiente de inchamento

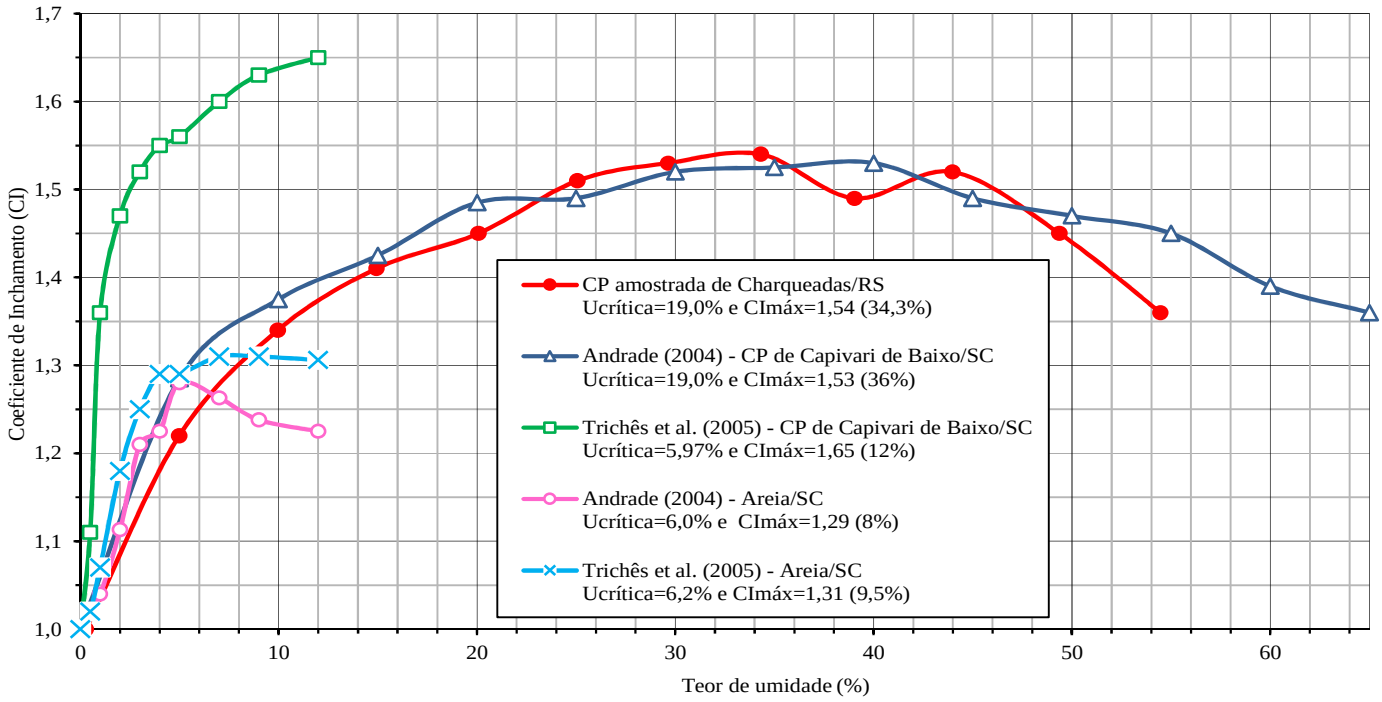
O ensaio de inchamento da amostra de Cinza Pesada (CP) resultou na Umidade Crítica ($U_{crítica}$) igual a 19,0% e o Coeficiente de Inchamento Máximo ($CI_{máx}$) de 1,54 para o teor de umidade de 34,3%. Objetivando uma análise comparativa, na Figura 15 estão reunidas a curva de inchamento obtida no ensaio realizado e as curvas de inchamento das cinzas pesadas e areias naturais oriundas da revisão bibliográfica apresentada na subseção 2.5.2.4 – Coeficiente de inchamento. Através da Figura 15, é possível constatar que o volume da cinza pesada é fortemente afetado pela presença de água, confirmando o observado na subseção 2.5.2.4.

Especificamente para a cinza pesada, ao comparar a curva de inchamento da cinza amostrada com as demais curvas, identificou-se divergência apenas com a curva obtida por Trichês *et al*. (2005) para a cinza pesada oriunda da termelétrica de Capivari de Baixo/SC. Destaca-se a nítida convergência entre o $CI_{máx}$ de 1,53 vinculado ao teor de umidade de 36%,

obtido por Andrade (2004) para a cinza pesada da termelétrica de Capivari de Baixo/SC, e o $CI_{máx}$ de 1,54 aliado a umidade de 34,3%, obtido no ensaio da cinza pesada amostrada. Não obstante, percebe-se nos dados da Figura 15, uma relativa similaridade na ordem de grandeza do $CI_{máx}$ das cinzas pesadas, variável de 1,53 a 1,65; além de que todos os resultados superam o $CI_{máx}$ das areias naturais, variável de 1,29 a 1,31 conforme descrito na subseção 2.5.2.4.

Isso significa que com o acréscimo de umidade, ocorre um aumento considerável do volume de cinza pesada em relação ao volume de areia natural nas situações de operação destes materiais nas unidades em volume, ao invés das unidades em massa. No entanto, tendo em vista a elevada variação do teor de umidade das cinzas pesadas, bem como ocorre nas areias naturais, o coeficiente de inchamento não foi aplicado nas Composições de Custo Unitário (CCUs) das soluções de base e sub-base que empregam a cinza pesada e a areia como insumos básicos.

Figura 15 – Curvas de inchamento da cinza pesada amostrada
e as obtidas na revisão bibliográfica



Fonte: Autoria própria, 2014. Dados extraídos das fontes citadas na legenda.

4.2.1.5 Classificação pelo método da Transportation Research Board (TRB)

Considerando a classificação TRB ou sistema rodoviário de classificação, fundamentada nos resultados dos ensaios da análise granulométrica e nos limites de Atterberg (LL e LP), classificou-se a amostra de cinza pesada como um material pertencente ao grupo A-4, caracterizado por uma mistura de solo siltoso não plástico com presença de 52% de areia e

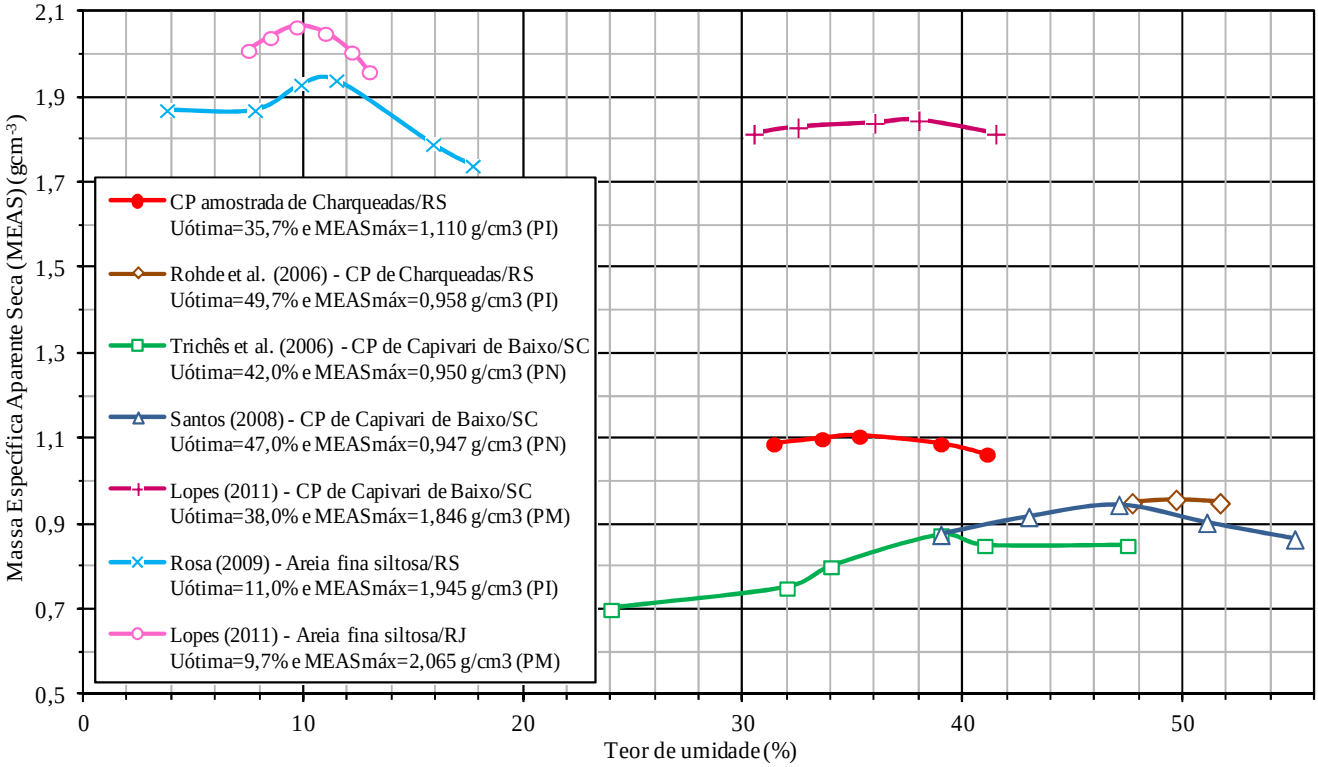
pedregulho retido na peneira nº 200 (0,075 mm). Conforme pode ser verificado na Tabela 3, o resultado obtido não converge com nenhuma das pesquisas científicas contempladas na revisão bibliográfica, tendo em vista a maior presença de material siltoso na cinza pesada amostrada. A divergência mencionada na classificação deve-se, possivelmente, à aplicação de um processo de amostragem diferenciado motivado pela elevada heterogeneidade intrínseca as cinzas pesadas, conforme exposto na subseção 3.3.1.2 – Amostra de Cinza Pesada (CP).

4.2.2 Ensaios de caracterização da resistência mecânica

4.2.2.1 Ensaio de Proctor – CP, misturas 1, 4, 7, 9, 12, 13, 16 e mistura ideal

Considerando o resultado do ensaio de Proctor para a amostra de Cinza Pesada (CP), confeccionou-se a curva de compactação apresentada na Figura 16. Visando uma análise comparativa, foram reunidas na Figura 16, as curvas de compactação das cinzas pesadas e solos naturais, oriundas da revisão bibliográfica apresentada na Tabela 3. Tendo em vista que a granulometria da cinza pesada é similar a de uma areia fina siltosa natural, foram apresentados na Figura 16 somente dados de solos com esta característica.

Figura 16 – Curvas de compactação da cinza pesada amostrada
e as obtidas na revisão bibliográfica



Fonte: Autoria própria, 2014. Dados extraídos das fontes citadas na legenda.

Através da análise da Figura 16, constata-se que a Umidade Ótima ($U_{ótima}$) relacionada à Massa Específica Aparente Seca Máxima ($MEAS_{máx}$) das cinzas pesadas, é bem superior a presente nas areias finas siltosas naturais, sendo variável de 29,7 a 54,5% conforme descrito na subseção 2.5.3.1 – Ensaio de Proctor. Na mesma figura, percebe-se que na maioria das pesquisas científicas, as $MEAS_{máx}$ das cinzas pesadas que variam de 0,868 a 1,846 gcm^{-3} de acordo com a subseção 2.5.3.1, são bem inferiores as $MEAS_{máx}$ dos solos pesquisados, confirmando as diferenças observadas para a massa específica real dos grãos entre as cinzas pesadas de carvão e os solos naturais.

As curvas de compactação da cinza pesada amostrada, das misturas 1, 4, 7, 9, 12, 13, 16 e da mistura ideal (mistura 15); bem como os resultados da $U_{ótima}$ e da $MEAS_{máx}$ obtida para cada ensaio, estão apresentadas, respectivamente, na Figura 17 e na Tabela 15. Cabe destacar que todos os corpos-de-prova foram moldados com diâmetro de 10 cm e altura de 12,7 cm e, ainda, com o emprego da energia correspondente ao Proctor Intermediário (PI).

Tabela 15 – Resultados dos ensaios de compactação da cinza pesada amostrada, das misturas 1, 4, 7, 9, 12, 13, 16 e da mistura ideal

Material ou mistura	Nomenclatura adotada	Resultados dos ensaios de compactação (Proctor)		Médias parciais associadas à proporção aplicada de cimento**		
		$U_{ótima}$ (%)	$MEAS_{máx}$ (gcm^{-3})	$U_{ótima}$ (%)	$MEAS_{máx}$ (gcm^{-3})	Misturas compactadas com as médias parciais
Cinza pesada pura	CP	35,7	1,110	35,7	1,110	Cinza pesada pura
Mistura 1*	CP98 / CL0 / Cim2	34,0	1,156	34,0	1,152	Misturas 2 e 3
Mistura 4*	CP88 / CL10 / Cim2	33,9	1,148			
Mistura 7*	CP91 / CL5 / Cim4	33,9	1,158	33,9	1,158	Misturas 5, 6 e 8
Mistura 9*	CP94 / CL0 / Cim6	32,7	1,152	32,3	1,165	Misturas 10 e 11
Mistura 12*	CP84 / CL10 / Cim6	31,8	1,177			
Mistura 13*	CP92 / CL0 / Cim8	32,1	1,196	32,3	1,197	Misturas 14 e 15
Mistura 16*	CP82 / CL10 / Cim8	32,5	1,198			
Mistura ideal=Mistura 15	CP87 / CL5 / Cim8	32,1	1,189	32,1	1,189	Mistura ideal
Média das misturas 1, 4, 7, 9, 12, 13 e 16		33,0	1,169	-	-	-
Desvio padrão das misturas 1, 4, 7, 9, 12, 13 e 16		0,93	0,021	-	-	-

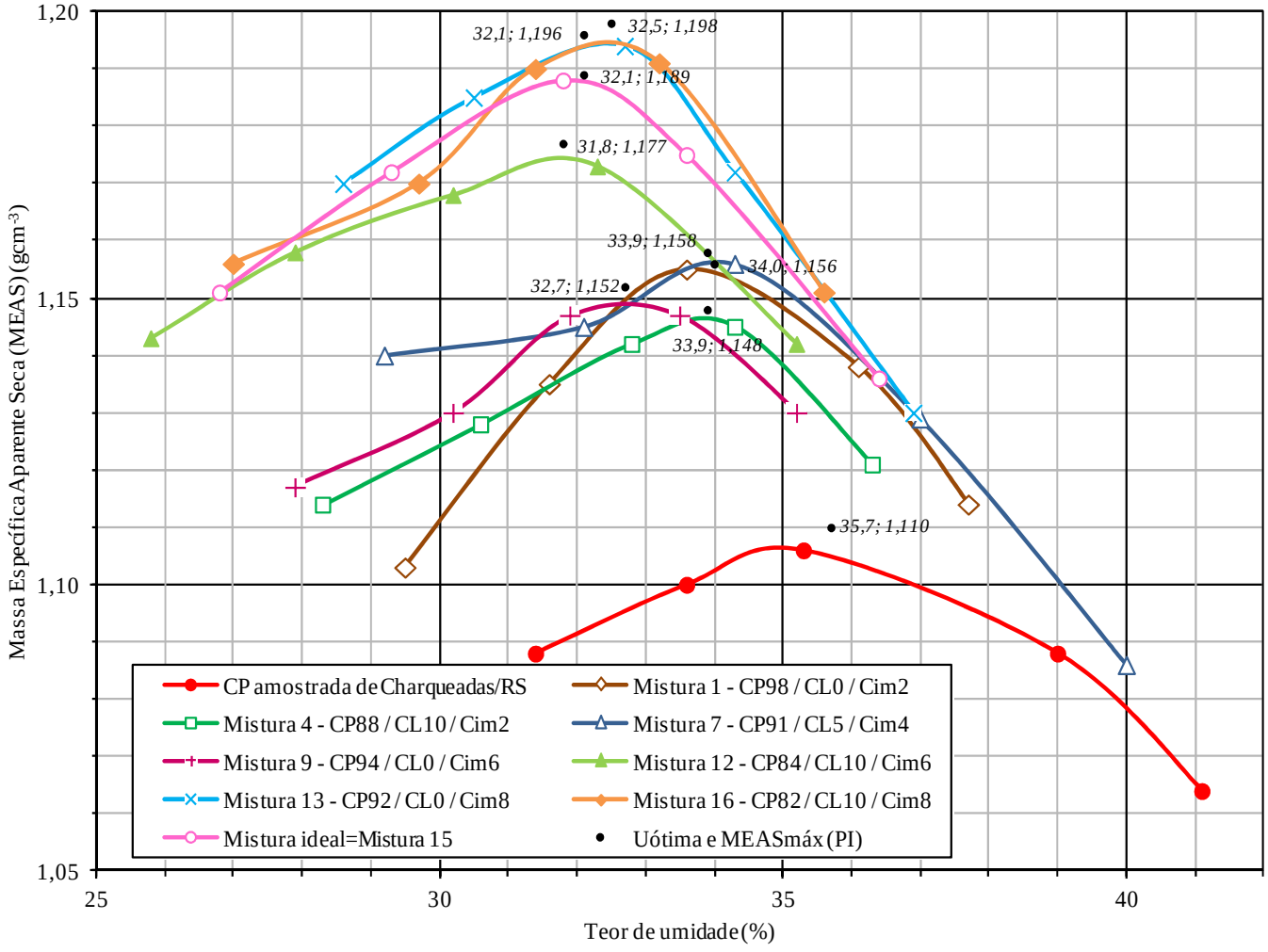
Fonte: Autoria própria, 2014.

* Misturas selecionadas para realização do ensaio de Proctor, visando à verificação da $U_{ótima}$.
** Média parcial da $U_{ótima}$ e $MEAS_{máx}$ adotada para a compactação das misturas 2, 3, 5, 6, 8, 10, 11, 14 e 15.

Analisando a escala vertical da Figura 17, percebe-se a tendência de achatamento nas curvas de compactação apresentadas, possivelmente devido à estrutura porosa das cinzas leves e pesadas, permitindo desta forma, inferir que pequenas dispersões no teor de umidade das misturas não provocam fortes variações na MEAS. Na Figura 16, ao comparar as curvas de compactação das cinzas pesadas com as areias finas siltosas da revisão bibliográfica, é observado um achatamento similar para as curvas de compactação das cinzas pesadas.

Conforme previsto na subseção 3.3.4.1.3 – Justificativa para o ensaio de Proctor apenas das misturas 1, 4, 7, 9, 12, 13, 16, os dados apresentados na Tabela 15 e na Figura 17 confirmam que os teores de $U_{ótima}$ das misturas 1, 4, 7, 9, 12, 13 e 16 não apresentam significativa dispersão. A baixa dispersão observada é evidenciada quando comparada com a tolerância admitida de ± 2% para o teor de umidade da mistura em relação à $U_{ótima}$, fixada nas especificações de serviço rodoviárias devido às dificuldades construtivas de campo.

Figura 17 – Curvas de compactação da cinza pesada amostrada,
das misturas 1, 4, 7, 9, 12, 13, 16 e da mistura ideal



Fonte: Autoria própria, 2014.

Todavia, os resultados demonstraram que a $U_{ótima}$ das misturas é fortemente dependente da proporção aplicada de cimento. Quanto maior a proporção de cimento, menores são as proporções de cinza pesada e cinza leve na mistura, resultando na obtenção de menores teores de $U_{ótima}$, provavelmente em função da estrutura porosa intrínseca as cinzas leves e pesadas.

Tendo em vista o exposto, foram adotados para a compactação das demais misturas 2, 3, 5, 6, 8, 10, 11, 14 e 15 valores representativos de $U_{ótima}$ associados à proporção de cimento aplicada na mistura, através das médias parciais de $U_{ótima}$ apresentadas na Tabela 15. A baixa dispersão constatada para o teor de $U_{ótima}$ aliada à metodologia descrita, viabilizou a redução de custo e tempo da presente pesquisa, uma vez que eliminou-se a necessidade dos ensaios de Proctor para as demais misturas confeccionadas.

Ainda, de acordo com a Figura 17 pode ser destacada a tendência de que, quanto maior a proporção de cinza leve e cimento presente na mistura, ocasionando desta forma, a menor proporção de cinza pesada, maiores são os resultados das $MEAS_{máx}$ justificado pela baixa massa específica real dos grãos e o elevado índice de vazios das cinzas pesadas.

4.2.2.2 Índice de Suporte Califórnia (ISC) e expansão – CP e mistura ideal

Após 7 dias da moldagem dos corpos-de-prova da Cinza Pesada (CP) e da mistura ideal (mistura 15) para a condição de umidade ótima e com o emprego da energia intermediária aplicada no ensaio de compactação, foram obtidos os resultados dos ensaios do Índice de Suporte Califórnia (ISC) e da expansão, apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Resultados dos ensaios do ISC e expansão da cinza pesada amostrada e da mistura ideal para o tempo de cura de 7 dias

Material ou mistura	Nomenclatura adotada	$U_{ótima}$ (%)	$MEAS_{máx}$ (gcm^{-3})	Índice de Suporte Califórnia (ISC) (%) (7 dias)	Expansão (%)
Cinza pesada pura	CP	35,7	1,107	49	0,1
Mistura ideal=Mistura 15	CP87 / CL5 / Cim8	32,1	1,189	266	0,1

Fonte: Autoria própria, 2014.

Os resultados obtidos revelam que as cinzas pesadas amostradas são materiais não expansivos e com boa capacidade de suporte. Com a adição da cinza leve e cimento, correspondente às proporções de materiais para a mistura ideal, a expansão da mistura permaneceu inalterada, todavia o ISC obteve um ganho expressivo de 443%.

Conforme previsto na subseção 3.1.1.1 – Necessidade da adição de estabilizantes químicos nas cinzas pesadas, através do resultado do ISC para a cinza pesada pura e para a mistura ideal foi possível confirmar à necessidade de incorporação de estabilizantes químicos na cinza pesada, a fim de melhorar o seu desempenho mecânico e atender o ISC mínimo de 60%, fixado na especificação DNIT ES 141 (2010) para o emprego em bases de pavimentos.

Ao comparar o ISC da cinza pesada amostrada com os ISCs das cinzas pesadas presentes na revisão bibliográfica, variáveis de 5 a 42% conforme a subseção 2.5.3.2 – Índice de Suporte Califórnia (ISC) e expansão, constata-se que não é possível atribuir qualquer tipo de correlação entre as pesquisas analisadas e o resultado do ensaio. Especificamente para a termelétrica de Charqueadas/RS, observa-se uma incompatibilidade entre o ISC de 24% (PI) obtido na revisão bibliográfica e o resultado do ensaio de 49% (PI), atribuída possivelmente a elevada heterogeneidade das cinzas pesadas observada na revisão bibliográfica, ou ainda, a hipótese menos provável associada ao surgimento de reações pozolânicas iniciais, tendo em vista o tempo de cura diferenciado de 7 dias para a execução do ensaio do ISC.

Finalmente, confrontando o resultado do ISC de 49% (PI) da cinza pesada amostrada com os valores dos ISCs dos solos, variáveis de 2 a 25% conforme a revisão bibliográfica apresentada na Tabela 3, confirma-se que em geral, as cinzas pesadas apresentam melhor capacidade de suporte que os solos, possivelmente, em função da predominância granular intrínseca as cinzas pesadas.

4.2.2.3 Resistência à Compressão Simples (RCS) – CP, misturas 1 a 16 e mistura ideal

Através do emprego da energia intermediária e da condição de umidade ótima, aplicada na moldagem dos corpos-de-prova, avaliou-se a Resistência à Compressão Simples (RCS) da Cinza Pesada (CP) e das misturas 1 a 16 para o tempo de cura de 7 dias. Em contrapartida, a resistência à compressão da mistura ideal com e sem a adição de cinza leve foi obtida para os tempos de cura de 7, 14, 28 e 84 dias de idade.

De modo a verificar a influência da presença de cinza leve na mistura ideal, foi obtida a RCS para a mistura ideal com e sem a adição de cinza leve, permitindo desta forma, observar através da evolução da RCS da mistura ideal definida, se foi alcançado o objetivo de produzir um cimento pozolânico em laboratório. A Tabela 17 apresenta os resultados da RCS para as diferentes misturas com seus respectivos tempos de cura e, ainda, os custos de execução e a relação benefício-custo no caso de aplicação da camada como base ou sub-base de pavimento.

4.2.2.3.1 Definição da mistura ideal de Cinza Pesada/Cinza Leve/Cimento (CP/CL/Cim)

A avaliação das misturas compostas pelas diversas combinações e proporções dos materiais permitiu determinar as proporções ótimas que convergem para a mistura considerada ideal, para aplicação como camada de base ou sub-base de pavimento rodoviário. Desta forma, a mistura ideal foi definida através da comparação entre os resultados de Resistência à Compressão Simples aos 7 dias de idade (RCS7) e os custos de execução da base ou sub-base para cada mistura, onde ambos estão ilustrados na Figura 18. De acordo com o exposto, destaca-se que a mistura ideal é a mistura que apresenta a melhor relação benefício-custo, a qual foi calculada para cada mistura e está apresentada na Tabela 17.

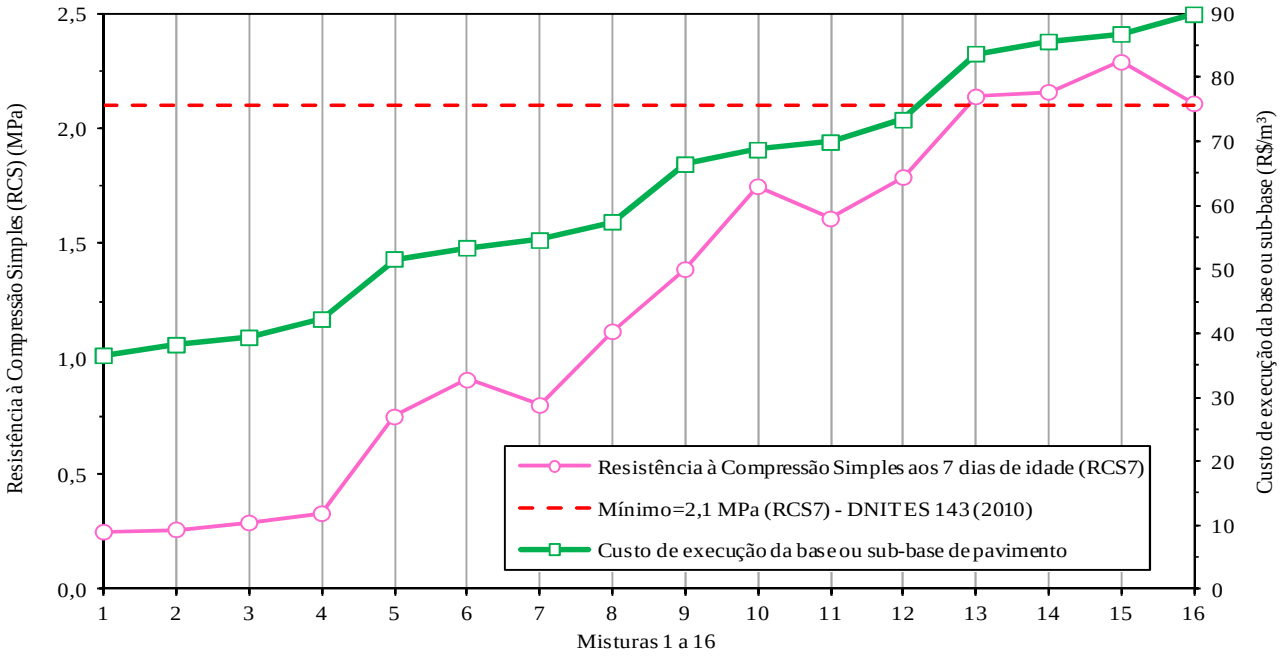
Tabela 17 – Resultados dos ensaios de RCS da cinza pesada amostrada, das misturas 1 a 16 e da mistura ideal, com respectivos custos de execução e relação benefício-custo

Material ou mistura	Nomenclatura adotada	Resistência à Compressão Simples (RCS) (MPa)				Custo de execução da base ou sub-base (R$/m³) (sem transporte)	Relação benefício-custo (%)
		Tempo de cura (dias)					
		7	14	28	84		
Cinza pesada amostrada	CP	0,14	-	-	-	-	-
Mistura 1	CP98 / CL0 / Cim2	0,25	-	-	-	36,56	0,68
Mistura 2	CP95 / CL3 / Cim2	0,26	-	-	-	38,23	0,68
Mistura 3	CP93 / CL5 / Cim2	0,29	-	-	-	39,38	0,74
Mistura 4	CP88 / CL10 / Cim2	0,33	-	-	-	42,22	0,78
Mistura 5	CP96 / CL0 / Cim4	0,75	-	-	-	51,64	1,45
Mistura 6	CP93 / CL3 / Cim4	0,91	-	-	-	53,37	1,71
Mistura 7	CP91 / CL5 / Cim4	0,80	-	-	-	54,57	1,47
Mistura 8	CP86 / CL10 / Cim4	1,12	-	-	-	57,45	1,95
Mistura 9	CP94 / CL0 / Cim6	1,39	-	-	-	66,45	2,09
Mistura 10	CP91 / CL3 / Cim6	1,75	-	-	-	68,72	2,55
Mistura 11	CP89 / CL5 / Cim6	1,61	-	-	-	69,89	2,30
Mistura 12	CP84 / CL10 / Cim6	1,79	-	-	-	73,39	2,44
Mistura 13	CP92 / CL0 / Cim8	2,14	2,53	3,29	3,91	83,73	2,56
Mistura 14	CP89 / CL3 / Cim8	2,16	-	-	-	85,64	2,52
Mistura 15	CP87 / CL5 / Cim8	2,29	3,20	3,52	4,19	86,80	2,64
Mistura 16	CP82 / CL10 / Cim8	2,11	-	-	-	89,89	2,35
Mistura ideal=Mistura 15	CP87 / CL5 / Cim8	2,29	3,20	3,52	4,19	86,80	2,64

Fonte: Autoria própria, 2014.

De modo a atender a resistência mínima estabelecida na especificação de serviço de solo-cimento DNIT ES 143 (2010), a RCS7 deve ser superior a 2,1 MPa. Todavia, na Tabela 17 e na Figura 18 observa-se que, apenas as misturas 13 a 16 atendem a premissa especificada. Dentre as misturas selecionadas com resistência superior a 2,1 MPa, a que apresenta menor custo de execução é a mistura 13. No entanto, a mistura definida como ideal foi a mistura 15, uma vez que a mesma apresenta resistência 7,0% superior a mistura 13, mas com custo apenas 3,7% maior que a mistura 13. As vantagens observadas para a mistura 15 refletem-se na sua relação benefício-custo exposta na Tabela 17, na medida em que esta mistura é a que apresenta a relação máxima de 2,64%. A melhor relação benefício-custo da mistura 15 em comparação com as demais misturas, também pode ser constatada por meio de análise da Figura 18, onde é observado um pico na RCS7 da referida mistura, formado por um ramo ascendente seguido de um ramo descendente, todavia sem alterar bruscamente o custo.

Figura 18 – Curvas de resistência à compressão simples aos 7 dias de idade e dos custos de execução da base ou sub-base para as misturas 1 a 16



Fonte: Autoria própria, 2014.

Destaca-se ainda que, a mistura 15 definida como a ideal, é a mistura que apresenta a relação entre a proporção de cinza leve e a proporção de cimento mais próxima a 80%, a qual é a relação aproximada para produzir um cimento comercial CP IV a partir de um cimento comercial CP II-Z, conforme exposto na subseção 3.1.1.2 – Critérios para a adição dos estabilizantes químicos nas cinzas pesadas. No entanto, para constatar se a evolução da RCS da mistura ideal (mistura 15) apresenta comportamento mecânico similar a de uma mistura

com um cimento pozolânico comercial CPIV, foi necessário verificar ainda a evolução da RCS da mistura ideal sem a adição de cinza leve, a qual remete as proporções de materiais da mistura 13. Considerando o exposto, através da evolução da RCS da mistura ideal com e sem a adição de cinza leve ao cimento, foi possível verificar a eficácia do cimento pozolânico produzido em laboratório.

4.2.2.3.2 Interpretação dos resultados obtidos para a RCS aos 7 dias

Através da Figura 19, é ilustrada a variação da Resistência à Compressão Simples aos 7 dias de idade (RCS7) para as misturas 1 a 16 em função da proporção de cimento empregada, enquanto que, a Figura 20 ilustra a variação da RCS7 em função da proporção de cinza leve adicionada e apresenta os custos de execução do serviço para cada combinação de materiais que compõem as misturas 1 a 16.

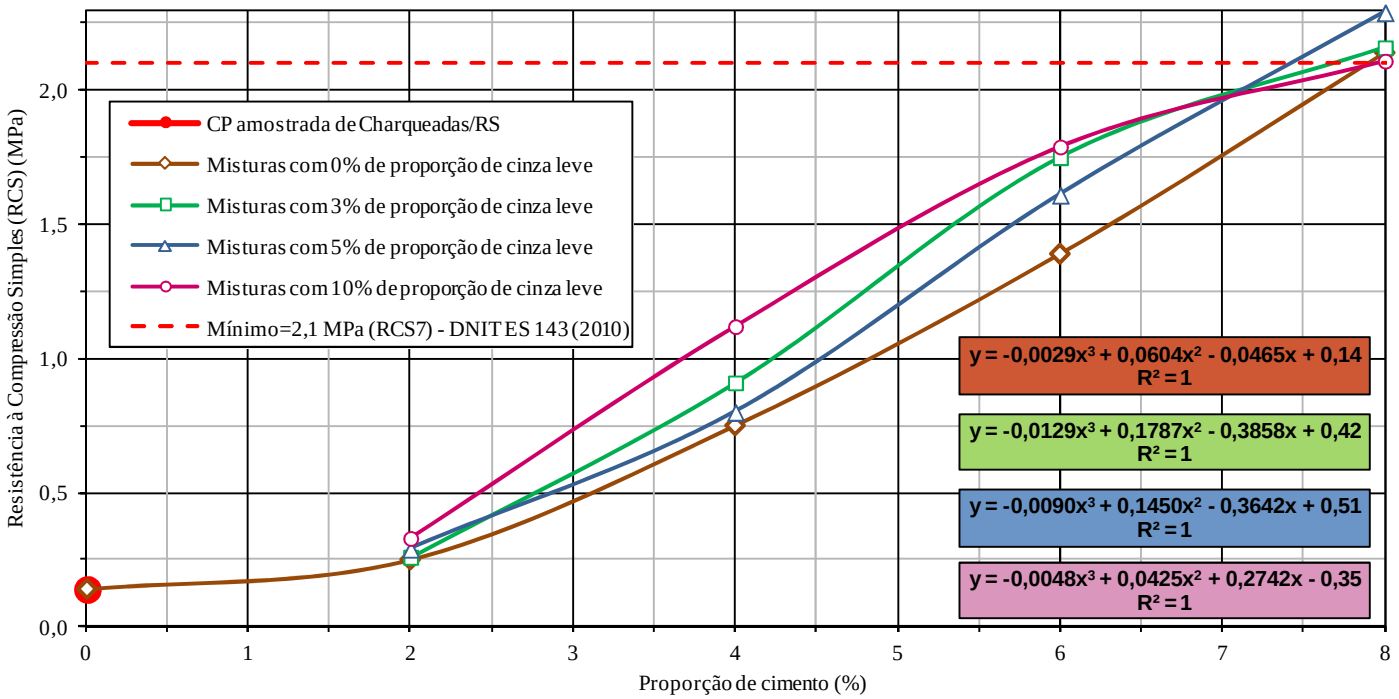
Determinar a Resistência à Compressão Simples aos 7 dias de cura (RCS7), para a cinza pesada e para as misturas 1 a 16, permitiu verificar a influência da adição de cimento e cinza leve na RCS7 da cinza pesada pura. Através da análise das curvas ilustradas nas Figura 19 e Figura 20, constata-se que ocorreram ganhos significativos de RCS7 após a adição de cimento e cinza leve na mistura. No entanto, na Figura 19 observa-se uma forte inclinação das curvas de resistência ao variar a proporção de cimento e, ainda, uma relativa proximidade entre as curvas ao variar a proporção de cinza leve, evidenciando desta forma, que a RCS7 é mais dependente da proporção de cimento do que da proporção de cinza leve aplicada na mistura. Tal dedução também pode ser obtida analisando a Figura 20, onde são observados acréscimos de RCS7 menos acentuados com a variação da proporção de cinza leve, enquanto que, com a variação da proporção de cimento evidenciam-se ganhos mais expressivos para a RCS7.

Todavia, destaca-se que a presença da cinza leve nas misturas tende a acrescentar uma maior atividade pozolânica para idades de misturas mais avançadas, a retardar a liberação do calor inicial de hidratação do cimento aplicado na mistura e, ainda, a alterar positivamente a textura das misturas devido ao preenchimento de espaços vazios; contribuindo, desta forma, para uma melhor estabilização das misturas, tanto química quanto granulométrica.

Em relação ao tipo de estabilização das misturas, percebe-se na Figura 20 que nas misturas com menor proporção de cimento (2 a 6%), a estabilização granulométrica predomina em relação à estabilização química. Esta predominância é justificada através da inexistência do retardamento esperado da RCS7 devido à produção de um cimento pozolânico com a adição de cinza leve, uma vez que a RCS7 de todas as misturas contendo a proporção

máxima de cinza leve (10%) superou a RCS7 de todas as misturas sem a presença de cinza leve. Ainda na Figura 20, observa-se que as misturas com 2 a 6% de proporção de cimento, não atendem a resistência mínima de 2,1 MPa fixada na especificação DNIT ES 143 (2010). Desta forma, evidencia-se uma estabilização química menos eficiente para as misturas com 2 a 6% de cimento, permitindo considerar estas misturas apenas melhoradas com cimento e cinza leve, classificando-as como uma camada de base ou sub-base flexível, conforme exposto na subseção 2.6.1 – Classificação das bases e sub-bases.

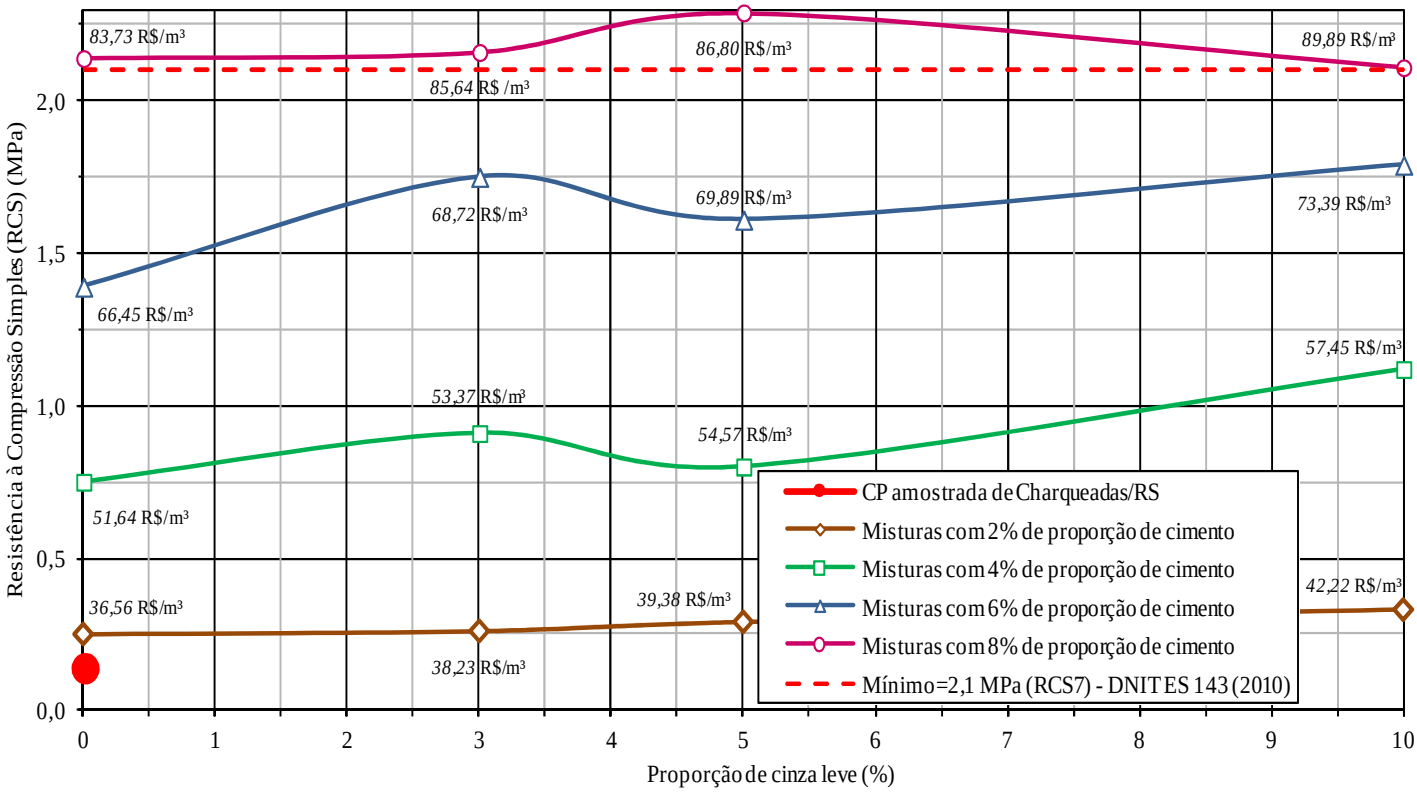
Figura 19 – Curvas de resistência à compressão aos 7 dias de idade das misturas, em função da proporção de cimento



Fonte: Autoria própria, 2014.

Ao contrário das misturas com menor proporção de cimento (2 a 6%), observa-se na Figura 20 que nas misturas com 8% de proporção de cimento ocorre uma estabilização química mais eficiente, visto que é perceptível na curva de resistência a tendência de retardamento da RCS7 para misturas com mais de 10% de proporção de cinza leve. Desta forma, para as misturas com 8% de proporção de cimento, demonstra-se que a estabilização química tende a predominar em relação à estabilização granulométrica. Considerando a maior eficiência mencionada para a estabilização química das misturas com 8% de cimento e, ainda, tendo em vista que todas estas misturas superaram a resistência mínima de 2,1 MPa estabelecida na especificação DNIT ES 143 (2010), pode-se classificar estas misturas como camadas de base ou sub-base semirrígidas, conforme descrito na subseção 2.6.1.

Figura 20 – Curvas de resistência à compressão aos 7 dias de idade das misturas, em função da proporção de cinza leve, com respectivos custos de execução



Fonte: Autoria própria, 2014.

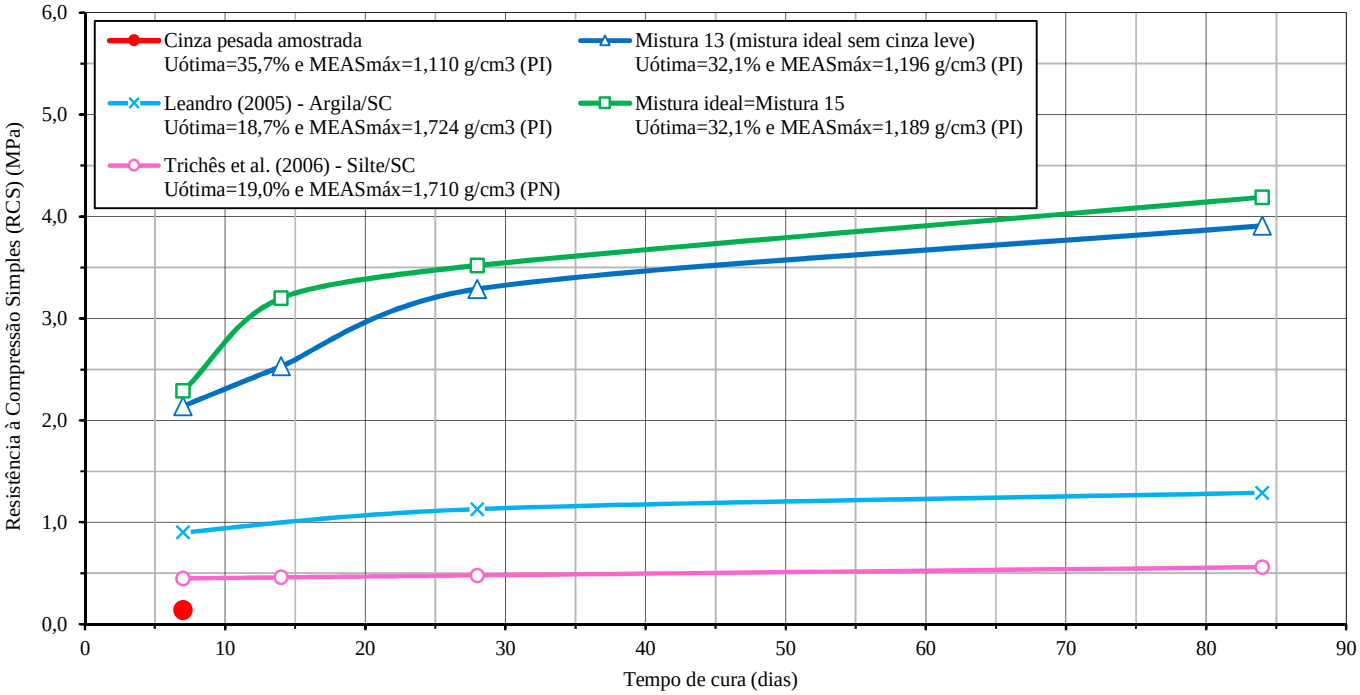
Ainda, por meio de análise da Figura 20, observa-se que os picos de RCS7 presentes nas misturas com 4 a 8% de proporção de cimento, mas principalmente nas misturas com 8%, sinalizam para a hipótese de uma possível relação ótima entre a proporção de cinza leve e a proporção de cimento aplicado nas misturas. O retardamento excessivo do calor de hidratação liberado no cimento, em função da presença de cinza leve acima de uma suposta relação ótima, inevitavelmente ocasiona o exagerado retardamento do crescimento das resistências mecânicas da mistura. O retardamento relatado tende a ocorrer, principalmente, nas misturas com proporções de cimento mais elevadas onde a estabilização química predomina sobre a estabilização granulométrica, em misturas de pouca idade com tempos de cura inferiores a 28 dias e, ainda, em regiões sob condições climáticas com baixa temperatura ambiente.

De modo a confirmar a hipótese mencionada, observa-se nas proporções dos componentes dos tipos comerciais de cimento Portland apresentados na Tabela 11, a existência de limites para a relação entre a proporção dos materiais que compõem os diversos tipos de cimentos comerciais. Na Tabela 11, verifica-se que para produzir um cimento pozolânico CP IV a partir de um cimento CP II-Z, a relação entre a quantidade de cinza leve e a quantidade de cimento CP II-Z é limitada em torno de 80%.

4.2.2.3.3 Interpretação dos resultados obtidos para a RCS após 7 dias

Em contrapartida, a RCS apresentada na Tabela 17, para os tempos de cura de 14, 28 e 84 dias referentes à mistura ideal com e sem a adição de cinza leve, permitiu a análise da evolução da resistência ao longo do seu período de cura. Visando uma análise comparativa, foram reunidas na Figura 21, as curvas de evolução para a RCS da mistura ideal com e sem a presença de cinza leve e, ainda, dos solos naturais pesquisados na revisão bibliográfica apresentada na Tabela 3. Analisando as curvas de evolução da Figura 21, constata-se que a mistura ideal com e sem a adição de cinza leve, produz um material com capacidade estrutural bem superior aos solos sem adição de estabilizantes químicos, além de apresentar maior potencial de crescimento das resistências mecânicas em longo prazo, tendo em vista as tendências observadas nas curvas de evolução para idades mais avançadas (acima de 28 dias).

Figura 21 – Curvas de evolução da resistência à compressão simples para a mistura ideal e para os solos pesquisados na revisão bibliográfica



Fonte: Autoria própria, 2014. Dados extraídos das fontes citadas na legenda.

A expressiva taxa de crescimento de 19,0% para a RCS da mistura ideal com cinza leve (mistura 15) aos 84 dias de idade em relação à resistência aos 28 dias, é compatível com a expectativa de crescimento da resistência do cimento pozolânico comercial CP IV, uma vez que o mesmo tende a retardar o crescimento das resistências mecânicas nas idades iniciais abaixo de 28 dias. Ainda, conforme a ABNT NBR 5736 (1991) que especifica as principais

características do Cimento Portland Pozolânico (CP IV), é indicada a relação de 25% para a RCS entre os 91 e os 28 dias de cura, para argamassas produzidas com o cimento CP IV.

A superioridade de 7,2% da RCS aos 84 dias de idade para a mistura ideal com cinza leve (mistura 15) sobre a mistura ideal sem cinza leve (mistura 13), confirma a ação positiva da presença de cinza leve na mistura ideal, todavia, ocorreu superioridade semelhante de 7,0% da RCS aos 7 dias de cura entre a mistura 15 e a mistura 13, descartando, desta forma, que foram desenvolvidas reações pozolânicas significativas com a adição de cinza leve, atribuindo o melhor desempenho da mistura 15 principalmente a sua estabilização granulométrica. Uma vez que, não houve ao longo do tempo de cura, superioridade relativa do desempenho mecânico mediante a estabilização química da mistura ideal com cinza leve, considera-se que não foi alcançado o objetivo de produzir um cimento pozolânico em laboratório, mas, foi constituída uma mistura com relação benefício-custo atrativa, visto que o custo da mistura ideal com cinza leve é apenas 3,7% maior que o custo da mistura ideal sem cinza leve.

4.2.2.3.4 Modelo de previsão do desempenho mecânico das misturas de CP, CL e Cim

Tendo em vista as proporções empregadas de cinza pesada, cinza leve e cimento na confecção das misturas 1 a 16, aliado aos respectivos resultados de Resistência à Compressão Simples aos 7 dias de idade (RCS7) apresentados na Tabela 17, foi criado um modelo matemático para a previsão do desempenho mecânico da mistura destes materiais.

Para o processamento matemático do modelo foi empregado o *software* de estatística *Action*, que é uma ferramenta gratuita largamente aplicada no setor industrial e no meio acadêmico, desenvolvida pela empresa brasileira de consultoria Estatcamp. O processamento matemático da ferramenta *Action* é baseado no método de regressão linear múltipla que reúne uma coleção de técnicas estatísticas para construir modelos que descrevem, de modo satisfatório, as relações entre diversas variáveis explicativas de um determinado processo.

Através de um processo iterativo foram testadas diversas configurações de modelos matemáticos, de modo a definir a equação com melhor correlação estatística e com reduzida complexidade matemática. Desta forma, foi obtido o modelo matemático representado pela equação a seguir, o qual oferece uma correlação de 99,31% entre os dados das variáveis de entrada e o resultado da RCS7. No entanto, destaca-se que é necessário atender duas condições fundamentais de validade do modelo matemático proposto, as quais são: devem ser respeitados os limites de proporção indicados na sequencia para cada material aplicado na mistura, além de que a soma das proporções dos materiais aplicados deve ser obrigatoriamente igual a 100%, ou seja, CP+CL+Cim=100%.

$$RCS7 = 0,14 + 0,012842CL - 0,136128Cim - 5,11E\text{-}10Cim^{CL} + 1,68E\text{-}84Cim^{CP} + 0,001416CLCim^{2} + 0,001064CPCim^{2} - 0,000072CPCim^{3}$$

Onde:

RCS7 = resistência à compressão simples aos 7 dias de idade (MPa);

CP = proporção de cinza pesada aplicada na mistura, variável de 82 a 100%;

CL = proporção de cinza leve aplicada na mistura, variável de 0 a 10%;

Cim = proporção de cimento aplicada na mistura, variável de 0,01 a 8%.

A Tabela 18 apresenta a comparação entre os resultados dos ensaios de RCS7 e o modelo matemático de previsão do desempenho mecânico das misturas. Os dados apresentados evidenciam a qualidade de ajuste do modelo matemático proposto, confirmando desta forma, a elevada correlação obtida de 99,31%.

Tabela 18 – Comparação entre os resultados dos ensaios de RCS7 e o modelo matemático proposto de previsão do desempenho mecânico

Material ou mistura	Proporção de materiais (%)			Nomenclatura adotada	Resistência à Compressão Simples aos 7 dias (RCS7) (MPa)		Relação entre o modelo e o resultado do ensaio (%)
	Cinza Pesada (CP)	Cinza Leve (CL)	Cimento (Cim)		Resultado do ensaio	Modelo matemático	
Cinza pesada amostrada	100	0	0	CP	0,14	0,139	99,3
Mistura 1	98	0	2	CP98 / CL0 / Cim2	0,25	0,228	91,2
Mistura 2	95	3	2	CP95 / CL3 / Cim2	0,26	0,273	105,0
Mistura 3	93	5	2	CP93 / CL5 / Cim2	0,29	0,303	104,5
Mistura 4	88	10	2	CP88 / CL10 / Cim2	0,33	0,377	114,2
Mistura 5	96	0	4	CP96 / CL0 / Cim4	0,75	0,787	104,9
Mistura 6	93	3	4	CP93 / CL3 / Cim4	0,91	0,857	94,2
Mistura 7	91	5	4	CP91 / CL5 / Cim4	0,80	0,903	112,9
Mistura 8	86	10	4	CP86 / CL10 / Cim4	1,12	1,018	90,9
Mistura 9	94	0	6	CP94 / CL0 / Cim6	1,39	1,462	105,2
Mistura 10	91	3	6	CP91 / CL3 / Cim6	1,75	1,585	90,6
Mistura 11	89	5	6	CP89 / CL5 / Cim6	1,61	1,667	103,5
Mistura 12	84	10	6	CP84 / CL10 / Cim6	1,79	1,842	102,9
Mistura 13	92	0	8	CP92 / CL0 / Cim8	2,14	2,128	99,4
Mistura 14	89	3	8	CP89 / CL3 / Cim8	2,16	2,141	99,1
Mistura 15	87	5	8	CP87 / CL5 / Cim8	2,29	2,285	99,8
Mistura 16	82	10	8	CP82 / CL10 / Cim8	2,11	2,098	99,4

Fonte: Autoria própria, 2014.

4.3 Análise da viabilidade ambiental

4.3.1 Ensaios de caracterização química e ambiental

4.3.1.1 Potencial Hidrogeniônico (pH) – CP, CL, Cim e 1ª mistura > 2,1 MPa

Apresentam-se na Tabela 19, os resultados dos ensaios de caracterização química contemplados pela determinação do pH da Cinza Pesada (CP), da Cinza Leve (CL), do Cimento (Cim) e da 1ª composição de mistura com RCS7 superior a 2,1 MPa (mistura 16), sendo que o pH da mistura foi verificado na condição sem compactação e cura e, ainda, na condição com compactação e com cura de 3 e 28 dias. Visando uma análise comparativa, foram reunidos ainda na Tabela 19, os valores de pH obtidos na revisão bibliográfica para as cinzas leves e pesadas geradas na termelétrica de Charqueadas/RS e para o cimento Portland.

Para definir a mistura que foi submetida ao ensaio do pH, adotou-se o mesmo critério empregado na metodologia de análise ambiental realizada para os ensaios de lixiviação e solubilização. Ou seja, adotando uma postura conservadora, foi verificado o pH para a primeira composição de mistura que resultou em uma RCS7 superior a 2,1 MPa, a qual é a resistência mínima aos 7 dias fixada na especificação DNIT ES 143 (2010). Considerando que a mistura 16 é a que atende este quesito, destaca-se a tendência mais desfavorável no aspecto ambiental para esta mistura, visto que a mesma apresenta a maior proporção de cinza leve dentre as misturas com RCS7 superior a 2,1 MPa, resultando assim, na mistura de pH mais alcalino e com maior potencial de solubilização de metais pesados com a percolação de água.

Tabela 19 – Resultados dos ensaios do pH da cinza leve e pesada, do cimento, da 1ª mistura com RCS7 superior a 2,1 MPa, e os obtidos na revisão bibliográfica

Material ou mistura	Nomenclatura adotada	Potencial Hidrogeniônico (pH)					
		Revisão bibliográfica			Condição da amostra		
		Cinzas de Charqueadas/RS		ABCP (2014)	Sem compactação e sem cura	Com compactação	
		Rohde *et al.* (2006)	Sundstron (2012)			Cura de 3 dias	Cura de 28 dias
Cinza pesada pura	CP	9,38	9,1	-	7,5	-	-
Cinza leve pura	CL	10,95	11,1	-	8,8	-	-
Cimento Portland Composto (CP II-Z-32)	Cim	-	-	12 a 12,5	12,1	-	-
1ª Mistura > 2,1 MPa (Mistura 16)	CP82 / CL10 / Cim8	-	-	-	11,6	12,1	11,4

Fonte: Autoria própria, 2014. Dados extraídos das fontes citadas na tabela.

Para a condição sem compactação e sem cura, o resultado obtido de 7,5 para o pH da cinza pesada amostrada, é incompatível com os valores encontrados na revisão bibliográfica apresentada na subseção 2.5.4 – Caracterização química, cujo o pH encontrado por Rohde *et al*. (2006) é 9,38 e o pH médio obtido por Sundstron (2012) é 9,1, ambos para a cinza pesada gerada na termelétrica de Charqueadas/RS, permitindo inferir desta forma, na hipótese de heterogeneidade para o pH da cinza pesada desta termelétrica. Convergindo para a hipótese mencionada, observa-se que o pH de 8,8 obtido para a cinza leve amostrada, também diverge do pH de 10,95 obtido por Rohde *et al*. (2006) e, ainda, do pH médio de 11,1 encontrado por Sundstron (2012), ambos obtidos para a cinza leve da termelétrica de Charqueadas/RS.

No entanto, observa-se na Tabela 6 que para uma das quatro amostras (amostra nº 1) de cinzas leves coletadas por Sundstron (2012), foi obtido o valor de 9,6 para o pH, aproximando-se do valor de 8,8 obtido para o pH da cinza leve amostrada, mas corroborando novamente para uma provável heterogeneidade do pH da cinza leve produzida pela termelétrica de Charqueadas/RS. Todavia, visto que as taxas de lixiviação e solubilização são muito influenciadas pelas variações do pH do meio, a presença de um pH mais neutro nas cinzas leves e pesadas tende a minimizar a solubilização de metais pesados quando da percolação de água, sendo assim, favorável quando analisado o aspecto ambiental.

Ainda para a condição sem compactação e cura, o resultado obtido de 12,1 para o pH do cimento, enquadra-se no intervalo do pH de 12 a 12,5 especificado pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Em relação ao pH de 11,6 obtido para a 1ª mistura com RCS7 > 2,1 MPa (mistura 16) sem compactação e cura, observa-se que já era esperado de acordo com a metodologia exposta na subseção 3.3.5.1, a elevação do pH desta mistura em relação ao pH da cinza pesada pura, tendo em vista a adição de materiais com maior alcalinidade como a cinza leve e o cimento, aliada ainda, a escala logarítmica que define o comportamento do pH.

Uma vez que as taxas de lixiviação e solubilização dependem fortemente do pH do meio, ocorre que a elevação do pH para 11,6 referente a mistura 16 sem compactação e cura, tende a potencializar a solubilização de metais pesados quando da percolação de água até um certo período de evolução do processo de inertização da mistura. Considerando os pHs de 12,1 e 11,4 obtidos, respectivamente, para a mistura 16 com compactação e com cura de 3 e 28 dias, constata-se que a evolução do processo de inertização ocorre apenas pela ação da estabilização química da mistura, visto que na condição com compactação e cura, o pH da mistura 16 é sempre superior ao pH da cinza pesada pura, tendendo desta forma, a influenciar negativamente no processo de inertização.

No entanto, cabe destacar que a situação da mistura compactada na pista, anteriormente ao período máximo de 28 dias de cura que é necessário para produzir a inertização da mistura 16, é similar ao cenário atual das bacias de sedimentação e aterros de cinzas pesadas, mas além do reduzido período de tempo, a mistura na pista está assentada sobre uma camada de solo compactada, a qual reduz significativamente os níveis de percolação da água da chuva.

4.3.1.2 Classificação do resíduo sólido – CP e 1ª mistura > 2,1 MPa

As Tabela 20 e Tabela 21 apresentam, respectivamente, os resultados dos ensaios de lixiviação e solubilização da Cinza Pesada (CP) pura e da primeira composição de mistura com RCS7 superior a 2,1 MPa (mistura 16) na condição compactada e com cura de 3 e 28 dias, além das classificações dos resíduos de acordo com a ABNT NBR 10004 (2004). Objetivando uma análise comparativa, foram inseridos nas Tabela 20 e Tabela 21, os extratos lixiviados e solubilizados das cinzas pesadas da termelétrica de Charqueadas/RS, obtidos na revisão bibliográfica apresentada na subseção 2.5.7 – Caracterização ambiental.

Adotando uma postura conservadora e considerando as implicações ambientais do aproveitamento das cinzas pesadas, foi efetuada a verificação da viabilidade ambiental, através de ensaios de lixiviação e solubilização para a 1ª composição de mistura que resultou em uma RCS7 superior a 2,1 MPa, a qual é a resistência a compressão mínima aos 7 dias de cura, estabelecida na especificação de serviço de solo-cimento DNIT ES 143 (2010). Certamente, tendo em vista os teores dos estabilizantes químicos aplicados, caso a mistura seja classificada como inerte para esta resistência mínima, será inerte para as demais misturas com resistência superior a mínima especificada.

Sendo a mistura 16 definida como a 1ª mistura com RCS7 superior a 2,1 MPa e, considerando que a mesma apresenta a maior proporção de cinza leve dentre as misturas com RCS7 superior a 2,1 MPa, destaca-se a tendência mais desfavorável no aspecto ambiental para esta mistura, tendo em vista que a sua maior alcalinidade tende a potencializar a solubilização de metais pesados com a percolação de água, pelo menos, até um certo período de evolução do seu processo de inertização.

Do mesmo modo em que foi constatada a divergência para o pH das amostras de cinzas leves e pesadas em comparação aos valores de pH obtidos na revisão bibliográfica, analisando os resultados das Tabela 20 e Tabela 21, é identificada uma elevada dispersão e heterogeneidade da concentração dos elementos e compostos químicos lixiviados e solubilizados para a cinza pesada amostrada. Desta forma, não é possível atribuir qualquer

tipo de correlação ou convergência para este quesito, entre as diferentes pesquisas analisadas e os resultados dos ensaios de lixiviação e solubilização realizados para a cinza pesada pura. Em contrapartida, os resultados dos ensaios realizados classificaram a cinza pesada amostrada como um resíduo sólido industrial Classe II A, convergindo desta forma, com a maioria absoluta das pesquisas contempladas na revisão bibliográfica, uma vez que as mesmas também classificaram a cinza pesada como um resíduo Classe II A, ou seja, como um material não perigoso, mas não inerte.

Analisando o extrato solubilizado da cinza pesada amostrada apresentado na Tabela 21, demonstra-se que o limite máximo normatizado foi ultrapassado no ensaio para as substâncias químicas compostas por fluoretos e sulfatos, inviabilizando desta forma, a classificação da cinza pesada amostrada como um resíduo inerte. Com o objetivo de produzir a inertização da cinza pesada amostrada, viabilizando ambientalmente o aproveitamento da mesma, a cinza leve e o cimento foram adicionados na mistura como estabilizantes químicos de acordo com os critérios expostos na subseção 3.1.2 – Análise da viabilidade ambiental.

Conforme os dados expostos nas Tabela 20 e Tabela 21, observando individualmente a concentração dos elementos químicos no extrato lixiviado e solubilizado para a 1ª mistura > 2,1 MPa (mistura 16) na condição com compactação e com cura de 3 e 28 dias, confirma-se a expectativa prevista na metodologia da pesquisa, ou seja, a maioria das concentrações dos elementos químicos sofreram redução em relação a amostra de cinza pesada pura. As exceções ocorreram para a mistura 16 com compactação e cura de 3 dias: no ensaio de lixiviação para as concentrações de bário e cromo e, ainda, no ensaio de solubilização para as concentrações de alumínio, sódio e cloretos. Ainda para a mistura 16 com compactação e cura de 3 dias, destaca-se que apesar da inertização das substâncias compostas por sulfatos e a quase inertização dos fluoretos, a concentração de alumínio cresceu de forma significativa, inviabilizando assim, a inertização da mistura 16 com tempo de cura de 3 dias.

Em contrapartida, para a mistura 16 com compactação e tempo de cura de 28 dias, nenhum elemento químico verificado no ensaio de lixiviação sofreu aumento de concentração em relação à amostra de cinza pesada pura, no entanto, as concentrações dos elementos manganês e sódio cresceram no ensaio de solubilização. Ainda, destaca-se que a elevada concentração de alumínio observada no ensaio de solubilização para o tempo de cura de 3 dias, foi reduzida ao limite de detecção mediante aumento do tempo de cura da mistura 16 para o período de 28 dias. Finalmente, de acordo com os dados expostos nas Tabela 20 e Tabela 21, salienta-se que o objetivo principal de inertizar o resíduo cinza pesada foi alcançado, considerando que para todos os elementos e compostos químicos analisados na

mistura 16 com compactação e com tempo de cura de 28 dias, o limite máximo preconizado na ABNT NBR 10004 (2004) não foi ultrapassado na análise do extrato solubilizado.

Na medida em que a mistura 16 foi classificada como inerte para o tempo de cura de 28 dias, não houve a necessidade de realizar o ensaio de lixiviação e solubilização para a composição de mistura que apresentou resistência imediatamente superior à mistura 16, uma vez que sendo a mistura classificada como inerte para a mistura com resistência mínima (1ª mistura > 2,1 MPa), também será classificada como inerte para as demais misturas com resistência superior a mínima especificada.

Tabela 20 – Resultados dos ensaios de lixiviação da cinza pesada pura, da 1ª mistura com RCS7 superior a 2,1 MPa, e os obtidos na revisão bibliográfica

Parâmetros inorgânicos (mg/L)		Limite máximo no lixiviado NBR 10004:2004 (mg/L)	Concentração (mg/L) no extrato lixiviado					Relação entre as concentrações da mistura 16 (28 dias) e da cinza pesada pura (%)
			Revisão bibliográfica (CP de Charqueadas/RS)		Tipo e condição da amostra			
Subs-tância	Nomen-clatura		Rohde *et al.* (2006)	Sundstron (2012) Amostra 2	Cinza pesada pura (sem compactação e sem cura)	1ª Mistura > 2,1 MPa (Mistura 16)		
						Com compactação e cura de 3 dias	Com compactação e cura de 28 dias	
F^-	Fluoretos	150	1,90	0,66	15,5	12,5	1,0	6,5
As	Arsênio	1,0	< 0,03	0,012	ND	ND	ND	-
Ba	Bário	70	< 0,6	0,645	ND	0,5	ND	-
Cd	Cádmio	0,5	< 0,007	ND	ND	ND	ND	-
Pb	Chumbo	1,0	< 0,2	0,199	ND	ND	ND	-
Cr	Cromo	5,0	< 0,07	ND	ND	0,1	ND	-
Hg	Mercúrio	0,1	< 0,0007	ND	ND	ND	ND	-
Ag	Prata	5,0	< 0,03	0,021	ND	ND	ND	-
Se	Selênio	1,0	< 0,03	0,011	ND	ND	ND	-
pH inicial do extrato não lixiviado			9,3	10,4	-	-	-	-
pH final do extrato lixiviado			4,3	5,9	-	-	-	-
Classe I - Perigoso ou Classe II - Não perigoso			Classe II	Classe II	Classe II	Classe II	Classe II	-

Fonte: Autoria própria, 2014. Dados extraídos das fontes citadas na tabela.

Não Detectado (ND).

Tabela 21 – Resultados dos ensaios de solubilização da cinza pesada pura, da 1ª mistura com RCS7 superior a 2,1 MPa, e os obtidos na revisão bibliográfica

Parâmetros orgânicos e inorgânicos (mg/L)		Limite máximo no solubilizado NBR 10004:2004 (mg/L)	Concentração (mg/L) no extrato solubilizado					Relação entre as concentrações da mistura 16 (28 dias) e da cinza pesada pura (%)
			Revisão bibliográfica (CP de Charqueadas/RS)		Tipo e condição da amostra			
Subs-tância	Nomen-clatura		Rohde *et al.* (2006)	Sundstron (2012) Amostra 2	Cinza pesada pura (sem compactação e sem cura)	1ª Mistura > 2,1 MPa (Mistura 16)		
						Com compactação e cura de 3 dias	Com compactação e cura de 28 dias	
Cl^-	Cloretos	250	0,95	2,81	1,5	3,0	0,5	33,3
$CaCO_3$	Dureza total	500	133,9	-	-	-	-	-
F^-	Fluoretos	1,5	0,84	1,31	5,8**	1,8**	0,9	14,8
SO_4^{-2}	Sulfatos	250	117,3	496**	1.842,5**	26,5	158,5	8,6
NO_3^-	Nitratos	10,0	0,5	0,2	0,1	ND	0,1	100,0
C_6H_5OH	Fenóis	0,01	ND	ND	0,002	ND	ND	-
ABS	Surfactantes	0,5	ND	0,03	ND	ND	ND	-
CN^-	Cianetos	0,07	< 0,02	ND	ND	ND	ND	-
Al	Alumínio	0,2	< 0,5*	1,1**	ND	2,1**	ND	-
As	Arsênio	0,01	< 0,02*	ND	ND	ND	ND	-
Ba	Bário	0,7	< 0,6	0,060	ND	ND	ND	-
Cd	Cádmio	0,005	< 0,007*	ND	ND	ND	ND	-
Pb	Chumbo	0,01	< 0,2*	ND	ND	ND	ND	-
Cu	Cobre	2,0	< 0,03	ND	ND	ND	ND	-
Cr	Cromo	0,05	< 0,07*	ND	ND	ND	ND	-
Fe	Ferro	0,3	< 0,05	0,075	0,1	ND	ND	-
Mn	Manganês	0,1	< 0,06	0,012	ND	ND	0,1	-
Hg	Mercúrio	0,001	< 0,0007	ND	ND	ND	ND	-
Ag	Prata	0,05	< 0,03	ND	ND	ND	ND	-
Se	Selênio	0,01	< 0,03*	ND	ND	ND	ND	-
Na	Sódio	200	1,06	20,0	5,0	20,6	16,3	326,0
Zn	Zinco	5,0	< 0,008	0,030	ND	ND	ND	-
Classe II A - Não inertes Classe II B - Inertes			Classe II A	Classe II A	Classe II A	Classe II A	Classe II B	-

Fonte: Autoria própria, 2014. Dados extraídos das fontes citadas na tabela.

Não Detectado (ND).
* Limite de detecção no laboratório é superior ao limite máximo permitido, onde por precaução classificou-se o resíduo como não inerte.
** Limite detectado no laboratório é superior ao limite máximo permitido.

4.4 Análise da viabilidade econômica

4.4.1 Custos referenciais aplicados

Os custos referenciais das soluções para bases e sub-bases de pavimentos rodoviários foram obtidos através do sistema SICRO2, para o Estado do Rio Grande do Sul e com data-base em relação a maio/2014. Os custos dos insumos básicos referentes à mão-de-obra, equipamentos, materiais e transporte, estão apresentados respectivamente, nos APÊNDICES A, B, C e D.

As Composições de Custo Unitário (CCUs) dos serviços auxiliares e principais, alimentadas pelos insumos básicos mencionados, estão apresentadas respectivamente, nos APÊNDICES F e G. A relação de todas as CCUs empregadas na análise da viabilidade econômica, assim como, os custos por km usados na definição das equações de custo do transporte para os materiais, apresentam-se no APÊNDICE E da presente pesquisa.

Os custos por km, mencionados e apresentados no APÊNDICE E, foram determinados a partir dos parâmetros de consumo (t/m³) obtidos em cada CCU de serviço, onde estes parâmetros foram multiplicados pelos custos unitários do transporte com e sem pavimento, listados no APÊNDICE D. Posteriormente, foram elaboradas para cada serviço, as equações de custo do transporte para os materiais, as quais estão apresentadas na Tabela 22.

Além das equações de custo do transporte serem específicas para cada solução de base e sub-base de pavimento pesquisada, o custo do transporte para os materiais ainda é variável em função: da Distância Média de Transporte (DMT) referente à aquisição do material principal da sua respectiva fonte de material até o local onde será usinada a mistura, da DMT do local da mistura até o ponto de aplicação na pista, e de outras DMTs secundárias para o transporte dos materiais identificados e considerados como não principais.

Através da análise da magnitude dos coeficientes que antecedem as variáveis referentes às DMTs com e sem pavimento, apresentadas nas equações da Tabela 22, analisou-se a relevância do custo do material transportado, permitindo a identificação dos materiais considerados como principais e não principais.

Os materiais identificados como principais e não principais, estão ilustrados por meio de legenda apresentada no APÊNDICE E, a qual foi elaborada especificamente para os custos por km em relação aos serviços pesquisados para as bases e sub-bases de pavimentos.

Tabela 22 – Equações de custo do transporte para os materiais

Código	Discriminação do serviço	Equações de custo do transporte para os materiais (R$/m³) (custo direto sem o custo do BDI=29,98%)
2 S 02 230 00	Base ou sub-base de brita graduada	$0{,}0009 * DMT(N\ PAV)_{TR001} + 0{,}0006 * DMT(PAV)_{TR001} + 1{,}4400 * DMT(N\ PAV)_{TR006} + 1{,}1040 * DMT(PAV)_{TR006} + 1{,}4400 * DMT(N\ PAV)_{TR020} + 1{,}1040 * DMT(PAV)_{TR020}$
2 S 02 230 50	Base ou sub-base de brita graduada BC	$1{,}4400 * DMT(N\ PAV)_{TR020} + 1{,}1040 * DMT(PAV)_{TR020} + 1{,}1280 * DMT(N\ PAV)_{TR073} + 0{,}7440 * DMT(PAV)_{TR073}$
2 S 02 231 00	Base ou sub-base de macadame hidráulico	$0{,}0009 * DMT(N\ PAV)_{TR001} + 0{,}0006 * DMT(PAV)_{TR001} + 1{,}3500 * DMT(N\ PAV)_{TR006} + 1{,}0350 * DMT(PAV)_{TR006} + 1{,}3500 * DMT(N\ PAV)_{TR013} + 1{,}0350 * DMT(PAV)_{TR013}$
2 S 02 231 50	Base ou sub-base de macadame hidráulico BC	$1{,}3500 * DMT(N\ PAV)_{TR013} + 1{,}0350 * DMT(PAV)_{TR013} + 1{,}0575 * DMT(N\ PAV)_{TR073} + 0{,}6975 * DMT(PAV)_{TR073}$
2 S 02 241 01	Base ou sub-base de solo cimento com mistura em usina	$0{,}0792 * DMT(N\ PAV)_{TR010} + 0{,}0528 * DMT(PAV)_{TR010} + 1{,}1040 * DMT(N\ PAV)_{TR016} + 0{,}8464 * DMT(PAV)_{TR016} + 1{,}2096 * DMT(N\ PAV)_{TR021} + 0{,}9274 * DMT(PAV)_{TR021}$
2 S 02 243 01	Base ou sub-base de solo melhorado com cimento - mistura em usina	$0{,}0396 * DMT(N\ PAV)_{TR010} + 0{,}0264 * DMT(PAV)_{TR010} + 1{,}1040 * DMT(N\ PAV)_{TR016} + 0{,}8464 * DMT(PAV)_{TR016} + 1{,}1568 * DMT(N\ PAV)_{TR022} + 0{,}8869 * DMT(PAV)_{TR022}$
CCU 01 (Princ)	Base ou sub-base de macadame seco BC	$1{,}3500 * DMT(N\ PAV)_{TR013} + 1{,}0350 * DMT(PAV)_{TR013} + 1{,}0575 * DMT(N\ PAV)_{TR073} + 0{,}6975 * DMT(PAV)_{TR073}$
CCU 15 (Princ)	Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 1: CP98 / CL0 / Cim2	$0{,}0104 * DMT(N\ PAV)_{TR010} + 0{,}0069 * DMT(PAV)_{TR010} + 0{,}5327 * DMT(N\ PAV)_{TR074} + 0{,}3513 * DMT(PAV)_{TR074} + 0{,}0000 * DMT(N\ PAV)_{TR075} + 0{,}0000 * DMT(PAV)_{TR075} + 0{,}6939 * DMT(N\ PAV)_{TR076} + 0{,}5320 * DMT(PAV)_{TR076}$
CCU 16 (Princ)	Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 2: CP95 / CL3 / Cim2	$0{,}0104 * DMT(N\ PAV)_{TR010} + 0{,}0069 * DMT(PAV)_{TR010} + 0{,}5144 * DMT(N\ PAV)_{TR074} + 0{,}3393 * DMT(PAV)_{TR074} + 0{,}0162 * DMT(N\ PAV)_{TR075} + 0{,}0107 * DMT(PAV)_{TR075} + 0{,}6912 * DMT(N\ PAV)_{TR076} + 0{,}5299 * DMT(PAV)_{TR076}$
CCU 17 (Princ)	Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 3: CP93 / CL5 / Cim2	$0{,}0104 * DMT(N\ PAV)_{TR010} + 0{,}0069 * DMT(PAV)_{TR010} + 0{,}5034 * DMT(N\ PAV)_{TR074} + 0{,}3321 * DMT(PAV)_{TR074} + 0{,}0271 * DMT(N\ PAV)_{TR075} + 0{,}0179 * DMT(PAV)_{TR075} + 0{,}6911 * DMT(N\ PAV)_{TR076} + 0{,}5298 * DMT(PAV)_{TR076}$
CCU 18 (Princ)	Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 4: CP88 / CL10 / Cim2	$0{,}0103 * DMT(N\ PAV)_{TR010} + 0{,}0069 * DMT(PAV)_{TR010} + 0{,}4747 * DMT(N\ PAV)_{TR074} + 0{,}3131 * DMT(PAV)_{TR074} + 0{,}0539 * DMT(N\ PAV)_{TR075} + 0{,}0356 * DMT(PAV)_{TR075} + 0{,}6887 * DMT(N\ PAV)_{TR076} + 0{,}5280 * DMT(PAV)_{TR076}$
CCU 19 (Princ)	Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 5: CP96 / CL0 / Cim4	$0{,}0209 * DMT(N\ PAV)_{TR010} + 0{,}0139 * DMT(PAV)_{TR010} + 0{,}5227 * DMT(N\ PAV)_{TR074} + 0{,}3448 * DMT(PAV)_{TR074} + 0{,}0000 * DMT(N\ PAV)_{TR075} + 0{,}0000 * DMT(PAV)_{TR075} + 0{,}6951 * DMT(N\ PAV)_{TR076} + 0{,}5329 * DMT(PAV)_{TR076}$
CCU 20 (Princ)	Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 6: CP93 / CL3 / Cim4	$0{,}0208 * DMT(N\ PAV)_{TR010} + 0{,}0139 * DMT(PAV)_{TR010} + 0{,}5060 * DMT(N\ PAV)_{TR074} + 0{,}3338 * DMT(PAV)_{TR074} + 0{,}0163 * DMT(N\ PAV)_{TR075} + 0{,}0108 * DMT(PAV)_{TR075} + 0{,}6946 * DMT(N\ PAV)_{TR076} + 0{,}5326 * DMT(PAV)_{TR076}$
CCU 21 (Princ)	Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 7: CP91 / CL5 / Cim4	$0{,}0209 * DMT(N\ PAV)_{TR010} + 0{,}0139 * DMT(PAV)_{TR010} + 0{,}4956 * DMT(N\ PAV)_{TR074} + 0{,}3269 * DMT(PAV)_{TR074} + 0{,}0272 * DMT(N\ PAV)_{TR075} + 0{,}0180 * DMT(PAV)_{TR075} + 0{,}6953 * DMT(N\ PAV)_{TR076} + 0{,}5330 * DMT(PAV)_{TR076}$
CCU 22 (Princ)	Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 8: CP86 / CL10 / Cim4	$0{,}0208 * DMT(N\ PAV)_{TR010} + 0{,}0139 * DMT(PAV)_{TR010} + 0{,}4680 * DMT(N\ PAV)_{TR074} + 0{,}3087 * DMT(PAV)_{TR074} + 0{,}0544 * DMT(N\ PAV)_{TR075} + 0{,}0359 * DMT(PAV)_{TR075} + 0{,}6947 * DMT(N\ PAV)_{TR076} + 0{,}5326 * DMT(PAV)_{TR076}$
CCU 23 (Princ)	Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 9: CP94 / CL0 / Cim6	$0{,}0311 * DMT(N\ PAV)_{TR010} + 0{,}0207 * DMT(PAV)_{TR010} + 0{,}5092 * DMT(N\ PAV)_{TR074} + 0{,}3358 * DMT(PAV)_{TR074} + 0{,}0000 * DMT(N\ PAV)_{TR075} + 0{,}0000 * DMT(PAV)_{TR075} + 0{,}6915 * DMT(N\ PAV)_{TR076} + 0{,}5302 * DMT(PAV)_{TR076}$
CCU 24 (Princ)	Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 10: CP91 / CL3 / Cim6	$0{,}0315 * DMT(N\ PAV)_{TR010} + 0{,}0210 * DMT(PAV)_{TR010} + 0{,}4982 * DMT(N\ PAV)_{TR074} + 0{,}3286 * DMT(PAV)_{TR074} + 0{,}0164 * DMT(N\ PAV)_{TR075} + 0{,}0108 * DMT(PAV)_{TR075} + 0{,}6989 * DMT(N\ PAV)_{TR076} + 0{,}5358 * DMT(PAV)_{TR076}$
CCU 25 (Princ)	Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 11: CP89 / CL5 / Cim6	$0{,}0315 * DMT(N\ PAV)_{TR010} + 0{,}0210 * DMT(PAV)_{TR010} + 0{,}4873 * DMT(N\ PAV)_{TR074} + 0{,}3214 * DMT(PAV)_{TR074} + 0{,}0274 * DMT(N\ PAV)_{TR075} + 0{,}0181 * DMT(PAV)_{TR075} + 0{,}6989 * DMT(N\ PAV)_{TR076} + 0{,}5358 * DMT(PAV)_{TR076}$
CCU 26 (Princ)	Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 12: CP84 / CL10 / Cim6	$0{,}0318 * DMT(N\ PAV)_{TR010} + 0{,}0212 * DMT(PAV)_{TR010} + 0{,}4648 * DMT(N\ PAV)_{TR074} + 0{,}3066 * DMT(PAV)_{TR074} + 0{,}0553 * DMT(N\ PAV)_{TR075} + 0{,}0365 * DMT(PAV)_{TR075} + 0{,}7064 * DMT(N\ PAV)_{TR076} + 0{,}5416 * DMT(PAV)_{TR076}$
CCU 33 (Princ)	Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 13: CP92 / CL0 / Cim8	$0{,}0430 * DMT(N\ PAV)_{TR010} + 0{,}0287 * DMT(PAV)_{TR010} + 0{,}5170 * DMT(N\ PAV)_{TR074} + 0{,}3410 * DMT(PAV)_{TR074} + 0{,}0000 * DMT(N\ PAV)_{TR075} + 0{,}0000 * DMT(PAV)_{TR075} + 0{,}7174 * DMT(N\ PAV)_{TR076} + 0{,}5500 * DMT(PAV)_{TR076}$
CCU 34 (Princ)	Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 14: CP89 / CL3 / Cim8	$0{,}0431 * DMT(N\ PAV)_{TR010} + 0{,}0287 * DMT(PAV)_{TR010} + 0{,}5008 * DMT(N\ PAV)_{TR074} + 0{,}3303 * DMT(PAV)_{TR074} + 0{,}0169 * DMT(N\ PAV)_{TR075} + 0{,}0111 * DMT(PAV)_{TR075} + 0{,}7184 * DMT(N\ PAV)_{TR076} + 0{,}5508 * DMT(PAV)_{TR076}$
CCU 35 (Princ)	Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 15: CP87 / CL5 / Cim8	$0{,}0431 * DMT(N\ PAV)_{TR010} + 0{,}0287 * DMT(PAV)_{TR010} + 0{,}4894 * DMT(N\ PAV)_{TR074} + 0{,}3228 * DMT(PAV)_{TR074} + 0{,}0281 * DMT(N\ PAV)_{TR075} + 0{,}0185 * DMT(PAV)_{TR075} + 0{,}7181 * DMT(N\ PAV)_{TR076} + 0{,}5505 * DMT(PAV)_{TR076}$
CCU 36 (Princ)	Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 16: CP82 / CL10 / Cim8	$0{,}0431 * DMT(N\ PAV)_{TR010} + 0{,}0288 * DMT(PAV)_{TR010} + 0{,}4617 * DMT(N\ PAV)_{TR074} + 0{,}3045 * DMT(PAV)_{TR074} + 0{,}0563 * DMT(N\ PAV)_{TR075} + 0{,}0371 * DMT(PAV)_{TR075} + 0{,}7188 * DMT(N\ PAV)_{TR076} + 0{,}5511 * DMT(PAV)_{TR076}$
CCU 28 (Princ)	Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura ideal=Mistura 15: CP87 / CL5 / Cim8	$0{,}0431 * DMT(N\ PAV)_{TR010} + 0{,}0287 * DMT(PAV)_{TR010} + 0{,}4894 * DMT(N\ PAV)_{TR074} + 0{,}3228 * DMT(PAV)_{TR074} + 0{,}0281 * DMT(N\ PAV)_{TR075} + 0{,}0185 * DMT(PAV)_{TR075} + 0{,}7181 * DMT(N\ PAV)_{TR076} + 0{,}5505 * DMT(PAV)_{TR076}$
CCU 30 (Princ)	Base ou sub-base de Areia/Cz Leve/Cim em usina - Mist. ideal substituindo Cz Pes por Areia	$1{,}1040 * DMT(N\ PAV)_{TR005} + 0{,}8464 * DMT(PAV)_{TR005} + 0{,}0431 * DMT(N\ PAV)_{TR010} + 0{,}0287 * DMT(PAV)_{TR010} + 0{,}0281 * DMT(N\ PAV)_{TR075} + 0{,}0185 * DMT(PAV)_{TR075} + 1{,}1973 * DMT(N\ PAV)_{TR078} + 0{,}9180 * DMT(PAV)_{TR078}$
CCU 32 (Princ)	Base ou sub-base de Areia/Cz Leve/Cim em usina AC-Mist. ideal substituindo Cz Pes por Areia	$0{,}0431 * DMT(N\ PAV)_{TR010} + 0{,}0287 * DMT(PAV)_{TR010} + 0{,}0281 * DMT(N\ PAV)_{TR075} + 0{,}0185 * DMT(PAV)_{TR075} + 0{,}8648 * DMT(N\ PAV)_{TR077} + 0{,}5704 * DMT(PAV)_{TR077} + 1{,}1973 * DMT(N\ PAV)_{TR078} + 0{,}9180 * DMT(PAV)_{TR078}$

Fonte: Autoria própria, 2014.

Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul. Data-base: maio/2014.

4.4.2 Cotejo das soluções de bases e sub-bases de pavimentos

Considerando a expressiva quantidade de variáveis relacionadas ao custo do transporte para os materiais, evidenciada nas equações da Tabela 22, para graficar o custo das soluções de pavimento foi necessário fixar as DMTs para a aquisição dos materiais identificados como não principais do seu respectivo fornecimento até o local de usinagem da mistura. Desta forma, para os materiais identificados como não principais, definiu-se em 0 km a DMT Não Pavimentada (N PAV) e 100 km a DMT Pavimentada (PAV) para as distâncias do fornecimento de material até o local da usina.

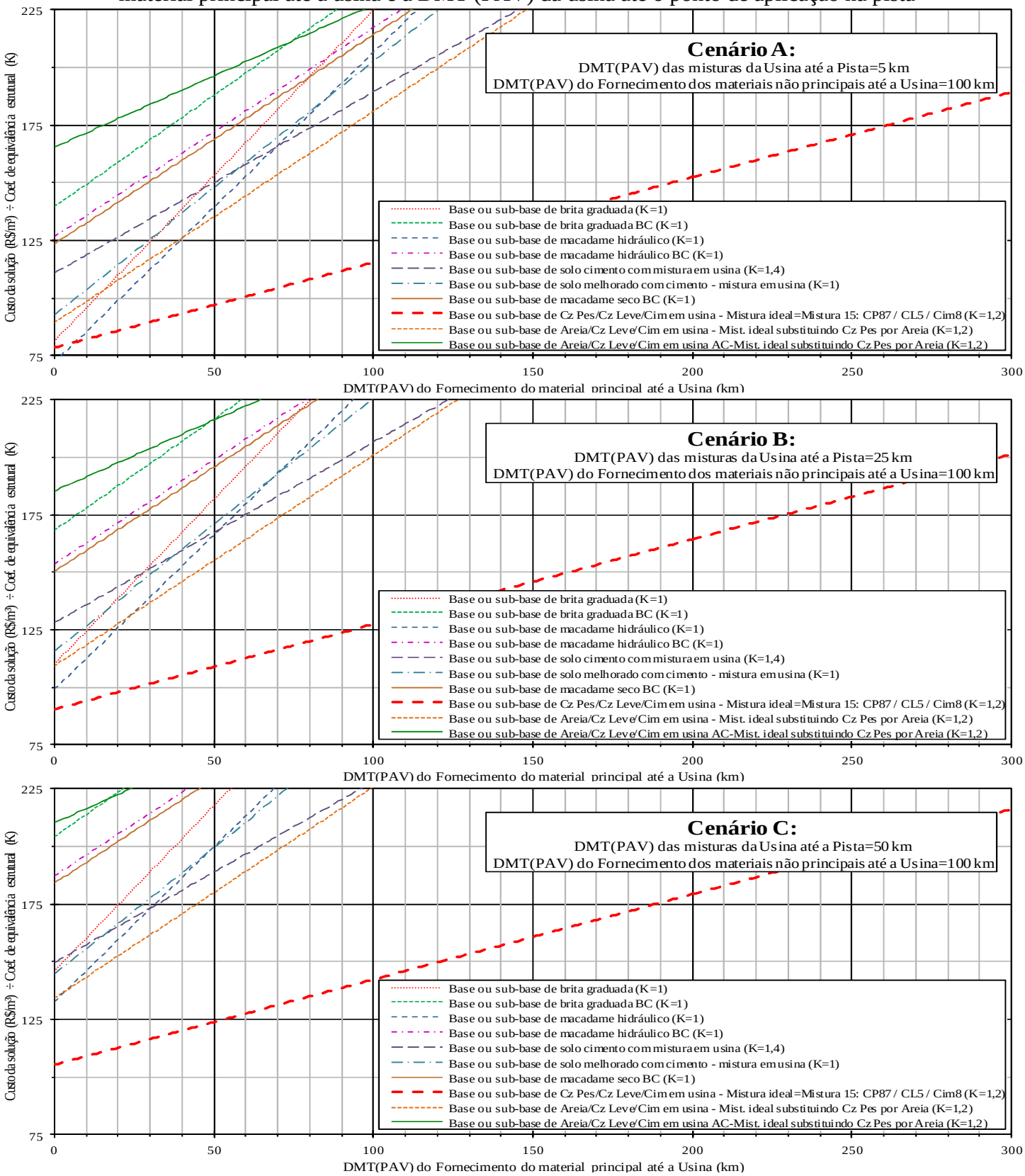
Ainda com o objetivo de ilustrar graficamente o custo das soluções de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários, foi necessária a criação dos cenários A, B e C, variando as DMTs do local da mistura até o seu ponto de aplicação na pista, onde fixou-se a DMT (N PAV) em 0 km e a DMT (PAV) alternou entre 5, 25 e 50 km, respectivamente, em relação aos cenários A, B e C que foram criados.

Desta forma, fixando as DMTs mencionadas e variando a DMT (PAV) referente à aquisição do material principal da sua respectiva fonte de material até o local onde será usinada a mistura, foi definido o custo do transporte para os materiais. Acrescentando ao referido custo do transporte dos materiais, o custo direto dos insumos e o custo com o Benefício e Despesas Indiretas (BDI) de 29,98%, onde ambos estão apresentados no APÊNDICE E, foi determinado o custo total dos serviços pesquisados para as soluções de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários.

A magnitude da capacidade estrutural para cada solução de base e sub-base de pavimento foi considerada por meio da aplicação inversamente proporcional do Coeficiente de equivalência estrutural (K), apresentado na Tabela 9. O referido coeficiente é aplicado no dimensionamento de pavimentos flexíveis e semirrígidos, através do método do DNER exposto no Manual de Pavimentação DNIT IPR 719 (2006).

Tendo em vista os dados e considerações apresentadas, foram confeccionados os gráficos comparativos apresentados na Figura 22, onde é possível cotejar o custo entre as bases e sub-bases tradicionais geralmente empregadas no Brasil, e a solução de base e sub-base formada pela mistura ideal de cinza pesada, cinza leve e cimento (mistura 15), permitindo desta forma, avaliar a viabilidade econômica do aproveitamento da cinza pesada em relação às variáveis presentes em um projeto de pavimento rodoviário.

Figura 22 – Cotejo do custo das soluções de bases e sub-bases em relação à DMT (PAV) do material principal até a usina e a DMT (PAV) da usina até o ponto de aplicação na pista



Fonte: Autoria própria, 2014.

Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul. Data-base: maio/2014. As DMTs apresentadas referem-se ao transporte em rodovias com pavimento. Os trechos de rodovias sem pavimento podem ser considerados através do cálculo da DMT equivalente em rodovias com pavimento, onde: *DMT equivalente = 1,39*DMT(N PAV)+DMT(PAV)* .

Analisando os cenários A, B e C, apresentados nos gráficos da Figura 22, observa-se que o cenário A enquadra-se no cenário mais crítico para viabilizar economicamente o aproveitamento das cinzas pesadas. Por exemplo, no cenário A, a mistura ideal formada pela proporção de materiais referentes à mistura 15, a qual é composta por 87% de cinza pesada, 5% de cinza leve e 8% de cimento, apresenta viabilidade econômica para uma DMT em torno de 250 km do local de obtenção da cinza pesada e leve até o local onde será usinada a mistura, quando cotejada com a solução de areia comercial, cinza leve e cimento nas mesmas proporções de materiais, todavia, adquirindo a areia comercial a uma DMT máxima de 10 km.

No entanto, cotejando as mesmas soluções no cenário B, a mistura ideal apresenta viabilidade econômica para uma DMT com cerca de 275 km do local de obtenção da cinza pesada e leve até o local de usinagem da mistura, enquanto que no cenário C, a viabilidade da mistura ideal ocorre a uma DMT superior a 300 km, considerando em ambos os cenários a aquisição da areia comercial a uma DMT máxima de 10 km. Destaca-se que, tendo em vista as características físicas da areia, a mesma é considerada como um material naturalmente concorrente e similar às cinzas pesadas, tornando indispensável à comparação realizada.

Cabe destacar que, o referido aumento da DMT crescente em relação aos cenários A, B e C, indicando maior atratividade para a mistura ideal, justifica-se na medida em que a cinza pesada é um material bem mais leve que a areia encontrada na natureza, promovendo desta forma, uma redução no custo do seu transporte, conforme previsto na subseção 3.1.3.4 – Aspectos da cinza pesada e areia que afetam o custo e desempenho das soluções.

Persistindo na análise dos gráficos da Figura 22, percebe-se que a viabilidade econômica para o aproveitamento da cinza pesada tende a predominar em relação às demais soluções, sendo o grau de atratividade dependente de variáveis que ocorrem em cada projeto rodoviário, tais como: a amplitude da DMT referente à aquisição do material principal até o local de usinagem da mistura, e se este material é produzido na obra ou é adquirido comercialmente.

Não obstante, a solução para base e sub-base mais empregada no Estado do Rio Grande do Sul, conhecida tecnicamente como base e sub-base de brita graduada usinada com Brita Comercial (BC), apresenta baixa atratividade econômica quando cotejada com a solução de base e sub-base formada pela mistura ideal (mistura 15). Por exemplo, no cenário B, a mistura ideal oferece viabilidade econômica para uma DMT igual a 250 km do local de obtenção da cinza pesada e leve até o local de usinagem da mistura, quando cotejada com a solução de base e sub-base de brita graduada BC, adquirindo a brita comercial a uma DMT de 15 km.

5 CONCLUSÃO

Os resultados apresentados e analisados nos Capítulos anteriores possibilitaram deduzir as considerações finais expostas no presente Capítulo, no que diz respeito à solução de aproveitamento das cinzas pesadas brasileiras, por meio da aplicação da mistura ideal de cinza pesada, cinza leve e cimento na construção de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários. As considerações finais foram organizadas quanto às suas vantagens e desvantagens e, ainda, quanto à viabilidade técnica, econômica e ambiental para a sua aplicação. Por fim, foram elencadas algumas sugestões para pesquisas futuras relacionadas ao tema abordado.

5.1 Considerações finais

5.1.1 Quanto às vantagens e desvantagens

Considerando o emprego na construção de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários, as principais vantagens relacionadas à solução de aproveitamento das cinzas pesadas estabilizadas quimicamente com cinza leve e cimento, estão apresentadas a seguir:

a) Até o presente momento, a cinza pesada é um resíduo sem valor comercial;
b) Os valores das massas específicas das cinzas leves e pesadas são bem inferiores aos valores das massas específicas dos solos encontrados na natureza, promovendo desta forma, expressiva redução no custo do transporte do material;
c) Em comparação aos solos argilosos, a cinza pesada apresenta maior granulometria, oferecendo assim, uma menor superfície específica para ser envolvida pela pasta de cimento, o que tende a reduzir o consumo de cimento na sua estabilização química;
d) Os métodos construtivos aplicados na solução, além de simples, admitem o emprego de equipamento comum e mão-de-obra normalmente disponível nas construtoras;
e) A solução apresenta viabilidade econômica em relação às demais soluções tradicionais, sendo o grau de atratividade econômica dependente de parâmetros variáveis para cada projeto rodoviário;
f) Devido as suas propriedades pozolânicas, a cinza pesada tende a oferecer para elevados períodos de cura, maior resistência em relação a areia natural, melhorando ao longo prazo, o desempenho das bases e sub-bases dos pavimentos rodoviários;
g) As novas técnicas de dimensionamento de pavimentos condenam o arranjo de camadas de materiais granulares britados justapostos a subleitos de natureza

resilientes, uma vez que esta configuração origina uma estrutura muito deformável que obriga o revestimento asfáltico a trabalhar a elevados níveis de deformação de tração, fadigando precocemente esta camada. Todavia, a cinza pesada estabilizada quimicamente com cinza leve e cimento conduz o revestimento asfáltico a trabalhar com pouca deformação, protegendo da ruptura precoce por fadiga, visto que esta camada semirrígida absorve e distribui melhor o carregamento imposto pelo tráfego;

h) Ao contrário da cinza leve, a cinza pesada gerada não está contemplada por nenhum tipo de aproveitamento, ficando depositada a céu aberto e configurando potencial risco ao meio ambiente. Desta forma, a solução de aproveitamento deste resíduo industrial é atrativa no aspecto ambiental e econômico, tendo em vista que reduz os atuais impactos ambientais e os custos intrínsecos ao seu processo de descarte;
i) Considerando o crescente rigor ambiental para permitir a exploração das fontes de materiais tradicionais, tais como pedreiras e jazidas de solo, aliado a inerente necessidade ambiental de recuperação das áreas degradadas exploradas, observa-se que o aproveitamento da cinza pesada minimiza a demanda pelas fontes de materiais tradicionais, reduzindo desta forma, o dano ambiental e o custo de recuperação.

Observado às vantagens intrínsecas a solução de aproveitamento da cinza pesada, por outro lado, existem desvantagens a serem superadas para o seu aproveitamento, principalmente, considerando a proposta de estabilizar quimicamente as cinzas pesadas:

a) Os dados obtidos na revisão bibliográfica evidenciam uma elevada heterogeneidade nas características físicas e mecânicas das cinzas pesadas oriundas das termelétricas brasileiras, que é justificada por diversos fatores, tais como: composição e poder calorífico do carvão; grau de beneficiamento e moagem do carvão; tipo, projeto e operação da caldeira; sistema de extração e o manuseio das cinzas pesadas;
b) A concentração de carbono incombusto é a ferramenta mais adequada para controlar a eficiência dos processos de queima do carvão, e com frequência é observada nas cinzas pesadas excessiva concentração de carbono, confirmando as imperfeições e a falta de controle dos processos de queima. Destaca-se que concentrações superiores a 2% de carbono exigem elevados teores de cimento para viabilizar a estabilização química e o aumento significativo da resistência, uma vez que a presença de matéria orgânica retarda as reações cimentantes na mistura dos materiais;
c) Além do carbono incombusto, outro elemento químico prejudicial contido nas cinzas é o ferro na forma de hematita e de magnetita. O elemento ferro tende a inibir

as reações pozolânicas das cinzas durante o processo de hidratação da cal, através de uma capa impermeável formada pela fixação da hematita e da magnetita sobre a superfície das partículas esféricas vitrificadas que compõem as cinzas. A magnetita e hematita derivam-se do mineral pirita presente no carvão minerado e, a excessiva concentração de pirita deve-se a ineficiência do processo de beneficiamento do carvão, o qual visa à extração das suas substâncias inorgânicas;

d) A predominância de partículas vitrificadas arredondadas nas cinzas tende a melhorar a trabalhabilidade da mistura, devido ao efeito de rolagem das partículas na matriz cimentícia, através da redução do atrito interno entre as mesmas. Por outro lado, as partículas ocas presentes nas cinzas se comportam como “esponjas” durante a preparação da mistura, absorvendo muita água e propiciando o aumento da umidade ótima. Após a evaporação da umidade excessiva presente na mistura compactada, resta uma camada com estrutura muito porosa, prejudicial a sua resistência;

e) Apesar da simplicidade dos métodos construtivos aplicados na solução de aproveitamento das cinzas pesadas estabilizadas quimicamente, deficiências no controle tecnológico do processo construtivo podem gerar consequências catastróficas em comparação a outras soluções tradicionais isentas de estabilização química. Como exemplo, cita-se a restrição de tempo fixada na especificação DNIT ES 143 (2010), onde o tempo decorrido entre a mistura pronta na usina e o início da compactação deve ser inferior a 1 hora, uma vez que caso a compactação da mistura não esteja concluída antes do início da pega, a sua qualidade estrutural pode ser comprometida. Em contrapartida, as cinzas leves e pesadas apresentam potencial para retardar o início de pega das reações cimentantes, devido à alta pozolanidade das cinzas leves e a presença de carbono incombusto nas cinzas pesadas;

f) Outro exemplo relativo à necessidade de um eficiente controle tecnológico do processo construtivo, diz respeito ao controle da cura química da camada de cinza pesada estabilizada com cinza leve e cimento, visto que um processo de cura ineficiente acarreta na formação e propagação das trincas de retração da camada cimentada para a camada do revestimento asfáltico. Com a percolação de água nas fissuras aliada a ação do tráfego pesado, ocorre à formação de pressões hidráulicas que tendem a degradar a estrutura do pavimento, reduzindo sensivelmente sua vida útil. No entanto, a expectativa é que a fissuração devido à aplicação do cimento seja reduzida com a adição da cinza leve, uma vez que é esperado o comportamento de um cimento pozolânico com baixo calor inicial de hidratação liberado na mistura.

5.1.2 Quanto à viabilidade técnica

A amostra de cinza pesada, classificada pela TRB, é um material do tipo A-4, caracterizado por uma mistura de solo siltoso não plástico com presença de 52% de areia e pedregulho retido na peneira nº 200 (0,075 mm). Devido a maior presença de material siltoso na cinza pesada amostrada, possivelmente, associada à realização de um processo de amostragem diferenciado justificado pela elevada heterogeneidade das cinzas pesadas, a classificação obtida não foi confirmada por nenhuma das pesquisas científicas contempladas na revisão bibliográfica.

A massa específica real dos grãos da cinza pesada amostrada é 2,290 gcm^{-3}, resultado compatível com os encontrados na revisão bibliográfica e que confirma a baixa amplitude de valores obtidos para este parâmetro, permitindo concluir que as cinzas pesadas são materiais bem mais leves que os solos encontrados na natureza. O coeficiente de inchamento da cinza pesada amostrada demonstrou que o volume de material é fortemente afetado pela presença de água. Ainda, percebeu-se similaridade entre o $CI_{máx}$ da cinza pesada amostrada e os $CI_{máx}$ das cinzas pesadas obtidos na revisão bibliográfica, variáveis de 1,53 a 1,65, além de que todos os resultados superaram os $CI_{máx}$ das areias naturais, variáveis de 1,29 a 1,31.

Constatou-se que a Umidade Ótima ($U_{ótima}$) de compactação tanto da cinza pesada amostrada quanto das cinzas pesadas obtidas na revisão bibliográfica, variáveis de 29,7 a 54,5%, são bem superiores as que ocorrem nas areias finas siltosas naturais. O resultado do ensaio do ISC de 49% e expansão de 0,1% revelou que as cinzas pesadas amostradas são materiais com boa capacidade de suporte e não expansivos. Ainda, confrontando o resultado do ISC da cinza pesada amostrada com os valores dos ISCs dos solos analisados na revisão bibliográfica, variáveis de 2 a 25%, confirma-se que em geral, as cinzas pesadas apresentam melhor capacidade de suporte que os solos, possivelmente, em função da predominância granular intrínseca as cinzas pesadas.

Considerando o déficit de comportamento mecânico da cinza pesada para sua aplicação direta e a necessidade ambiental de inertização do resíduo, para viabilizar em termos técnicos e ambientais o seu aproveitamento em bases e sub-bases de pavimentos, foram necessários ensaios para caracterizar a resistência mecânica da cinza pesada pura e das 16 misturas testadas formadas por diferentes combinações de materiais. Desta forma, foram acrescentadas pequenas parcelas de estabilizantes químicos na cinza pesada, através da adição do Cimento Portland Composto (CP II-Z) nas proporções de 2%, 4%, 6% e 8%, sendo que todas estas proporções de cimento combinadas com proporções de 0%, 3%, 5% e 10% de cinza leve.

5.1.2.1 Influência da adição de cinza leve e cimento na cinza pesada

A concepção de misturar cimento com cinza leve, ou seja, reunir um aglomerante químico com um material pozolânico artificial, inicialmente visou a redução da proporção necessária do cimento CP II-Z e a minimização do custo da solução, através da transformação da mistura num cimento pozolânico produzido em laboratório. Ainda, destaca-se que a adição da cinza leve nas misturas visou proporcionar uma maior atividade pozolânica para idades de misturas mais avançadas e a retardar a liberação do calor inicial de hidratação do cimento aplicado na mistura e, ainda, alterar positivamente a textura das misturas devido ao preenchimento de espaços vazios, contribuindo, desta forma, para uma melhor estabilização, tanto química quanto granulométrica.

Conforme previsto, os resultados do ensaio de Proctor das misturas confirmaram que os teores de $U_{ótima}$ não apresentam significativa dispersão, mas reduzem com o acréscimo da proporção de cimento e, aumentam com o acréscimo de cinza leve e pesada na mistura, possivelmente devido à estrutura porosa intrínseca às cinzas. Ainda, a porosidade presente nas cinzas, provavelmente ocasionou a tendência de achatamento nas curvas de compactação das misturas confeccionadas, permitindo inferir que pequenas dispersões no teor de umidade das misturas não provocam fortes variações na MEAS. Constatou-se também que, quanto menor a proporção de cinza pesada na mistura, maior é a sua $MEAS_{máx}$ justificado pela baixa massa específica real dos grãos e o elevado índice de vazios da cinza pesada. Com a adição da cinza leve e cimento, correspondente às proporções de materiais para a mistura ideal, a expansão da mistura permaneceu inalterada, todavia o ISC obteve um ganho expressivo de 443%.

Com os resultados da RCS7 para as misturas 1 a 16, verificou-se a influência da adição de cimento e cinza leve na RCS7 da cinza pesada pura. Constatou-se que ocorreram ganhos significativos de RCS7 com a adição de cimento e cinza leve, todavia a forte inclinação das curvas de resistência obtida ao variar a proporção de cimento, aliada a relativa proximidade entre as curvas observada ao variar a proporção de cinza leve, evidencia que a RCS7 é mais dependente da proporção de cimento do que da proporção de cinza leve aplicada na mistura. Através das proporções aplicadas de cinza pesada, cinza leve e cimento nas misturas 1 a 16, aliado aos respectivos resultados de RCS7, criou-se um modelo matemático que oferece uma correlação de 99,31% para a previsão do desempenho mecânico da mistura destes materiais.

Em relação ao tipo de estabilização das misturas, percebe-se que nas misturas com menor proporção de cimento (2 a 6%), a estabilização granulométrica predomina em relação à estabilização química, incapacitando o atendimento da resistência mínima de 2,1 MPa fixada

na especificação DNIT ES 143 (2010). Em contrapartida, nas misturas com 8% de proporção de cimento ocorre uma estabilização química mais eficiente e predominante em relação à estabilização granulométrica, resultando em misturas com RCS7 superior a resistência mínima de 2,1 MPa, viabilizando desta forma, a classificação destas misturas como camadas de base ou sub-base semirrígidas.

Destaca-se ainda que, os picos de RCS7 presentes nas misturas com 4 a 8% de proporção de cimento, sinalizam para a hipótese de uma possível relação ótima entre a proporção de cinza leve e a proporção de cimento aplicada nas misturas. Tal hipótese é confirmada ao observar as proporções dos componentes dos tipos comerciais de cimento Portland, onde verifica-se que para produzir um cimento pozolânico CP IV a partir de um cimento CP II-Z, a relação entre a quantidade de cinza leve e a quantidade de cimento CP II-Z é limitada em torno de 80%.

5.1.2.2 Influência do tempo de cura para a mistura ideal com e sem cinza leve

A mistura ideal com a presença de cinza leve (mistura 15), definida com base nos resultados de RCS7 e no custo dos estabilizantes químicos empregados, representa a mistura de materiais que propicia as melhores condições de aplicação da cinza pesada, de modo a atender os aspectos técnicos, econômicos e ambientais. A RCS para os tempos de cura de 14, 28 e 84 dias referente à mistura ideal com e sem a presença de cinza leve, permitiu a análise da evolução da resistência ao longo do período de cura, tendo em vista o retardamento esperado para o crescimento das resistências mecânicas de idades iniciais.

A curva de evolução da RCS para a mistura ideal com e sem a adição de cinza leve apresenta elevado potencial de crescimento das resistências mecânicas em longo prazo, considerando a tendência observada nos resultados de RCS para idades mais avançadas (acima de 28 dias). A expressiva taxa de crescimento de 19,0% entre a RCS84 e a RCS28 para a mistura ideal com a presença de cinza leve (mistura 15), é compatível com a expectativa de crescimento da resistência de argamassas produzidas com o cimento pozolânico comercial CP IV, além de evidenciar a forte influência do tempo de cura do cimento no comportamento mecânico das misturas.

Na medida em que, não ocorreu ao longo do tempo de cura da mistura ideal com cinza leve (mistura 15) e da mistura ideal sem cinza leve (mistura 13), uma superioridade relativa do desempenho mecânico entre estas misturas através da estabilização química, considerou-se que não foi alcançado o objetivo de produzir um cimento pozolânico em laboratório,

descartando, assim, o surgimento de reações pozolânicas significativas com a adição de cinza leve, atribuindo o melhor desempenho da mistura 15 principalmente a sua estabilização granulométrica. No entanto, constatou-se que foi formada uma mistura com relação benefício-custo atrativa, visto que o custo da mistura ideal com cinza leve é apenas 3,7% superior ao custo da mistura ideal sem cinza leve.

5.1.3 Quanto à viabilidade ambiental

A construção rodoviária é particularmente propícia à finalidade de absorver a destinação de resíduos industriais, tendo em vista a sua característica de potencializar o nível de encapsulamento e contenção dos subprodutos, através da combinação das diversas camadas de pavimento justapostas. Ao contrário da cinza leve, a cinza pesada gerada nas termelétricas não está contemplada por nenhum tipo de aproveitamento, ficando depositada a céu aberto e configurando potencial risco ao meio ambiente. Sendo assim, desenvolver pesquisas que visem o aproveitamento deste resíduo, podem reduzir os atuais custos e impactos ambientais intrínsecos ao processo de descarte das cinzas pesadas, e ao mesmo tempo, reduzir os custos para a construção de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários.

O pH levemente alcalino das cinzas pesadas de carvão tende a solubilizar metais pesados quando da percolação de água. Desta forma, de acordo os ensaios realizados de lixiviação e solubilização da ABNT NBR 10004 (2004), a amostra de cinza pesada pura foi classificada com um resíduo sólido industrial Classe II A, ou seja, um material não perigoso, mas não inerte. A cinza leve e o cimento foram adicionados na mistura como estabilizantes químicos, de modo a produzir a inertização da cinza pesada, viabilizando ambientalmente o aproveitamento da mesma. Adotando uma postura conservadora e considerando as implicações ambientais do aproveitamento das cinzas pesadas, obteve-se a viabilidade ambiental para a 1ª composição de mistura que resultou em uma RCS7 superior a 2,1 MPa (mistura 16), a qual é a resistência mínima fixada na especificação DNIT ES 143 (2010).

Certamente, tendo em vista os teores dos estabilizantes químicos aplicados, sendo a mistura classificada como inerte para a resistência mínima, será inerte para as demais misturas com resistência superior a mínima especificada. Mesmo que a 1ª composição de mistura que resultou em uma RCS7 superior a 2,1 MPa (mistura 16), com cura de 3 dias, tenha permanecido não inerte após o ensaio de solubilização, o objetivo principal de inertizar o resíduo foi alcançado, visto que para todos os elementos e compostos químicos analisados na

mistura 16 com tempo de cura de 28 dias, o limite máximo preconizado na ABNT NBR 10004 (2004) não foi ultrapassado na análise do extrato lixiviado e solubilizado da mistura.

5.1.4 Quanto à viabilidade econômica

A estabilização química da cinza pesada ocorreu com baixo consumo de cimento e com custo compatível com as soluções de base e sub-base tradicionais. No entanto, a solução da cinza pesada estabilizada quimicamente quando comparada a outras soluções tradicionais, ainda apresenta vantagens técnicas, econômicas e ambientais não contabilizadas nesta análise econômica, uma vez que a solução reduz os atuais impactos ambientais e os custos intrínsecos ao processo de descarte das cinzas pesadas, além de proteger o rompimento precoce do revestimento asfáltico devido à rigidez da solução. O cenário exposto demonstra a conveniência e a atratividade econômica para aproveitar as cinzas pesadas como solução para bases e sub-bases de pavimentos, nos casos de DMT com adequada viabilidade.

De modo a caracterizar a viabilidade econômica para aproveitar as cinzas pesadas, foi efetuada a comparação de custo entre as bases e sub-bases tradicionais geralmente empregadas no Brasil, e a solução de base e sub-base formada pela mistura ideal (mistura 15) que representa a mistura com melhor relação benefício-custo. As principais variáveis consideradas no custo das soluções cotejadas foram a DMT referente à aquisição do insumo principal da sua respectiva fonte de material até o local onde será usinada a mistura e, a DMT do local da mistura até o ponto de aplicação na pista.

O cenário A, considerado o cenário mais crítico, oferece viabilidade econômica para uma DMT superior a 250 km do local de obtenção da cinza pesada e leve até o local onde será usinada a mistura, em comparação com a solução de areia comercial, cinza leve e cimento nas mesmas proporções de materiais, todavia adquirindo a areia comercial a uma DMT máxima de 10 km. Tendo em vista as características físicas da areia, a mesma é considerada como um material naturalmente concorrente e similar às cinzas pesadas, sendo indispensável à comparação realizada. O aumento da DMT crescente em relação aos cenários A, B e C, indicando maior atratividade econômica para a mistura ideal, justifica-se na medida em que a cinza pesada é um material bem mais leve que a areia e os solos naturais, promovendo assim, uma redução no custo do seu transporte.

A análise plena dos resultados demonstra que a viabilidade econômica para o aproveitamento da cinza pesada tende a predominar em relação às demais soluções, sendo o grau de atratividade dependente de variáveis que ocorrem em cada projeto rodoviário, tais

como: a amplitude da DMT referente à aquisição do material principal até o local de usinagem da mistura, e se este material é produzido na obra ou é adquirido comercialmente. Por exemplo, a solução de base e sub-base de brita graduada usinada com Brita Comercial (BC), normalmente empregada no Estado do Rio Grande do Sul, apresenta baixa atratividade econômica quando cotejada com a solução de base e sub-base da mistura ideal (mistura 15), visto que no cenário intermediário B quando da aquisição da brita comercial a uma DMT máxima de 15 km, a mistura ideal oferece viabilidade econômica para uma DMT igual a 250 km do local de obtenção da cinza pesada e leve até o local de usinagem da mistura.

5.2 Sugestões para pesquisas futuras

No decorrer da presente pesquisa científica, foram percebidos alguns pontos com possibilidade de expansão para o estudo do aproveitamento das cinzas pesadas de carvão para a construção de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários. Tais sugestões de pesquisas futuras são apresentadas a seguir:

a) Ao misturar a cinza pesada com cimento, a presença de matéria orgânica na cinza pesada pode retardar o endurecimento ou ainda reduzir a sua resistência mecânica. De acordo com Senço (2001), a adição de teores da ordem de 2% de cal hidratada, reduz a ação da matéria orgânica no cimento, eliminando ou diminuindo o efeito citado. Torna-se então pertinente verificar a influência da adição de cal hidratada na mistura de cinza pesada, cinza leve e cimento, visando à redução da ação da matéria orgânica presente nas cinzas pesadas, no entanto, observando a viabilidade técnica, econômica e ambiental desta solução;
b) Estudar qualitativamente e quantitativamente os fatores que podem influenciar o desempenho mecânico da cinza pesada estabilizada quimicamente, tais como: teor de matéria orgânica, granulometria, parcela vítrea e cristalina, concentração de ferro na forma dos minerais hematita e magnetita, entre outros fatores. Posteriormente, efetuar a análise dos processos de beneficiamento e combustão do carvão fóssil, destacando as etapas dos processos que estão correlacionados com a variação dos fatores estudados, indicando possíveis melhorias nos processos analisados;
c) Determinar a resistência à tração e o módulo de resiliência ou elasticidade para a mistura ideal de cinza pesada, cinza leve e cimento definida na presente pesquisa e, ainda, para outras misturas de referência substituindo a cinza pesada ora por solo ora por areia. Com os resultados obtidos, verificar novamente a viabilidade técnica e

econômica da mistura ideal, tendo em vista o redimensionamento das camadas do pavimento pelo método da análise mecanística apresentada no Manual de Pavimentação DNIT IPR 719 (2006), a qual simula o desempenho dos pavimentos considerando a ruptura por fadiga das camadas estruturais que o compõem;

d) Verificar a viabilidade técnica, econômica e ambiental para a construção de bases e sub-bases de pavimentos através de um Concreto Compactado com Rolo (CCR), confeccionado por meio da adição de cinza leve ao cimento Portland, pela substituição do agregado miúdo convencional por cinza pesada e, pela substituição do agregado graúdo convencional por outros resíduos industriais, tais como: escória de alto forno de siderúrgica, agregado britado oriundo da construção civil e material fresado proveniente de camada asfáltica;

e) Analisar e destacar os cuidados necessários para o manejo dos resíduos de cinzas de carvão fóssil, durante a etapa de usinagem da mistura de cinza pesada, cinza leve e cimento e também ao longo da etapa de aplicação da camada de base e sub-base na pista. O escopo em foco é pertinente, uma vez que a Nota Técnica denominada Utilização de Resíduos Sólidos, a qual complementa a ABNT NBR 10004 (2004), enfatiza que a classificação ambiental dos resíduos sólidos, por si só, não deve impedir o estudo de alternativas para a sua utilização. No entanto, é essa classificação que orienta os cuidados especiais no gerenciamento do resíduo sólido, os quais podem inviabilizar sua utilização quando não se puder garantir segurança ao trabalhador, ao consumidor final ou ao meio ambiente;

f) Mediante os resultados dos ensaios de lixiviação e solubilização da mistura compactada de cinza pesada, cinza leve e cimento (mistura 16), observa-se que num período não conhecido, mas superior a 3 dias e inferior a 28 dias após a sua compactação na pista, a mistura não está ambientalmente inertizada. Considerando o exposto, torna-se relevante avaliar através de novos ensaios de lixiviação e solubilização para diferentes tempos de cura da mistura, qual é exatamente o período de tempo necessário para que a mistura seja inertizada após a sua compactação na pista.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil.** 3ª Edição. Brasília: ANEEL, 2008. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2014.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO M 145:** *classification of soils and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes*. Estados Unidos, 1973.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 4980-89:** *standard test methods for screening of pH in waste*. Estados Unidos, 2003.

ANDRADE, Leonardo de Brito. **Metodologia de avaliação para uso de cinzas pesadas de termelétricas como agregado natural para o concreto.** 2004. 245 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004:** resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10005:** procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006:** procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007:** amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10157:** aterros de resíduos perigosos – critérios para projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578:** cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653:** materiais pozolânicos – especificação. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5736:** cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459:** solo - determinação do limite de liquidez – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6467:** agregados - determinação do inchamento de agregado miúdo – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508:** grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm - determinação da massa específica – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180:** solo - determinação do limite de plasticidade – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181:** solo - análise granulométrica – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182:** solo - ensaio de compactação – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7251:** agregado em estado solto – determinação da massa unitária – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8418:** apresentação de projetos de aterros de resíduos industriais perigosos. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419:** apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895:** solo - índice de suporte Califórnia – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação asfáltica**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS, ABEDA, 2010.

CAMARA, Luiza; CASAGRANDE, Michéle Dal Toé; CUNHA, Patrícia Österreicher. **Estudo do comportamento de materiais alternativos e suas aplicações na engenharia geotécnica:** aplicação de cinzas de carvão como condicionadores de solo. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 19º, Rio de Janeiro, PUC, 2011. Disponível em: <http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio_resumo2011/relatorios/ctc/civ/CIV-Luiza%20Camara.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2013.

CHIES, Fradique; SILVA, Neli Iloni Warpechowski da; ZWONOK, Oleg. **Desenvolvimento de blocos e tijolos a partir de cinzas de fundo de carvão - CIPECAL.** 1ª Ed. Porto Alegre: ANTAC 2003, Coleção Habitare, v.4. Disponível em: <http://issuu.com/habitare/docs/coletanea_4>. Acesso em: 18 jun. 2013.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de rodovias 2013:** relatório gerencial. 1ª Edição. Brasília, 2013. Disponível em: <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/relGeral.aspx?origem=2>. Acesso em: 01 abr. 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER IPR-667:** método de projeto de pavimentos flexíveis. 3ª Edição. Rio de Janeiro, 1981.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ME-041/94:** solos - preparação de amostras para ensaios de caracterização – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ME-049/94:** solos - determinação do índice de suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ME-051/94:** solos -análise granulométrica – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ME-080/94:** solos -análise granulométrica por peneiramento – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ME-082/94:** solos – determinação do limite de plasticidade – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ME-093/94:** solos - determinação da densidade – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ME-122/94:** solos – determinação do limite de liquidez – método de referência e método expedito. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ME-152/95:** agregado em estado solto - determinação da massa unitária – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ME-192/97:** agregados - determinação do inchamento de agregado miúdo – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ME-201/94:** solo-cimento - compressão axial de corpos-de-prova cilíndricos – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ME-202/94:** solo-cimento - moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ME-216/94:** solo-cimento – determinação da relação entre e o teor de umidade e a massa específica aparente seca – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 139/2010-ES:** pavimentação – sub-base estabilizada granulometricamente – especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 140/2010-ES:** pavimentação - sub-base de solo melhorado com cimento – especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 141/2010-ES:** pavimentação - base estabilizada granulometricamente – especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 142/2010-ES:** pavimentação - base de solo melhorado com cimento – especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 143/2010-ES:** pavimentação - base de solo-cimento – especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 160/2012-ME:** solos - determinação da expansibilidade - método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 164/2013-ME:** solos - compactação utilizando amostras não trabalhadas - método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT IPR-719:** manual de pavimentação. 3ª Edição. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de custos rodoviários**. 3ª Edição. Rio de Janeiro, 2003, 7 v.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **SNV 2013:** sistema nacional de viação. 1ª Edição. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/sistema-nacional-de-viacao/snv-2013>. Acesso em: 01 abr. 2014.

DEPOI, Fernanda dos Santos; POZEBON, Dirce; KALKREUTH, Wolfgang; BURGUER, Talita. **Caracterização do carvão e suas cinzas provenientes da região sul do Brasil.** In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 30ª, São Paulo, 2008. Disponível em: <http://sec.sbq.org.br/cdrom/30ra/resumos/T0358-1.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2014.

DIAS, Cláudio Renato Castro. **Estudo de misturas de areia-asfalto e cinza-cal para emprego em pavimentos urbanos.** 2004. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2013**: ano base 2012. 1ª Edição. Rio de Janeiro: EPE, 2013. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2013.aspx>. Acesso em: 08 abr. 2014.

FALLAVENA, Vera L. V.; ABREU, Cristiane Soares de; INÁCIO, Taísi D.; PIRES, Marçal; AZEVEDO, Carla M. N.; FERNANDES, Iolanda D.; FERRET, Lizete S.; TARAZONA, M.

Rosa Martinez. **Caracterização detalhada de material de referência certificado de carvão brasileiro.** Revista Química Nova, Vol. XV, No 00, 1-6, 200, 2013. Disponível em: <http://quimicanova.sbq.org.br/qn/No%20Prelo/NT/NT12109.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2013.

FARIAS, Edney Rodrigues de. **A utilização de misturas solo/cinza pesada na pavimentação - análise de aspectos de comportamento mecânico e ambiental.** 2005. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

FUNGARO, Denise Alves. **Aplicação de material zeolítico preparado com cinzas de carvão no tratamento de águas contaminadas.** Revista Química Nova, Ano III, No 09, 12-13, 2004. Disponível em: <http://www.meiofiltrante.com.br/materias_ver.asp?action=detalhe&id=105&revista=n09#relative>. Acesso em: 06 jun. 2014.

FUNGARO, Denise Alves; SILVA, Magali Guilherme. **Utilização de zeólita preparada a partir de cinza residuária de carvão como adsorvedor de metais em água.** Revista Química Nova, Vol. XXV, No 06B, 1081-1085, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v25n6b/13122.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2014.

HIGASHI, Rafael Reis; LEANDRO, Rodrigo Pires; SANTOS, Glaci Trevisan; DIAS, Regina Davison. **Utilizações das cinzas pesadas provenientes da queima do carvão mineral:** aspectos tecnológicos e ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22º, Joinville, 2003. **Anais...** Joinville: Resumo dos Trabalhos Técnicos, 2003, p. 178-179.

HOPPE, Juarez Filho. **Sistemas cimento, cinza volante e cal hidratada:** mecanismos de hidratação, microestrutura e carbonatação do concreto**.** 2008. 298 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2008.

JÁ ENERGIA: especial energia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Revista JÁ Editora, 2013. Disponível em: <http://www.jornalja.com.br/wp-content/uploads/2013/07/Revista-JA-ESPECIAL-ENERGIA-MAIO-20137.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2014.

KERSTNER, Estela Knopp; MARIOT, Paulo; MARTINS, Vinícius; JUNIOR, Oswaldo Ando; BROGNI, Andréia; SCHAEFFER, Lírio. **Estudo da utilização de cinzas da combustão de carvão no processo de fabricação de componentes por metalurgia do pó convencional.** In: CONGRESSO ABM: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 66º, São Paulo, 2011. **Anais...** São Paulo: Relatório Anual, 2011, p. 2989-2999.

KNIESS, Cláudia Terezinha; KUHNEN, Nivaldo Cabral; RIELLA, Humberto Gracher; NEVES, Etney; BORBA, Cristina Doneda Gomes de. **Estudo do efeito da quantidade de óxido de ferro em cinzas pesadas de carvão mineral na obtenção de vitrocerâmicos.** Revista Química Nova, Vol. XXV, No 06, 926-930, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v25n6a/12767.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2014.

KOLLING, Evandro Marcos; TROGELLO, Emerson; MODOLO, Adriano. **Avaliação da resistência mecânica de diferentes traços de solo-cimento estabilizados com areia.** Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.7.3, 185–191, 2012. Disponível em: <www.dema.ufcg.edu.br>. Acesso em: 26 mai. 2013.

KREUZ, Anderson Luiz. **Utilização de cinzas pesadas de termelétricas na substituição de cimento e areia na confecção de concretos.** 2002. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

LEANDRO, Rodrigo Pires. **Estudo laboratorial acerca da possibilidade de aproveitamento da cinza pesada de termelétrica em bases e sub-bases de pavimentos flexíveis.** 2005. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

LEANDRO, Rodrigo Pires; FABBRI, Glauco Tulio Pessa. **Aproveitamento da cinza pesada de carvão mineral na construção de bases e sub-bases de pavimentos flexíveis.** In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 36ª, Curitiba, 2005. Disponível em: <http://www.cbtu.gov.br/monografia/2009/trabalhos/artigos/infraestrutura/__4_131_AC.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2013.

LOPES, Louise dos Santos Erasmi. **Análise do comportamento mecânico e ambiental de misturas solo-cinzas de carvão mineral para camadas de base de pavimentos.** 2011. 208 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

MOREIRA, Agnário dos Santos. **Avaliação da utilização de resíduo gerado em sistemas úmidos de filtragem de particulados de fundição como matéria prima na construção civil.** 2006. 78 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

NARDI, José Vidal. **Delineamento e otimização de misturas pozolânicas.** 2004. 88 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

OLIVEIRA, Marcos L. S.; WARD, Colin R.; FRENCH, David; HOWER, James C.; QUEROL, Xavier; SILVA, Luis Felipe Oliveira. ***Mineralogy and leaching characteristics of beneficiated coal products from Santa Catarina, Brazil.*** *International Journal of Coal Geology*, 94 (2012), 314-325. Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/ijcoalgeo>. Acesso em: 10 jun. 2013.

OLIVEIRA, Priscila Vargas de; CASAGRANDE, Michéle Dal Toé; LOPES, Louise dos Santos Erasmi. **Aplicabilidade de resíduos e rejeitos ambientais para aproveitamento em pavimentação:** caracterização física e química de misturas solo-cinza de carvão mineral. In: REGEO 2011 - VII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL E GEOSSINTÉTICOS 2011 – VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOSSINTÉTICOS, 7º, 6º, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio_resumo2011/relatorios/ctc/civ/CIV-Priscila%20Oliveira.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2013.

PINTO, Salomão; PREUSSLER, Ernesto Simões. **Pavimentação rodoviária**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: IBP, 2010.

POZZOBON, Cristina Elisa. **Aplicações tecnológicas para a cinza do carvão mineral produzida no Complexo Termelétrica Jorge Lacerda.** 1999. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

PRESS, Frank; SIEVER, Raymond; GROTZINGER, John; JORDAN, Thomas. **Para entender a Terra.** 4ª Ed. Tradução de Rualdo Menegat. Porto Alegre: Bookman, 2006.

ROCHA, Janaíde Cavalcante; CHERIAF, Malik. **Aproveitamento de resíduos na construção.** 1ª Ed. Porto Alegre: ANTAC 2003, Coleção Habitare, v.4. Disponível em: <http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/127.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2014.

ROHDE, Geraldo Mario; ZWONOK, Oleg; CHIES, Fradique; SILVA, Neli Iloni Warpechowski da. **Cinzas de carvão fóssil no Brasil:** aspectos técnicos e ambientais. 1ª Ed. Porto Alegre: CIENTEC, vol. 1, 202 p, 2006.

ROSA, Amanda Dalla. **Estudo dos parâmetros-chave no controle da resistência de misturas solo-cinza-cal.** 2009. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SABEDOT, Sydney; SUNDSTRON, Marcelo Garcia; BÖER, Sabrine Cássia de, SAMPAIO, Carlos Hoffmann; DIAS, Rosane Grings de Oliveira, RAMOS, Claudete Gindri. **Caracterização e aproveitamento de cinzas da combustão de carvão mineral geradas em usinas termelétricas.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARVÃO MINERAL, 3º, Gramado, 2011. Disponível em: <http://www.portalsatc.com/site/adm/arquivos/10743/030520121659171.PDF>. Acesso em: 18 jun. 2013.

SANTOS, Willian dos. **Avaliação da cinza "pesada" gerada no complexo termoelétrico Jorge Lacerda para uso em aterros de trecho da duplicação da BR-101.** 2008. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2008.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de técnicas de pavimentação, volume II**. 1ª Ed. São Paulo: PINI, 2001.

SILVA, Alexandre José da. **Estudo da viabilidade de utilização da cinza pesada em adição ao concreto compactado com rolo (CCR) destinado a camada de base de pavimentos híbridos.** 2006. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SILVA, Mauro Valério da. **Desenvolvimento de tijolos com incorporação de cinzas de carvão e lodo provenientes de estação de tratamento de água.** 2011. 131 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais) – Universidade Federal de São Paulo (IPEN), São Paulo, 2011.

SUNDSTRON, Marcelo Garcia. **Caracterização e avaliação das cinzas da combustão de carvão mineral geradas na região do Baixo Jacuí – RS.** 2012. 121 f. Dissertação (Mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais em Mineração) – Centro Universitário La Salle, Canoas, 2012.

SZELIGA, Lucianna; ARAÚJO, Zalder Montenegro de; CASAGRANDE, Michéle Dal Toé; LOPES, Louise dos Santos Erasmi. **Aplicabilidade de resíduos e rejeitos ambientais para aproveitamento em pavimentação:** caracterização mecânica de misturas solo-cinza de carvão mineral. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 19º, Rio de Janeiro, PUC, 2011.

Disponível em: <http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio_resumo2011/Relatorios/CTC/CIV/CIV-Lucianna%20Szeliga%20e%20Zalder%20Montenegro%20de%20Ara%C3%BAjo.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2013.

TRICHÊS, Glicério; FARIAS, Edney Rodrigues de; MACCARINI, Marciano. **Análise dos aspectos mecânicos da utilização de misturas solo-cinzas-pesadas na pavimentação rodoviária.** In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTE, 20º, Brasília, 2006. **Anais...** Brasília: Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2006, Kako Gráfica e Editora, 2006, vol. 2, p. 1291-1302.

TRICHÊS, Glicério; SILVA, Alexandre José da. **Estudo da viabilidade técnica de utilização da cinza pesada em adição ao concreto compactado com rolo para aplicação em camadas de base de pavimentos compostos**. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 36ª, Curitiba, 2005. Disponível em: <http://rodoviasverdes.ufsc.br/files/2010/03/ESTUDO-DA-VIABILIDADE-TECNICA-DE-UTILIZA%C3%87%C3%83O-DA-CINZA-PESADA-EM-ADI%C3%87%C3%83O-AO-CONCRETO-COMPACTADO-COM-ROLO-PARA-APLICA%C3%87%C3%83O-EM-CAMADAS-DE-BASE-DE-PAVIMENTOS-COMPOSTOS.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Carvão e meio ambiente**. 1ª Ed. Porto Alegre: Ed. Universidade, p.467, 2000.

VIZCARRA, Gino Omar Calderón. **Aplicabilidade de cinzas de resíduo sólido urbano para base de pavimentos.** 2010. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

VIZCARRA, Gino Omar Calderón; SZELIGA, Lucianna; CASAGRANDE, Michéle Dal Toé; MOTTA, Laura Maria Goretti da. **Aplicabilidade de cinzas de incineração de resíduos sólidos urbano em camadas de bases de pavimentos.** In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 40ª, Rio de Janeiro, 2010. Anais... Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação, ABP, 2010.

APÊNDICE A – Insumos básicos: custo horário de mão-de-obra do SICRO2/RS

Código	Denominação	Valores (R$)		
		Mensal	Encargos	Custo Horário
T000	Salário Mínimo	724,00	612,93	6,0770
T301	Motorista de veículo leve	955,68	809,07	8,0216
T302	Motorista de caminhão	1.093,24	925,53	9,1762
T303	Motorista de veículo especial	1.267,00	1.072,64	10,6348
T311	Operador de equipamento leve 1	1.064,28	901,01	8,9331
T312	Operador de equipamento leve 2	1.172,88	992,96	9,8447
T313	Operador de equipamento pesado	1.621,76	1.372,98	13,6125
T314	Operador de equipamento especial	1.621,76	1.372,98	13,6125
T401	Pré-marcador	1.064,28	901,01	8,9331
T501	Encarregado de turma	1.947,56	1.648,80	16,3471
T511	Encarregado de pavimentação	3.127,68	2.647,89	26,2526
T512	Encarregado de britagem	3.127,68	2.647,89	26,2526
T601	Blaster	1.947,56	1.648,80	16,3471
T602	Montador	1.151,16	974,57	9,6624
T603	Carpinteiro	1.151,16	974,57	9,6624
T604	Pedreiro	1.151,16	974,57	9,6624
T605	Armador	1.151,16	974,57	9,6624
T606	Ferreiro	1.151,16	974,57	9,6624
T607	Pintor	1.151,16	974,57	9,6624
T608	Soldador	1.672,44	1.415,88	14,0378
T609	Jardineiro	897,76	760,04	7,5355
T610	Serralheiro	1.151,16	974,57	9,6624
T701	Servente	825,36	698,74	6,9277
T702	Ajudante	825,36	698,74	6,9278
T801	Perfurador de tubulão	1.151,16	974,57	9,6625

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**Custo Horário da Mão-de-obra (MDO)** **Centro Universitário La Salle – Unilasalle**

APÊNDICE B – Insumos básicos: custo horário de equipamentos do SICRO2/RS

Código	Equipamento	Custo Horário (R$)	
		Improdutivo	Operativo
A018	Tanque de asfalto para chassis de caminhão	0,0000	11,8088
E001	Trator de esteiras com lâmina (67 kW)	13,6125	126,7421
E002	Trator de esteiras com lâmina (108 kW)	13,6125	165,3725
E003	Trator de esteiras com lâmina (259 kW)	13,6125	368,4182
E005	Motoscraper (294 kW)	13,6125	419,9498
E006	Motoniveladora (103 kW)	13,6125	149,7992
E007	Trator agrícola (74 kW)	9,8447	56,0635
E009	Carregadeira de pneus 1,80 m³ (96 kW)	13,6125	105,4925
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	13,6125	192,6248
E011	Retroescavadeira de pneus (56 kW)	13,6125	80,9519
E013	Rolo compact pé-de-carn. autop. 11,25 t vibrat.(82 kW)	9,8447	108,0926
E014	Trator de esteiras c/ escarificador (259 kW)	13,6125	378,9162
E016	Carregadeira de pneus 1,91 m³ (113 kW)	13,6125	119,8807
E062	Escavadeira hidráulica - com esteira (200 kW)	13,6125	229,5125
E063	Escavad. hidrául c/ est. 600L longo alcance (103 kW)	13,6125	126,1345
E065	Draga de sucção p/ extração de Areia de 6" (100 kW)	0,0000	98,1033
E066	Chata c/ rebocador 25 m³ (100 kW)	10,6347	137,1461
E101	Grade de discos - GA 24 x 24	0,0000	2,8341
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	9,8447	101,8948
E104	Rolo compactador tanden vibratório autop. 7,7 t	9,8447	85,2407
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	9,8447	105,4514
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	13,6125	87,0598
E107	Vassoura mecânica rebocável	0,0000	4,6500
E108	Distribuidor de agregados rebocável	0,0000	3,7648
E109	Distribuidor de agregados autop. (103 kW)	13,6125	141,8502
E110	Tanque de estocagem de asfalto 30.000 L	0,0000	18,5906
E111	Equip. distrib. asfalto montado em caminh. (175 kW)	9,1763	109,0361
E112	Aquecedor de fluido térmico (12 kW)	0,0000	95,6683
E113	Usina de asfalto a quente 40/60 t/h (128 kW)	0,0000	219,6628
E114	Vibro-acabadora de asfalto - sobre pneus (74 kW)	13,6125	135,9193
E115	Usina misturadora - PMF 60 t/h (43 kW)	13,6125	39,9420
E116	Usina misturadora - PMF 30/60 t/h (20 kW)	13,6125	25,3220
E117	Rolo compact. tanden estático autop. 8,9 t (43 kW)	9,8447	53,8957
E118	Rolo compactador tanden vibratório 1,6 t (17 kW)	9,8447	37,7124
E119	Rolo compact. de pneus estat. autop. 21,0 t (74 kW)	9,8447	89,1522
E121	Rolo compactador liso vibratório autop. 7,0 t	9,8447	72,1823
E122	Equip. distrib. lama asf. montado em caminh. (210 kW)	9,1763	151,6474
E123	Caldeira de asfalto rebocável 1200 L (5 kW)	0,0000	10,0068
E126	Fresadora a frio (155 kW)	13,6125	374,7372
E127	Fresadora a frio (410 kW)	13,6125	872,9479
E129	Recicladora de pavimento a frio (498 kW)	13,6125	771,9458
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	13,6125	518,2071
E139	Rolo compactador liso autop. vibratório (82 kW)	9,8447	94,5687
E142	Rolo compactador de pneus (74 kW)	9,8447	97,0738
E147	Usin. de asf. a quente 90/120 t/h c/ filtro manga (188 kW)	13,6125	261,9701
E149	Vibro-acabadora de asfalto sobre esteiras (82 kW)	13,6125	151,0681
E156	Carregadeira de pneus c/ vassoura SPS 155 DA AGF (45 kW)	13,6125	84,2925
E160	Fresad. e distribuidora de solo para regular subleito (243 kW)	13,6125	340,2895
E161	Equip. distr.. lama asf. Rupt. Contr. acoplado a cav. mec. (254 kW)	10,6347	265,1569
E201	Compressor de ar 295 PCM	9,8447	62,3806
E202	Compressor de ar 400 PCM (89 kW)	9,8447	67,2193
E203	Compressor de ar 762 PCM (155 kW)	9,8447	113,4830
E204	Martelete - perfuratriz manual	8,9332	10,1369
E205	Perfuratriz sobre esteiras - Crawler Drill	9,8447	29,5681
E208	Compressor de ar 200 PCM (56 kW)	9,8447	41,5864
E209	Martelete - rompedor 28 kg	8,9332	10,1654
E210	Martelete - rompedor 33 kg	8,9332	10,1445
E211	Máq. p/ pintura-compres. de ar p/ pintura c/ filtro (2 kW)	0,0000	1,0758
E223	Compressor de ar 360 PCM (82 kW)	9,8447	60,3299
E225	Conjunto de britagem 80 m³/h (276 kW)	13,6125	492,0860
E226	Conjunto de britagem 80 m³/h para rachão (120 kW)	13,6125	175,9875
E301	Betoncira 400 L (7 kW)	9,8447	12,8384
E302	Betoneira 400 L (4 kW)	9,8447	11,7240
E303	Betoneira 750 L (9 kW)	9,8447	17,5262
E304	Transportador Manual-Carrinho de mão 80 L	0,0000	0,1424
E305	Transportador Manual-Gerica 180 L	0,0000	0,8650
E306	Vibrador de concreto - de imersão (2 kW)	8,9332	10,0476
E307	Fábric. pré-moldado concr.-tubo Ø=0,20m M/F (2 kW)	0,0000	4,6444

Código	Equipamento	Custo Horário (R$)	
		Improdutivo	Operativo
E308	Fábric. pré-moldado concr.-tubo Ø=0,30m M/F (2 kW)	0,0000	5,0787
E309	Fábric. pré-moldado concr.-tubo Ø=0,40m M/F (2 kW)	0,0000	5,3870
E310	Fábric. pré-moldado concr.-tubo Ø=0,60m M/F (2 kW)	0,0000	6,4072
E311	Fábric. pré-moldado concr.-tubo Ø=0,80m M/F (2 kW)	0,0000	6,8632
E312	Fábric. pré-moldado concr.-tubo Ø=1,00m M/F (2 kW)	0,0000	6,7412
E313	Fábric. pré-moldado concr.-tubo Ø=1,20m M/F (2 kW)	0,0000	7,2797
E314	Fábric. pré-moldado concr.-tubo Ø=1,50m M/F (2 kW)	0,0000	6,9020
E316	Fábric. pré-moldado concreto-inst. compl.-mourão (2 kW)	0,0000	2,4681
E317	Fábric. pré-moldado concreto-inst. compl.-balizador (2 kW)	0,0000	2,9350
E318	Fábric. pré-moldado concreto-inst. compl.-guarda-corpo (2 kW)	0,0000	3,6343
E330	Espalhadora de concreto (172 kW)	13,6125	271,2660
E331	Acabadora de concreto - com forma deslizante (205 kW)	13,6125	382,2662
E332	Texturizadora e Lançadora - sem estação meteorológica (57 kW)	9,8447	103,3660
E333	Serra de Disco Diamantado - para concreto (10 kW)	8,9332	24,7071
E334	Seladora de juntas (6 kW)	8,9332	28,3401
E335	Central de Concreto-180 m³/h-dosadora e misturadora (149 kW)	13,6125	438,0720
E336	Serra de Disco Diamantado-serra p/ cortar piso/asfalto (6 kW)	0,0000	5,3182
E337	Régua vibratória - 4,25m (4 kW)	8,9332	11,7746
E338	Serra de juntas para concreto (6 kW)	8,9332	19,4151
E339	Fábric. Pré-Moldado Concreto-placas p/ pavimento (2 kW)	0,0000	4,0398
E340	Jateadora de areia - pressurizado	8,9332	12,1631
E343	Betoneira - 600 L (10 kW)	9,8447	20,0890
E400	Caminhão basculante 5 m³ - 8,8 t (136 kW)	9,1763	73,1761
E401	Caminhão Carroceria-caminhão c/ caçamba térm. (136 kW)	9,1763	83,0471
E402	Caminhão Carroceria fixa - de madeira 15 t (210 kW)	9,1763	113,1892
E403	Caminhão basculante 6 m³ - 10,5 t (175 kW)	9,1763	102,5406
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	9,1763	117,5590
E405	Caminhão basculante p/ rocha 8 m³ - 13,0 t (210 kW)	9,1763	121,9407
E406	Caminhão tanque 6.000 L (136 kW)	9,1763	83,7310
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	9,1763	117,2250
E408	Caminhão carroceria fixa - 4 t (115 kW)	9,1763	54,9046
E409	Caminhão carroceria fixa - 9 t (136 kW)	9,1763	80,9493
E410	Caminhão basculante 4 m³ - 7,1 t (136 kW)	9,1763	78,3695
E411	Cavalo mecânico c/ reboque 29,5 t	10,6347	154,6267
E412	Veículo leve automóvel até 100 HP	8,0216	45,9641
E416	Veículo leve pick up 4 x 4 (103 kW)	8,0216	51,6432
E421	Caminhão tanque 13.000 L (210 kW)	9,1763	117,2924
E422	Caminhão tanque 8.000 L (136 kW)	9,1763	82,7131
E427	Caminhão betoneira 5 m³ - 11,5 t (205 kW)	9,1763	135,1184
E432	Caminhão basculante 40,0 t (294 kW)	9,1763	173,1433
E433	Caminhão basculante p/ rocha 18,0 t (191 kW)	9,1763	179,6660
E434	Caminhão carroceria fixa c/ guindauto 6 txm (136 kW)	9,1763	81,4351
E501	Grupo gerador 36/40 kVA (32 kW)	9,8447	28,2785
E502	Grupo gerador 136/150 kVA (120 kW)	9,8447	72,8308
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	9,8447	86,4573
E504	Grupo gerador 288 kVA (230 kW)	9,8447	127,0842
E505	Grupo gerador 17,0/15,5 kVA	9,8447	19,2459
E507	Grupo gerador 100/110 kVA (88 kW)	9,8447	55,2244
E508	Grupo gerador manual/elétrico (14 kW)	9,8447	16,5160
E509	Grupo gerador 32,0 kVA (29 kW)	9,8447	26,0737
E601	Roçadeira em trator de pneus (74 kW)	9,8447	57,4008
E602	Roçadeira em micro trator (10 kW)	9,8447	19,1639
E901	Campânula de ar comprimido 3 m³	0,0000	8,9540
E903	Bate-estacas de gravidade p/ 3.500 a 4.000 kg (160 kW)	9,8447	123,7109
E904	Máquina de Bancada - serra circular Ø = 12" (4 kW)	0,0000	1,7855
E905	Máquina Manual - talha guincho para 3 t	0,0000	0,2886
E906	Compactador Manual - soquete vibratório (2 kW)	8,9332	12,7561
E907	Conjunto Moto-Bomba - com motor (11 kW)	0,0000	15,8645
E908	Máquina para Pintura - Pintura a frio (164 kW)	9,1763	106,9302
E909	Equip. para Hidrosemeadura - 5500 L (136 kW)	9,1763	103,1453
E911	Tripé-Sonda com motor (20 kW)	0,0000	28,8798
E912	Máquina Manual - furadeira elétrica de Impacto (1 kW)	0,0000	0,4153
E914	Compactador Manual - placa vibratória c/ motor (3 kW)	8,9332	11,5525
E916	Máquina Manual - Moto serra nº 8	8,9332	16,0271
E917	Máq. de Bancada - C-6A universal de corte p/ chapa (4 kW)	8,9332	13,1932
E918	Máquina de Bancada - prensa excêntrica (1 kW)	0,0000	5,4014
E919	Máquina de Bancada - guilhotina (4 kW)	0,0000	6,3315
E920	Máquina para Pintura - p/ aplicação de termoplástico (136 kW)	9,1763	129,6882

Código	Equipamento	Custo Horário (R$)	
		Improdutivo	Operativo
E922	Martelete - perfurador / rompedor elétrico (1 kW)	8,9332	9,6316
E923	Máquina Manual - lixadeira elétrica angular Ø = 7" (2 kW)	0,0000	0,9099
E924	Equip. para Solda-transformador solda elétr. 250amp (8 kW)	0,0000	2,8346
E925	Aplicador de Material Termoplástico-Kit p/ aplic. em alto relevo	0,0000	22,2277

APÊNDICE C – Insumos básicos: custo unitário de materiais do SICRO2/RS

Código	Material	Unidade	Preço Unitário (R$)
AM01	Aço Ø = 4,2 mm CA 25	kg	3,4800
AM02	Aço Ø = 6,3 mm CA 25	kg	3,4800
AM03	Aço Ø = 10,0 mm CA 25	kg	3,4800
AM04	Aço Ø = 6,3 mm CA 50	kg	3,6500
AM05	Aço Ø = 10,0 mm CA 50	kg	3,6500
AM06	Aço Ø = 4,2 mm CA 60	kg	3,0500
AM07	Aço Ø = 5,0 mm CA 60	kg	3,0500
AM08	Aço Ø = 6,0 mm CA 60	kg	3,0500
AM09	Mandíbula móvel para britador 6240C	un/h	16,5105
AM10	Mandíbula fixa para britador 6240C	un/h	28,7294
AM11	Revestimento móvel para britador 60TS	un/h	7,7556
AM12	Revestimento fixo para britador 60TS	un/h	7,3260
AM13	Aço Ø = 12,5 mm (1/2") CA 50	kg	3,6500
AM25	Mandíbula móvel para britador C96 Standart	un/h	34,7966
AM26	Mandíbula fixa para britador C96 Standart	un/h	23,8110
AM27	Manta HP200	un/h	31,0154
AM28	Revestimento bojo STD HP200	un/h	22,3409
AM29	Cunha lateral superior C96	un/h	20,1747
AM30	Cunha lateral inferior C96	un/h	21,4051
AM35	Brita 1	m³	57,1300
AM36	Brita 2	m³	57,1300
AM37	Brita 3	m³	57,1300
F801	Bomba hidráulica alta pressão MAC	h	39,3200
F802	Bomba elétrica para injeção de nata MAC	h	28,1388
F803	Macaco para protensão MAC 7	h	37,4162
F804	Macaco para protensão MAC 12	h	40,1900
F805	Macaco para protensão MAC 4	h	35,7775
F807	Bomba hidráulica alta pressão STUP	h	61,6025
F808	Bomba elétrica para injeção de nata STUP	h	63,7212
F809	Macaco para protensão STUP	h	57,8638
F810	Macaco para protensão STUP	h	66,6888
F811	Macaco para protensão STUP	h	63,2850
F812	Macaco para protensão STUP	h	55,8462
F813	Macaco para protensão de tirante Ø = 32 mm	h	27,7338
F814	Injeção de nata de cimento	m	11,8300
F943	Terra armada - moldes metálicos	m³	55,5600
M001	Gasolina	L	2,9400
M002	Óleo diesel	L	2,1200
M003	Óleo combustível 1 A	L	1,8700
M004	Álcool	L	2,4200
M005	Energia elétrica	kWh	0,4000
M101	Cimento asfáltico CAP 50/70	t	0,0000
M102	Cimento asfáltico CAP-30/45	t	0,0000
M103	Asfalto diluído CM-30	t	0,0000
M104	Emulsão asfáltica RR-1C	t	0,0000
M105	Emulsão asfáltica RR-2C	t	0,0000
M107	Emulsão asfáltica RM-1C	t	0,0000
M108	Emulsão asfáltica RM-1C com polímero	t	0,0000
M109	Emulsão asfáltica RL-1C	t	0,0000
M110	Emulsão com polímero para micro-revestimento à frio	t	0,0000
M115	Adiflex	t	0,0000
M116	Adisol	t	0,0000
M118	Cimento asfáltico CAP 50/70 - asfalto borracha	t	0,0000
M201	Cimento Portland CP II - 32 (a granel)	kg	0,3100
M202	Cimento Portland CP II - 32	kg	0,5010
M203	Tubo de concreto armado Ø=0,60m PA-1	m	101,1500
M204	Tubo de concreto armado Ø=0,80m PA-1	m	167,8700
M205	Tubo de concreto armado Ø=1,00m PA-1	m	269,8800
M206	Tubo de concreto armado Ø=1,20m PA-1	m	353,9000
M207	Tubo de concreto armado Ø=1,50m PA-1	m	627,3800
M208	Tubo de concreto armado Ø=0,60m PA-2	m	122,8400
M209	Tubo de concreto armado Ø=0,80m PA-2	m	215,1700
M210	Tubo de concreto armado Ø=1,00m PA-2	m	312,5700
M211	Tubo de concreto armado Ø=1,20m PA-2	m	446,3100
M212	Tubo de concreto armado Ø=1,50m PA-2	m	713,4400
M213	Tubo de concreto armado Ø=0,60m PA-3	m	227,6800
M214	Tubo de concreto armado Ø=0,80m PA-3	m	272,9400
M215	Tubo de concreto armado Ø=1,00m PA-3	m	411,7900
M216	Tubo de concreto armado Ø=1,20m PA-3	m	542,7800

Código	Material	Unidade	Preço Unitário (R$)
M217	Tubo de concreto armado Ø=1,50m PA-3	m	796,9500
M218	Tubo de concreto armado Ø=0,60m PA-4	m	193,1100
M219	Tubo de concreto armado Ø=0,80m PA-4	m	334,6500
M220	Tubo de concreto armado Ø=1,00m PA-4	m	439,7300
M221	Tubo de concreto armado Ø=1,20m PA-4	m	631,0700
M222	Tubo de concreto armado Ø=1,50m PA-4	m	763,7300
M307	Cordoalha CP-190 RB Ø = 12,7 mm	kg	6,3900
M319	Arame recozido nº 18	kg	6,2400
M320	Pregos de ferro 18 x 30	kg	8,0000
M321	Arame farpado nº 16 galvanização simples	m	0,3909
M322	Grampo para cerca galvanizado 1 x 9	kg	4,4500
M324	Pórtico metálico (15 a 17 m de vão)	un	31.341,9000
M325	Trilho metálico TR-37 (usado)	kg	3,6400
M326	Série de brocas S-12 Ø = 22 mm	un	725,7600
M328	Luva de emenda Ø = 32 mm	un	69,9200
M330	Calha metálica semi-circular Ø = 40 cm	m	153,2900
M331	Parafuso para fixação de calha metálica (1/2" x 1")	un	3,0800
M332	Parafuso 1/2" x 3" com porca	kg	2,4000
M334	Parafuso zincado com fenda 1 1/2" x 3/16"	un	0,0700
M335	Parafuso zincado francês 4" x 5/16"	un	0,8200
M338	Tubo de ferro galvanizado Ø = 3/4"	m	11,4667
M339	Cantoneira de ferro 2 1/2" x 2 1/2" x 3/8"	kg	3,6500
M340	Tampão de ferro fundido	un	362,0700
M341	Defensa metálica maleável simples	mod	960,0000
M342	Defensa metálica maleável dupla	mod	1.200,0000
M343	Defensa metálica semi-maleável simples	mod	675,2000
M344	Defensa metálica semi-maleável dupla	mod	1.072,0000
M345	Chapa de aço nº 28 fina galvanizada	kg	4,0500
M346	Chapa de aço nº 16 (tratada)	m²	64,1700
M347	Dente para fresadora W-1000 L	un	18,5000
M348	Porta dente para fresadora W-1000 L	un	200,4100
M349	Dente para fresadora W-1900	un	21,4700
M350	Porta dente para fresadora W-1900	un	210,3000
M351	Estrutura (tunnel liner) Ø = 1,60 m - galvanizada	m	1.729,0000
M352	Estrutura (tunnel liner) Ø = 2,00 m - galvanizada	m	2.385,0000
M353	Estrutura (tunnel liner) Ø = 1,60 m - epoxy	m	1.816,0000
M354	Estrutura (tunnel liner) Ø = 2,00 m - epoxy	m	2.391,0000
M355	Chapa mult. Ø = 1,60 m - revestimento galvanizado	m	923,4000
M356	Chapa mult. Ø = 2,00 m - revestimento galvanizado	m	1.291,7000
M357	Chapa mult. Ø = 1,60 m - revestimento epoxy	m	923,4000
M358	Chapa mult. Ø = 2,00 m - revestimento epoxy	m	1.291,7000
M359	Perfil "I" W 254mm X 37,80 kg/m	kg	3,9900
M360	Bueiro Chapa mult. Ø = 3,05 m - e = 2,70 mm	m	3.558,8000
M361	Estrutura tunnel liner Ø = 1,20 m galvanizada	m	1.287,0000
M362	Estrutura tunnel liner Ø = 1,20 m epoxy	m	1.352,0000
M363	Bloco de desgaste para recicladoras	un	1.204,5400
M364	Porta dentes para recicladoras	un	276,6200
M365	Dente de corte (W6/22) para recicladoras	un	48,6700
M366	Dente de corte (W7/22) para recicladoras	un	64,9100
M370	Bainha metálica diâmetro interno = 45 mm MAC	m	17,7800
M371	Bainha metálica diâmetro interno = 60 mm MAC	m	28,8900
M372	Bainha metálica diâmetro interno = 55 mm MAC	m	23,3400
M373	Bainha metálica diâmetro interno = 70 mm MAC	m	30,0000
M374	Ancoragem para cabo 4V Ø − 1/2" MAC	cj	374,8100
M375	Ancoragem para cabo 6V Ø = 1/2" MAC	cj	468,0300
M376	Ancoragem para cabo 7V Ø = 1/2" MAC	cj	593,8700
M377	Ancoragem para cabo 12V Ø = 1/2" MAC	cj	925,9200
M378	Apoio do porta dente da fresadora W-200	un	872,0200
M380	Bainha metálica Ø = 45 mm STUP	m	21,2700
M381	Bainha metálica Ø = 60 mm STUP	m	30,7000
M382	Bainha metálica Ø = 55 mm STUP	m	25,9700
M383	Bainha metálica Ø = 70 mm STUP	m	34,2300
M384	Ancoragem para cabo 4V Ø = 1/2" STUP	cj	374,8100
M385	Ancoragem para cabo 6V Ø = 1/2" STUP	cj	468,0300
M386	Ancoragem para cabo 7V Ø = 1/2" STUP	cj	593,8700
M387	Ancoragem para cabo 12V Ø = 1/2" STUP	cj	925,9200
M390	Porca de ancoragem Ø = 32 mm	un	26,9800
M391	Contra porca h = 35 mm Ø = 32 mm	un	33,2300
M392	Aço ST 85/105 Ø = 32 mm	m	77,5700

Código	Material	Unidade	Preço Unitário (R$)
M393	Placa de ancoragem - 200 x 200 x 38 mm	un	198,3500
M394	Bainha metálica Ø = 40 mm	m	13,4500
M401	Pontaletes Ø = 15 cm (tronco p/ esc.)	m	5,2800
M402	Pontaletes Ø = 20 cm (tronco p/ esc.)	m	5,8500
M403	Mourão de madeira h = 2,10 m Ø = 10 cm	un	12,7700
M404	Mourão de madeira h = 2,20 m Ø = 15 cm	un	11,6200
M406	Caibros de 7,5 cm x 7,5 cm	m	5,1500
M407	Tábua de 1ª 2,5 cm x 15,0 cm	m	3,4300
M408	Tábua de 3ª 2,5 cm x 30,0 cm	m	6,8600
M410	Compensado resinado de 17 mm	m²	14,1653
M411	Compensado plastificado de 17 mm	m²	12,6936
M412	Gastalho 10,0 x 2,0 cm	m	1,8300
M413	Gastalho 10,0 x 2,5 cm	m	1,8300
M414	Pranchão 7,5 x 30,0 cm	m	38,9900
M415	Tábua 2,5 x 22,5 cm	m	6,8600
M417	Suporte Ecológico sinalização quadrado 8cm	m	73,2600
M418	Suporte Ecológico sinalização Ø=6,5cm	m	71,7400
M501	Dinamite a 60% (gelatina especial)	kg	8,0500
M503	Espoleta comum nº 8	un	2,2900
M505	Cordel detonante NP 10	m	2,8000
M507	Retardador de cordel	un	21,1700
M508	Estopim	m	2,5900
M601	Tinta refletiva acrílica	L	22,2178
M602	Adubo NPK (4.14.8)	kg	0,7800
M603	Inseticida	L	0,0000
M604	Aditivo plastiment BV-40	kg	4,2598
M605	Cola para tubo PVC	g	0,0343
M606	Tinta anti-corrosiva	L	9,2011
M607	Óleo de linhaça	L	4,9892
M608	Detergente	L	2,9706
M609	Tinta esmalte sintético fosco	L	13,3944
M611	Redutor tipo 2002 primeira qualidade	L	8,0961
M612	Lixa para ferro nº 100	un	1,0300
M614	Tinta base resina acrílica emulsionada com água	L	13,3583
M615	Microesferas PRE-MIX	kg	6,0100
M616	Microesferas DROP-ON	kg	5,7900
M617	Massa termoplástica para extrusão	kg	8,5396
M618	Massa termoplástica para aspersão	kg	8,5396
M619	Cola poliester	kg	16,3700
M620	Protetor de cura de concreto	kg	3,6306
M621	Desmoldante	L	0,1148
M622	Interplast N	kg	4,8400
M623	Gás propano	kg	2,7100
M624	Tinta para pré-marcação	L	15,4689
M625	Acetileno	kg	22,0300
M630	Termoplástico pré-formado	m²	93,6100
M700	Tijolo comum (5,5 x 10 x 20) cm	un	0,4423
M702	Cal hidratada	kg	0,4300
M703	Tijolo 20 x 30 cm	un	0,7050
M704	Areia lavada	m³	67,7500
M705	Pó de pedra	m³	56,1700
M709	Brita corrida	m³	38,7800
M710	Pedra de mão	m³	61,7900
M715	Pó calcário dolomítico	kg	0,1300
M801	Mourão de concreto curvo para cercas	un	24,3900
M802	Mourão de concreto reto para cercas	un	24,3900
M901	Aparelho de apoio neoprene fretado	dm³	62,8800
M902	Tubo de PVC Ø = 75 mm	m	7,3783
M903	Geotêxtil não tecido agulhado RT-09	m²	3,8500
M904	Geotêxtil não tecido agulhado RT-14	m²	5,2000
M905	*Filler*	kg	0,1600
M906	Sementes para hidrossemeadura	kg	5,2400
M907	Adubo Orgânico	kg	0,1431
M908	Eletrodo E7018	kg	18,8500
M909	Tubo de PVC perfurado Ø = 150 mm	m	21,0833
M910	Tubo de PVC rígido Ø = 50 mm	m	2,5650
M911	Tubo de PVC Ø = 100 mm	m	7,3783
M912	Tubo dreno PEAD espiralado Ø = 80 mm	m	18,4862
M913	Tubo dreno PEAD espiralado Ø = 100 mm	m	21,0098

Código	Material	Unidade	Preço Unitário (R$)
M914	Tubo dreno PEAD espiralado Ø = 170 mm	m	31,6417
M915	Tubo dreno PEAD espiralado Ø = 230 mm	m	84,0383
M920	Meio tubo de concreto Ø = 40 cm	m	22,9800
M921	Gabião caixa 2 x 1 x 0,50 m ZN/AL	un	163,4800
M922	Gabião caixa 2 x 1 x 1,00 m ZN/AL	un	246,2100
M923	Gabião caixa 2 x 1 x 1,00 m ZN/AL+PVC	un	287,8400
M924	Gabião caixa 2 x 1 x 0,50 m ZN/AL+PVC	un	205,8700
M925	Gabião saco ZN/AL+PVC	un	154,3900
M926	Gabião colchão ZN/AL+PVC 4 x 2 x 0,23 m	un	484,3900
M927	Gabião colchão ZN/AL+PVC 4 x 2 x 0,30 m	un	593,0000
M935	Terra armada ECE - greide 0 < h < 6 m	m²	0,0000
M936	Terra armada ECE - greide 6 < h < 9 m	m²	0,0000
M937	Terra armada ECE - greide 9 < h < 12 m	m²	0,0000
M938	Terra armada ECE - pé talude 0 < h < 6 m	m²	0,0000
M939	Terra armada ECE - pé talude 6 < h < 9 m	m²	0,0000
M940	Terra armada ECE - pé talude 9 < h < 12 m	m²	0,0000
M941	Terra armada ECE - enc. portante 0 < h < 6 m	m²	0,0000
M942	Terra armada ECE - enc. portante 6 < h < 9 m	m²	0,0000
M945	Haste para perfuratriz de esteira	un	843,2600
M946	Luva para perfuratriz de esteira	un	145,1500
M947	Punho para perfuratriz de esteira	un	767,3400
M948	Coroa para perfuratriz de esteira	un	315,0800
M949	Disco diam. p/ serra de disco asfalto SD8-034	un	17,5600
M950	Coroa impregnada NWG	un	672,1400
M951	Calibrador diamantado NWG	un	474,4500
M952	Mola retentora NWG	un	39,0400
M953	Barrilete simples NWG5	un	284,1400
M954	Haste paredes paralelas com niples	un	431,3700
M955	Coroa pastilha NWG	un	286,7000
M956	Sapata pastilha NW	un	243,2000
M957	Revestimento NW10	un	457,7200
M958	Calibrador pastilha NWG	un	220,4300
M960	Fio de nylon nº 40	m	0,0125
M961	Geocomposto Drenante Vertical	m²	13,1400
M962	Dreno Fibroquímico (geodreno)	m	1,4800
M963	Tela p/ cont. de erosão superficial	m²	20,6400
M968	Coroa p/ perfuratriz 4"	un	0,0000
M969	Película refletiva lentes expostas	m²	38,7000
M970	Película refletiva lentes inclusas	m²	90,8100
M972	Tacha refletiva monodirecional	un	7,7000
M973	Tacha refletiva bidirecional	un	8,7800
M974	Tachão refletivo monodirecional	un	24,3000
M975	Tachão refletivo bidirecional	un	25,4000
M976	Baguete limitador de polietileno	m	1,1200
M977	Selante asfáltico polimerizado	L	2,0200
M980	Indenização de jazida (indenização + custo p/ recuperação ambiental)	m³	1,8900
M982	Isopor de 5 cm de espessura	m²	145,3600
M983	Disco diam. p/ máquina de disco 6 kW	un	357,6800
M985	Tubo plástico para purgadores	m	4,0100
M986	Tacha Refl. Vidro temp. 180º brca	un	14,2500
M987	Tacha Refl. Vidro temp. 360º brca	un	14,2500
M988	Tacha Refl. Vidro temp. 360º amarelo	un	16,4000
M996	Material demolido	t	0,0000
M997	Material fresado	t	0,0000
M998	Madeira	t	0,0000
M999	Material retirado da pista	t	0,0000
M1000	Cinza leve	kg	0,0400

APÊNDICE D – Insumos básicos: custo unitário de transportes do SICRO2/RS

Código	Descrição	Rod. Não Pavimentada (N PAV)		Rod. Pavimentada (PAV)	
		CCU Auxiliar	Custo (R$/tkm)	CCU Auxiliar	Custo (R$/tkm)
TR001	Materiais (Fornecedor - Canteiro)	1 A 00 001 90	0,45	1 A 00 002 90	0,30
TR002	Óleo combustível (Fornecedor - Canteiro)	1 A 00 001 90	0,45	1 A 00 002 90	0,30
TR003	Cimento asfáltico CAP-50/70 (Fornecedor - Canteiro)	1 A 00 112 90	29,40	1 A 00 112 90	29,40
TR004	Filler (Fornecedor - Canteiro)	1 A 00 001 90	0,45	1 A 00 002 90	0,30
TR005	Areia (Fornecedor - Usina)	1 A 00 001 05	0,60	1 A 00 002 05	0,46
TR006	Brita (Fornecedor - Usina)	1 A 00 001 05	0,60	1 A 00 002 05	0,46
TR007	Emulsão asfáltica RM-1C (Fornecedor - Canteiro)	1 A 00 112 91	26,45	1 A 00 112 91	26,45
TR008	Emulsão polímera (Fornecedor - Canteiro)	1 A 00 112 91	26,45	1 A 00 112 91	26,45
TR009	Materiais (Canteiro - Pista)	1 A 00 001 40	0,76	1 A 00 002 40	0,57
TR010	Cimento Portland CP-32 (Fornecedor - Usina)	1 A 00 001 90	0,45	1 A 00 002 90	0,30
TR011	Cimento Portland CP-32 (Usina - Pista)	1 A 00 001 40	0,76	1 A 00 002 40	0,57
TR012	Areia (Canteiro - Pista)	1 A 00 001 05	0,60	1 A 00 002 05	0,46
TR013	Brita (Usina - Pista)	1 A 00 001 05	0,60	1 A 00 002 05	0,46
TR014	Rachão (Pedreira - Pista)	1 A 00 001 05	0,60	1 A 00 002 05	0,46
TR015	Material de jazida (Jazida - Pista)	1 A 00 001 05	0,53	1 A 00 002 91	0,35
TR016	Material de jazida (Jazida - Usina)	1 A 00 001 05	0,60	1 A 00 002 05	0,46
TR017	Demais materiais (Fornecedor - Canteiro)	1 A 00 001 90	0,45	1 A 00 002 90	0,30
TR018	Demais materiais (Canteiro - Pista)	1 A 00 001 40	0,76	1 A 00 002 40	0,57
TR019	Mistura solo-brita (Usina - Pista)	1 A 00 001 05	0,60	1 A 00 002 05	0,46
TR020	Brita graduada (Usina - Pista)	1 A 00 001 05	0,60	1 A 00 002 05	0,46
TR021	Mistura solo-cimento (Usina - Pista)	1 A 00 001 05	0,60	1 A 00 002 05	0,46
TR022	Solo melhorado c/ cimento (Usina - Pista)	1 A 00 001 05	0,60	1 A 00 002 05	0,46
TR023	Asfalto diluído CM-30 (Fornecedor - Canteiro)	1 A 00 112 91	26,45	1 A 00 112 91	26,45
TR024	Emulsão asfáltica RR-1C c/polímero (Fornec - Cant)	1 A 00 112 90	29,40	1 A 00 112 90	29,40
TR025	Emulsão asfáltica RR-1C (Fornecedor - Canteiro)	1 A 00 112 91	26,45	1 A 00 112 91	26,45
TR026	Emulsão asfáltica RR-2C (Fornecedor - Canteiro)	1 A 00 112 91	26,45	1 A 00 112 91	26,45
TR027	PMF (Usina - Pista)	1 A 00 001 05	0,60	1 A 00 002 05	0,46
TR028	Areia-asfalto (Usina - Pista)	1 A 00 001 05	0,60	1 A 00 002 05	0,46
TR029	CBUQ (Usina - Pista)	1 A 00 001 05	0,60	1 A 00 002 05	0,46
TR031	Concreto rolado (Usina - Pista)	1 A 00 001 05	0,60	1 A 00 002 05	0,46
TR032	Sub-base de concreto (Usina - Pista)	1 A 00 001 05	0,60	1 A 00 002 05	0,46
TR030	Concreto de cimento (Usina - Pista)	1 A 00 001 05	0,60	1 A 00 002 05	0,46
TR033	Pré-moldados (Usina - Pista)	1 A 00 001 60	0,78	1 A 00 002 60	0,69
TR034	Tubo de concreto (Fornecedor - Canteiro)	1 A 00 001 90	0,45	1 A 00 002 90	0,30
TR035	Tubo de concreto (Canteiro - Pista)	1 A 00 001 40	0,76	1 A 00 002 40	0,57
TR036	Grama para replantio (Fornecedor - Pista)	1 A 00 001 40	0,76	1 A 00 002 90	0,30
TR037	Solo local (Jazida - Pista)	1 A 00 001 05	0,60	1 A 00 002 05	0,46
TR038	Cimento asfáltico CAP-20 (Canteiro - Pista)	1 A 00 102 00	1,21	1 A 00 102 00	1,21
TR039	Meio tubo de concreto (Fornecedor - Canteiro)	1 A 00 001 90	0,45	1 A 00 002 90	0,30
TR040	Meio tubo de concreto (Canteiro - Pista)	1 A 00 001 40	0,76	1 A 00 002 40	0,57
TR041	Mourão (Canteiro - Pista)	1 A 00 001 40	0,76	1 A 00 002 40	0,57
TR042	Cimento asfáltico CAP-20 (Canteiro - Pista)	1 A 00 112 90	29,40	1 A 00 112 90	29,40
TR043	Cimento asfáltico CAP-7 (Fornecedor - Canteiro)	1 A 00 112 90	29,40	1 A 00 112 90	29,40
TR044	Emulsão asfáltica RL-1C (Fornecedor - Canteiro)	1 A 00 112 91	26,45	1 A 00 112 91	26,45
TR045	Mistura areia-asfalto (Usina - Pista)	1 A 00 001 05	0,60	1 A 00 002 05	0,46
TR046	Mistura betuminosa (Usina - Pista)	1 A 00 001 05	0,60	1 A 00 002 05	0,46
TR047	Material retirado da pista (Pista - Bota fora)	1 A 00 001 40	0,76	1 A 00 002 40	0,57
TR048	Material de base (Usina - Pista)	1 A 00 001 05	0,60	1 A 00 002 05	0,46
TR049	Emulsão asfáltica RL-1C (Canteiro - Pista)	1 A 00 102 00	1,21	1 A 00 102 00	1,21
TR050	Filler (Canteiro - Pista)	1 A 00 001 40	0,76	1 A 00 002 40	0,57
TR051	Emulsão asfáltica RR-1C (Cantciro - Pista)	1 A 00 102 00	1,21	1 A 00 102 00	1,21
TR052	Material fresado (pista - Bota fora)	1 A 00 001 40	0,76	1 A 00 002 40	0,57
TR053	Solo (Empréstimo - Pista)	1 A 00 001 05	0,60	1 A 00 002 05	0,46
TR054	Areia (Fornecedor - Pista)	1 A 00 001 05	0,60	1 A 00 002 05	0,46
TR058	Mat. de jaz. (Jaz.-Local de Subst. de Solo Inad.)	1 A 00 001 05	0,60	1 A 00 002 05	0,46
TR060	SMA (Usina - Pista)	1 A 00 001 05	0,60	1 A 00 002 05	0,46
TR062	Transporte de geodreno (Fornecedor - Canteiro)	1 A 00 001 90	0,45	1 A 00 002 90	0,30
TR063	Transporte de geodreno (Canteiro - Pista)	1 A 00 001 40	0,76	1 A 00 002 40	0,57
TR064	Transporte de madeira (Fornecedor - Canteiro)	1 A 00 001 90	0,45	1 A 00 002 90	0,30
TR065	Transporte de madeira (Canteiro - Pista)	1 A 00 001 40	0,76	1 A 00 002 40	0,57
TR066	Transporte de aço (Fornecedor - Canteiro)	1 A 00 001 90	0,45	1 A 00 002 90	0,30
TR067	Transporte de aço (Canteiro - Pista)	1 A 00 001 40	0,76	1 A 00 002 40	0,57
TR068	Transporte de cal (Fornecedor - Canteiro)	1 A 00 001 90	0,45	1 A 00 002 90	0,30
TR069	Transporte de cal (Canteiro - Pista)	1 A 00 001 40	0,76	1 A 00 002 40	0,57
TR070	Transporte de geogrelha (Fornecedor - Canteiro)	1 A 00 001 90	0,45	1 A 00 002 90	0,30
TR071	Transporte de geogrelha (Canteiro - Pista)	1 A 00 001 40	0,76	1 A 00 002 40	0,57
TR072	Tubo de concreto (Canteiro - Pista) - Ponte	1 A 00 001 40	0,76	1 A 00 002 40	0,57
TR073	Brita Comercial (Fornecedor - Usina)	1 A 00 001 91	0,47	1 A 00 002 91	0,31
Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**		**Custo Unitário de Transporte** **Centro Universitário La Salle – Unilasalle**			

Código	Descrição	Rod. Não Pavimentada (N PAV)		Rod. Pavimentada (PAV)	
		CCU Auxiliar	Custo (R$/tkm)	CCU Auxiliar	Custo (R$/tkm)
TR074	Cinza pesada (Termelétrica - Usina)	1 A 00 001 91	0,47	1 A 00 002 91	0,31
TR075	Cinza leve (Termelétrica - Usina)	1 A 00 001 91	0,47	1 A 00 002 91	0,31
TR076	Mistura cz pes-cz leve-cimento (Usina - Pista)	1 A 00 001 05	0,60	1 A 00 002 05	0,46
TR077	Areia Comercial (Fornecedor - Usina)	1 A 00 001 91	0,47	1 A 00 002 91	0,31
TR078	Mistura areia-cz leve-cimento (Usina - Pista)	1 A 00 001 05	0,60	1 A 00 002 05	0,46

APÊNDICE E – Relação das CCUs auxiliares e principais empregadas e custos por km para definição das equações de custo do transporte

Código	Tipo da CCU	Discriminação do serviço	Un.	Custos (R$)																	
				Custo direto dos insumos	Equação: *Custo do transporte* = ∑ [*Custo por km(N PAV) * DMT(N PAV) + Custo por km(PAV) * DMT(PAV)*]															Custo BDI= 29,98%	Custo Total
					Rodovia com ou sem pavimento	Custo por km variável em relação ao tipo do transporte e material (R$/km)															
						TR001	TR005	TR006	TR010	TR013	TR016	TR020	TR021	TR022	TR073	TR074	TR075	TR076	TR077	TR078	
1 A 00 001 05	CCUs dos Serviços Auxiliares	Transporte local com basculante de 10 m³ - Rodovia não pavimentada	tkm	0,60																0,18	0,78
1 A 00 001 90		Transporte comercial com carroceria fixa - Rodovia não pavimentada	tkm	0,45																0,13	0,58
1 A 00 001 91		Transporte comercial com basculante 10 m³ - Rodovia não pavimentada	tkm	0,47																0,14	0,61
1 A 00 002 05		Transporte local com basculante de 10 m³ - Rodovia pavimentada	tkm	0,46																0,14	0,60
1 A 00 002 90		Transporte comercial com carroceria fixa - Rodovia pavimentada	tkm	0,30																0,09	0,39
1 A 00 002 91		Transporte comercial com basculante 10 m³ - Rodovia pavimentada	tkm	0,31																0,09	0,40
1 A 00 716 00		Areia comercial	m³	67,75																20,31	88,06
1 A 00 717 00		Brita comercial	m³	57,13																17,13	74,26
1 A 00 963 00		Peças de desgaste do britador 80 m³/h	cjh	153,55																46,03	199,58
1 A 01 100 01		Limpeza de camada vegetal em jazida (construção e restauração)	m²	0,33																0,10	0,43
1 A 01 105 01		Expurgo de jazida (construção e restauração)	m³	1,76																0,53	2,29
1 A 01 120 01		Escavação e carga de material de jazida (construção e restauração)	m³	4,80																1,44	6,24
1 A 01 150 01		Rocha para britagem com perfuratriz sobre esteiras	m³	26,44																7,93	34,37
1 A 01 170 01		Areia extraída com escavadeira hidráulica	m³	6,69																2,01	8,70
1 A 01 200 01		Brita produzida em central de britagem de 80 m³/h	m³	29,07																8,72	37,79
1 A 01 395 01		Usinagem de brita graduada	m³	49,99																14,99	64,98
1 A 01 395 51		Usinagem de brita graduada BC	m³	94,89																28,45	123,34
1 A 01 396 01		Usinagem de solo-cimento	m³	97,74																29,30	127,04
1 A 01 396 02		Usinagem de solo melhorado com cimento	m³	53,40																16,01	69,41
CCU 02 (Aux)		Carga de cinza pesada de termelétrica (baseada na CCU 9246 DAER/RS)	m³	1,02																0,31	1,33
CCU 03 (Aux)		Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 1: CP98 / CL0 / Cim2	m³	16,47																4,94	21,41
CCU 04 (Aux)		Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 2: CP95 / CL3 / Cim2	m³	17,75																5,32	23,07
CCU 05 (Aux)		Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 3: CP93 / CL5 / Cim2	m³	18,64																5,59	24,23
CCU 06 (Aux)		Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 4: CP88 / CL10 / Cim2	m³	20,82																6,24	27,06
CCU 07 (Aux)		Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 5: CP96 / CL0 / Cim4	m³	28,07																8,42	36,49
CCU 08 (Aux)		Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 6: CP93 / CL3 / Cim4	m³	29,40																8,81	38,21
CCU 09 (Aux)		Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 7: CP91 / CL5 / Cim4	m³	30,32																9,09	39,41
CCU 10 (Aux)		Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 8: CP86 / CL10 / Cim4	m³	32,54																9,76	42,30

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases.

Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul

Data-base: maio/2014

Relação das CCUs auxiliares e principais empregadas e custos por km para definição das equações de custo do transporte

Centro Universitário La Salle – Unilasalle

Código	Tipo da CCU	Discriminação do serviço	Un.	Custos (RS)																	
				Custo direto dos insumos	Equação: *Custo do transporte* = ∑ [*Custo por km(N PAV)* * *DMT(N PAV)* + *Custo por km(PAV)* * *DMT(PAV)*]															Custo BDI= 29,98%	Custo Total
					Rodovia com ou sem pavimento	Custo por km variável em relação ao tipo do transporte e material (R$/km)															
						TR001	TR005	TR006	TR010	TR013	TR016	TR020	TR021	TR022	TR073	TR074	TR075	TR076	TR077	TR078	
CCU 11 (Aux)	CCUs dos Serviços Auxiliares	Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 9: CP94 / CL0 / Cim6	m³	39,46																11,83	51,29
CCU 12 (Aux)		Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 10: CP91 / CL3 / Cim6	m³	41,21																12,35	53,56
CCU 13 (Aux)		Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 11: CP89 / CL5 / Cim6	m³	42,11																12,62	54,73
CCU 14 (Aux)		Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 12: CP84 / CL10 / Cim6	m³	44,80																13,43	58,23
CCU 15 (Aux)		Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 13: CP92 / CL0 / Cim8	m³	52,76																15,82	68,58
CCU 16 (Aux)		Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 14: CP89 / CL3 / Cim8	m³	54,23																16,26	70,49
CCU 17 (Aux)		Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 15: CP87 / CL5 / Cim8	m³	55,12																16,52	71,64
CCU 18 (Aux)		Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 16: CP82 / CL10 / Cim8	m³	57,50																17,24	74,74
CCU 27 (Aux)		Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura ideal=Mistura 15: CP87 / CL5 / Cim8	m³	55,12																16,52	71,64
CCU 29 (Aux)		Usinagem de Areia/Cz Leve/Cim - Mist. ideal substituindo Cz Pes por Areia	m³	61,51																18,44	79,95
CCU 31 (Aux)		Usinagem de Areia/Cz Leve/Cim AC - Mist. ideal substituindo Cz Pes por Areia	m³	131,73																39,49	171,22
2 S 02 230 00	CCUs dos Serviços Principais	Base ou sub-base de brita graduada	m³	56,96	Custo por km(N PAV)	0,0009		1,4400				1,4400								17,08	74,04
					Custo por km(PAV)	0,0006		1,1040				1,1040									
2 S 02 230 50		Base ou sub-base de brita graduada BC	m³	101,86	Custo por km(N PAV)							1,4400			1,1280					30,54	132,40
					Custo por km(PAV)							1,1040			0,7440						
2 S 02 231 00		Base ou sub-base de macadame hidráulico	m³	50,18	Custo por km(N PAV)	0,0009		1,3500		1,3500										15,04	65,22
					Custo por km(PAV)	0,0006		1,0350		1,0350											
2 S 02 231 50		Base ou sub-base de macadame hidráulico BC	m³	92,27	Custo por km(N PAV)					1,3500					1,0575					27,66	119,93
					Custo por km(PAV)					1,0350					0,6975						
2 S 02 241 01		Base ou sub-base de solo cimento com mistura em usina	m³	109,40	Custo por km(N PAV)				0,0792		1,1040		1,2096							32,80	142,20
					Custo por km(PAV)				0,0528		0,8464		0,9274								
2 S 02 243 01		Base ou sub-base de solo melhorado com cimento - mistura em usina	m³	64,25	Custo por km(N PAV)				0,0396		1,1040			1,1568						19,26	83,51
					Custo por km(PAV)				0,0264		0,8464			0,8869							
CCU 01 (Princ)		Base ou sub-base de macadame seco BC	m³	89,79	Custo por km(N PAV)					1,3500					1,0575					26,92	116,71
					Custo por km(PAV)					1,0350					0,6975						
CCU 15 (Princ)		Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 1: CP98 / CL0 / Cim2	m³	28,13	Custo por km(N PAV)				0,0104							0,5327	0,0000	0,6939		8,43	36,56
					Custo por km(PAV)				0,0069							0,3513	0,0000	0,5320			

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases.

Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul

Data-base: maio/2014

Relação das CCUs auxiliares e principais empregadas e custos por km para definição das equações de custo do transporte

Centro Universitário La Salle – Unilasalle

Código	Tipo da CCU	Discriminação do serviço	Un.	Custos (R$)																	
				Custo direto dos insumos	Equação: *Custo do transporte* = $\sum$ [*Custo por km(N PAV) * DMT(N PAV) + Custo por km(PAV) * DMT(PAV)*]															Custo BDI= 29,98%	Custo Total
					Rodovia com ou sem pavimento	Custo por km variável em relação ao tipo do transporte e material (R$/km)															
						TR001	TR005	TR006	TR010	TR013	TR016	TR020	TR021	TR022	TR073	TR074	TR075	TR076	TR077	TR078	
CCU 16 (Princ)	CCUs dos Serviços Principais	Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 2: CP95 / CL3 / Cim2	m³	29,41	Custo por km(N PAV)				0,0104							0,5144	0,0162	0,6912			8,82	38,23
					Custo por km(PAV)				0,0069							0,3393	0,0107	0,5299				
CCU 17 (Princ)		Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 3: CP93 / CL5 / Cim2	m³	30,30	Custo por km(N PAV)				0,0104							0,5034	0,0271	0,6911			9,08	39,38
					Custo por km(PAV)				0,0069							0,3321	0,0179	0,5298				
CCU 18 (Princ)		Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 4: CP88 / CL10 / Cim2	m³	32,48	Custo por km(N PAV)				0,0103							0,4747	0,0539	0,6887			9,74	42,22
					Custo por km(PAV)				0,0069							0,3131	0,0356	0,5280				
CCU 19 (Princ)		Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 5: CP96 / CL0 / Cim4	m³	39,73	Custo por km(N PAV)				0,0209							0,5227	0,0000	0,6951			11,91	51,64
					Custo por km(PAV)				0,0139							0,3448	0,0000	0,5329				
CCU 20 (Princ)		Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 6: CP93 / CL3 / Cim4	m³	41,06	Custo por km(N PAV)				0,0208							0,5060	0,0163	0,6946			12,31	53,37
					Custo por km(PAV)				0,0139							0,3338	0,0108	0,5326				
CCU 21 (Princ)		Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 7: CP91 / CL5 / Cim4	m³	41,98	Custo por km(N PAV)				0,0209							0,4956	0,0272	0,6953			12,59	54,57
					Custo por km(PAV)				0,0139							0,3269	0,0180	0,5330				
CCU 22 (Princ)		Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 8: CP86 / CL10 / Cim4	m³	44,20	Custo por km(N PAV)				0,0208							0,4680	0,0544	0,6947			13,25	57,45
					Custo por km(PAV)				0,0139							0,3087	0,0359	0,5326				
CCU 23 (Princ)		Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 9: CP94 / CL0 / Cim6	m³	51,12	Custo por km(N PAV)				0,0311							0,5092	0,0000	0,6915			15,33	66,45
					Custo por km(PAV)				0,0207							0,3358	0,0000	0,5302				
CCU 24 (Princ)		Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 10: CP91 / CL3 / Cim6	m³	52,87	Custo por km(N PAV)				0,0315							0,4982	0,0164	0,6989			15,85	68,72
					Custo por km(PAV)				0,0210							0,3286	0,0108	0,5358				
CCU 25 (Princ)		Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 11: CP89 / CL5 / Cim6	m³	53,77	Custo por km(N PAV)				0,0315							0,4873	0,0274	0,6989			16,12	69,89
					Custo por km(PAV)				0,0210							0,3214	0,0181	0,5358				
CCU 26 (Princ)		Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 12: CP84 / CL10 / Cim6	m³	56,46	Custo por km(N PAV)				0,0318							0,4648	0,0553	0,7064			16,93	73,39
					Custo por km(PAV)				0,0212							0,3066	0,0365	0,5416				
CCU 33 (Princ)		Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 13: CP92 / CL0 / Cim8	m³	64,42	Custo por km(N PAV)				0,0430							0,5170	0,0000	0,7174			19,31	83,73
					Custo por km(PAV)				0,0287							0,3410	0,0000	0,5500				
CCU 34 (Princ)		Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 14: CP89 / CL3 / Cim8	m³	65,89	Custo por km(N PAV)				0,0431							0,5008	0,0169	0,7184			19,75	85,64
					Custo por km(PAV)				0,0287							0,3303	0,0111	0,5508				
CCU 35 (Princ)		Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 15: CP87 / CL5 / Cim8	m³	66,78	Custo por km(N PAV)				0,0431							0,4894	0,0281	0,7181			20,02	86,80
					Custo por km(PAV)				0,0287							0,3228	0,0185	0,5505				

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases.

Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul

Data-base: maio/2014

Relação das CCUs auxiliares e principais empregadas e custos por km para definição das equações de custo do transporte

Centro Universitário La Salle – Unilasalle

Código	Tipo da CCU	Discriminação do serviço	Un.	Custos (R$)																	
				Custo direto dos insumos	Equação: *Custo do transporte* = $\sum$ [*Custo por km(N PAV) * DMT(N PAV) + Custo por km(PAV) * DMT(PAV)*]															Custo BDI= 29,98%	Custo Total
					Rodovia com ou sem pavimento	Custo por km variável em relação ao tipo do transporte e material (R$/km)															
						TR001	TR005	TR006	TR010	TR013	TR016	TR020	TR021	TR022	TR073	TR074	TR075	TR076	TR077	TR078	
CCU 36 (Princ)	CCUs dos Serviços Principais	Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 16: CP82 / CL10 / Cim8	m³	69,16	Custo por km(N PAV)				0,0431							**0,4617**	0,0563	**0,7188**			20,73	89,89
					Custo por km(PAV)				0,0288							**0,3045**	0,0371	**0,5511**				
CCU 28 (Princ)		Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura ideal=Mistura 15: CP87 / CL5 / Cim8	m³	66,78	Custo por km(N PAV)				0,0431							**0,4894**	0,0281	**0,7181**			20,02	86,80
					Custo por km(PAV)				0,0287							**0,3228**	0,0185	**0,5505**				
CCU 30 (Princ)		Base ou sub-base de Areia/Cz Leve/Cim em usina - Mist. ideal substituindo Cz Pes por Areia	m³	73,17	Custo por km(N PAV)		**1,1040**		0,0431								0,0281			**1,1973**	21,94	95,11
					Custo por km(PAV)		**0,8464**		0,0287								0,0185			**0,9180**		
CCU 32 (Princ)		Base ou sub-base de Areia/Cz Leve/Cim em usina AC-Mist. ideal substituindo Cz Pes por Areia	m³	143,39	Custo por km(N PAV)				0,0431								0,0281		**0,8648**	**1,1973**	42,99	186,38
					Custo por km(PAV)				0,0287								0,0185		**0,5704**	**0,9180**		

Legenda

X,XXX	Custos por km referentes ao transporte do material principal: Fornecimento - Usina
Y,YYY	Custos por km referentes ao transporte de todas as misturas: Usina - Pista
Z,ZZZ	Custos por km referentes ao transporte de todos os materiais não principais: Fornecimento - Usina

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases.

Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul

Data-base: maio/2014

Relação das CCUs auxiliares e principais empregadas e custos por km para definição das equações de custo do transporte

Centro Universitário La Salle – Unilasalle

APÊNDICE F – Composições auxiliares de custo unitário utilizadas do SICRO2/RS

SERVIÇO : Transporte local com basculante de 10 m³ - Rodovia não pavimentada Construção					Código CCU : 1 A 00 001 05		UNIDADE : R$/tkm
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	1,00	1,00	0,00	117,56	9,18	117,56
						TOTAL (A)	117,56
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo Horário
Código	Descrição						
						TOTAL (B)	
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			197,0		CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)		117,56
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	0,60
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo Unitário
Código	Descrição						
						TOTAL (E)	
TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo Unitário
Código	Descrição						
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							0,60
BONIFICAÇÃO :29,98 %							0,18
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							0,78
OBSERVAÇÕES :							

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO** **Centro Universitário La Salle – Unilasalle**

SERVIÇO : Transporte comercial com carroceria fixa - Rodovia não pavimentada					Código CCU : 1 A 00 001 90		UNIDADE : R$/tkm
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E402	Caminhão Carroceria fixa - de madeira 15 t (210 kW)	1,00	1,00	0,00	113,19	9,18	113,19
						TOTAL (A)	113,19
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição		Salarial				Horário
						TOTAL (B)	
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			249,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			113,19
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	0,45
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
						TOTAL (E)	
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							0,45
BONIFICAÇÃO :29,98 %							0,13
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							0,58
OBSERVAÇÕES :							

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO** **Centro Universitário La Salle – Unilasalle**

SERVIÇO : Transporte comercial com basculante 10 m³ - Rodovia não pavimentada					Código CCU : 1 A 00 001 91		UNIDADE : R$/tkm
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	1,00	1,00	0,00	117,56	9,18	117,56
						TOTAL (A)	117,56
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo Horário
Código	Descrição						
						TOTAL (B)	
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			249,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			117,56
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	0,47
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo Unitário
Código	Descrição						
						TOTAL (E)	
TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo Unitário
Código	Descrição						
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							0,47
BONIFICAÇÃO :29,98 %							0,14
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							0,61
OBSERVAÇÕES :							

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO** **Centro Universitário La Salle – Unilasalle**

SERVIÇO : Transporte local com basculante de 10 m³ - Rodovia pavimentada Construção					Código CCU : 1 A 00 002 05		UNIDADE : R$/tkm
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	1,00	1,00	0,00	117,56	9,18	117,56
						TOTAL (A)	117,56
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição		Salarial				Horário
						TOTAL (B)	
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			253,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			117,56
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	0,46
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
						TOTAL (E)	
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							0,46
BONIFICAÇÃO :29,98 %							0,14
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							0,60
OBSERVAÇÕES :							

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO** **Centro Universitário La Salle – Unilasalle**

SERVIÇO : Transporte comercial com carroceria fixa - Rodovia pavimentada					Código CCU : 1 A 00 002 90		UNIDADE : R$/tkm
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E402	Caminhão Carroceria fixa - de madeira 15 t (210 kW)	1,00	1,00	0,00	113,19	9,18	113,19
						TOTAL (A)	113,19
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo Horário
Código	Descrição						
						TOTAL (B)	
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			374,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			113,19
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	0,30
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo Unitário
Código	Descrição						
						TOTAL (E)	
TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo Unitário
Código	Descrição						
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							0,30
BONIFICAÇÃO :29,98 %							0,09
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							0,39
OBSERVAÇÕES :							

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO** **Centro Universitário La Salle – Unilasalle**

SERVIÇO : Transporte comercial com basculante 10 m³ - Rodovia pavimentada					Código CCU : 1 A 00 002 91		UNIDADE : R$/tkm
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	1,00	1,00	0,00	117,56	9,18	117,56
						TOTAL (A)	117,56
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo Horário
Código	Descrição						
						TOTAL (B)	
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			374,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			117,56
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	0,31
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo Unitário
Código	Descrição						
						TOTAL (E)	
TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo Unitário
Código	Descrição						
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							0,31
BONIFICAÇÃO :29,98 %							0,09
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							0,40
OBSERVAÇÕES :							

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases.	D N I T	COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO
Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul Data-base: maio/2014		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO : Areia comercial					Código CCU : 1 A 00 716 00		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
						TOTAL (A)	
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
						TOTAL (B)	
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			1,0		CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)		
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
M704	Areia lavada			m³	67,75	1,0000	67,75
						TOTAL (E)	67,75
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							67,75
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							
OBSERVAÇÕES :							

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul Data-base: maio/2014	D N I T	COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO : Brita comercial					Código CCU : 1 A 00 717 00		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
						TOTAL (A)	
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição		Salarial				Horário
						TOTAL (B)	
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			1,0		CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)		
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO					[(A)+(B)]/(C) = (D)		
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
AM35	Brita 1			m³	57,13	0,3333	19,04
AM36	Brita 2			m³	57,13	0,3333	19,04
AM37	Brita 3			m³	57,13	0,3334	19,05
						TOTAL (E)	57,13
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							57,13
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							
OBSERVAÇÕES :							

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO** **Centro Universitário La Salle – Unilasalle**

SERVIÇO : Peças de desgaste do britador 80 m³/h					Código CCU : 1 A 00 963 00		UNIDADE : R$/cjh
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
						TOTAL (A)	
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
						TOTAL (B)	
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			1,0		CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)		
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
AM25	Mandíbula móvel para britador C96 Standart			un/h	34,80	1,0000	34,80
AM26	Mandíbula fixa para britador C96 Standart			un/h	23,81	1,0000	23,81
AM27	Manta HP200			un/h	31,02	1,0000	31,02
AM28	Revestimento bojo STD HP200			un/h	22,34	1,0000	22,34
AM29	Cunha lateral superior C96			un/h	20,17	1,0000	20,17
AM30	Cunha lateral inferior C96			un/h	21,41	1,0000	21,41
						TOTAL (E)	153,55
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							153,55
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							
OBSERVAÇÕES :							

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul Data-base: maio/2014	D N I T	COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO : Limpeza de camada vegetal em jazida (construção e restauração)					Código CCU : 1 A 01 100 01		UNIDADE : R$/m²
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E002	Trator de esteiras com lâmina (108 kW)	1,00	1,00	0,00	165,37	13,61	165,37
						TOTAL (A)	165,37
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T501	Encarregado de turma			0,50	16,35		8,17
T701	Servente			2,00	6,93		13,86
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						3,42
						TOTAL (B)	25,45
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			571,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			190,82
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	0,33
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
						TOTAL (E)	
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							0,33
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNER-ES-278

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO** **Centro Universitário La Salle – Unilasalle**

SERVIÇO : Expurgo de jazida (construção e restauração)					Código CCU : 1 A 01 105 01		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E002	Trator de esteiras com lâmina (108 kW)	1,00	1,00	0,00	165,37	13,61	165,37
						TOTAL (A)	165,37
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T501	Encarregado de turma			0,30	16,35		4,90
T701	Servente			2,00	6,93		13,86
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						2,91
						TOTAL (B)	21,67
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			106,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			187,04
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	1,76
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
						TOTAL (E)	
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							1,76
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNER-ES-280 e DNER-ES-281

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul Data-base: maio/2014	D N I T	COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO : Escavação e carga de material de jazida (construção e restauração)					Código CCU : 1 A 01 120 01		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E002	Trator de esteiras com lâmina (108 kW)	1,00	1,00	0,00	165,37	13,61	165,37
E006	Motoniveladora (103 kW)	1,00	0,78	0,22	149,80	13,61	119,84
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	0,77	0,23	192,62	13,61	151,45
						TOTAL (A)	436,66
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição		Salarial				Horário
T501	Encarregado de turma			1,00	16,35		16,35
T701	Servente			3,00	6,93		20,78
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						5,76
						TOTAL (B)	42,89
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			165,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			479,55
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	2,91
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
M980	Indenização de jazida (indenização + custo p/ recuperação ambiental)			m³	1,89	1,0000	1,89
						TOTAL (E)	1,89
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							4,80
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNER-ES-280 e DNER-ES-281

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO : Rocha para britagem com perfuratriz sobre esteiras					Código CCU : 1 A 01 150 01		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	0,35	0,65	192,62	13,61	76,27
E203	Compressor de ar 762 PCM (155 kW)	1,00	1,00	0,00	113,48	9,84	113,48
E204	Martelete - perfuratriz manual	1,00	1,00	0,00	10,14	8,93	10,14
E205	Perfuratriz sobre esteiras - Crawler Drill	1,00	1,00	0,00	29,57	9,84	29,57
E433	Caminhão basculante p/ rocha 18,0 t (191 kW)	2,00	0,69	0,31	179,67	9,18	253,63
						TOTAL (A)	483,09
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição		Salarial				Horário
T512	Encarregado de britagem			1,00	26,25		26,25
T601	Blaster			1,00	16,35		16,35
T701	Servente			1,00	6,93		6,93
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,68
						TOTAL (B)	57,21
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			36,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			540,30
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	15,01
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
M326	Série de brocas S-12 Ø = 22 mm			un	725,76	0,0008	0,58
M501	Dinamite a 60% (gelatina especial)			kg	8,05	0,4200	3,38
M503	Espoleta comum nº 8			un	2,29	0,0130	0,03
M505	Cordel detonante NP 10			m	2,80	0,8000	2,24
M507	Retardador de cordel			un	21,17	0,0400	0,85
M508	Estopim			m	2,59	0,0250	0,06
M945	Haste para perfuratriz de esteira			un	843,26	0,0010	0,84
M946	Luva para perfuratriz de esteira			un	145,15	0,0010	0,15
M947	Punho para perfuratriz de esteira			un	767,34	0,0008	0,61
M948	Coroa para perfuratriz de esteira			un	315,08	0,0007	0,22
M980	Indenização de jazida (indenização + custo p/ recuperação ambiental)			m³	1,89	1,0000	1,89
1 A 01 100 01	Limpeza de camada vegetal em jazida (construção e restauração)			m²	0,33	0,7000	0,23
1 A 01 105 01	Expurgo de jazida (construção e restauração)			m³	1,76	0,2000	0,35
						TOTAL (E)	11,43
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR001	Materiais (Fornecedor - Canteiro)					0,0020	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							26,44
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Volume em m³ referido à bancada da pedreira.

Especificação de serviço : DNER-ES-280

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO : Areia extraída com escavadeira hidráulica					Código CCU : 1 A 01 170 01		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E016	Carregadeira de pneus 1,91 m³ (113 kW)	1,00	0,42	0,58	119,88	13,61	58,25
E063	Escavad. hidrául c/ est. 600L longo alcance (103 kW)	1,00	1,00	0,00	126,13	13,61	126,13
						TOTAL (A)	184,38
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição		Salarial				Horário
T501	Encarregado de turma			1,00	16,35		16,35
T701	Servente			4,00	6,93		27,71
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						6,83
						TOTAL (B)	50,89
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			49,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			235,27
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	4,80
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
M980	Indenização de jazida (indenização + custo p/ recuperação ambiental)			m³	1,89	1,0000	1,89
						TOTAL (E)	1,89
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							6,69
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							
OBSERVAÇÕES :							

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO** **Centro Universitário La Salle – Unilasalle**

SERVIÇO : Brita produzida em central de britagem de 80 m³/h					Código CCU : 1 A 01 200 01		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	0,24	0,76	192,62	13,61	56,58
E225	Conjunto de britagem 80 m³/h (276 kW)	1,00	1,00	0,00	492,09	13,61	492,09
E504	Grupo gerador 288 kVA (230 kW)	1,00	1,00	0,00	127,08	9,84	127,08
						TOTAL (A)	675,75
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição		Salarial				Horário
T512	Encarregado de britagem			1,00	26,25		26,25
T701	Servente			8,00	6,93		55,42
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						12,67
						TOTAL (B)	94,34
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			66,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			770,09
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	11,67
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
1 A 00 963 00	Peças de desgaste do britador 80 m³/h			cjh	153,55	0,0152	2,33
1 A 01 150 01	Rocha para britagem com perfuratriz sobre esteiras			m³	26,44	0,5700	15,07
						TOTAL (E)	17,40
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							29,07
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Produção de brita, pó-de-pedra e pedrisco.

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO** **Centro Universitário La Salle – Unilasalle**

SERVIÇO : Usinagem de brita graduada					Código CCU : 1 A 01 395 01		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	0,98	0,02	192,62	13,61	189,04
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1,00	1,00	0,00	87,06	13,61	87,06
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	1,00	1,00	0,00	86,46	9,84	86,46
						TOTAL (A)	362,56
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição		Salarial				Horário
T501	Encarregado de turma			1,00	16,35		16,35
T701	Servente			5,00	6,93		34,64
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,91
						TOTAL (B)	58,90
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			421,46
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	3,48
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
1 A 01 200 01	Brita produzida em central de britagem de 80 m³/h			m³	29,07	1,6000	46,51
						TOTAL (E)	46,51
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR006	Brita (Fornecedor - Usina)					2,4000	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							49,99
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 141/2010-ES e DNIT 139/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases.	D N I T	COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO
Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul Data-base: maio/2014		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO : Usinagem de brita graduada BC					Código CCU : 1 A 01 395 51		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	0,98	0,02	192,62	13,61	189,04
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1,00	1,00	0,00	87,06	13,61	87,06
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	1,00	1,00	0,00	86,46	9,84	86,46
						TOTAL (A)	362,56
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T501	Encarregado de turma			1,00	16,35		16,35
T701	Servente			5,00	6,93		34,64
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,91
						TOTAL (B)	58,90
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			421,46
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	3,48
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
1 A 00 717 00	Brita comercial			m³	57,13	1,6000	91,41
						TOTAL (E)	91,41
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR073	Brita Comercial (Fornecedor - Usina)					2,4000	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							94,89
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 141/2010-ES e DNIT 139/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul Data-base: maio/2014	D N I T	COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO : Usinagem de solo-cimento					Código CCU : 1 A 01 396 01		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	0,92	0,08	192,62	13,61	178,30
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1,00	1,00	0,00	87,06	13,61	87,06
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	1,00	1,00	0,00	86,46	9,84	86,46
						TOTAL (A)	351,82
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T501	Encarregado de turma			1,00	16,35		16,35
T701	Servente			6,00	6,93		41,57
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						8,98
						TOTAL (B)	66,90
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			418,72
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	3,46
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
M202	Cimento Portland CP II - 32			kg	0,50	176,0000	88,18
1 A 01 100 01	Limpeza de camada vegetal em jazida (construção e restauração)			m²	0,33	0,7000	0,23
1 A 01 105 01	Expurgo de jazida (construção e restauração)			m³	1,76	0,2000	0,35
1 A 01 120 01	Escavação e carga de material de jazida (construção e restauração)			m³	4,80	1,1500	5,52
						TOTAL (E)	94,28
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR010	Cimento Portland CP-32 (Fornecedor - Usina)					0,1760	
TR016	Material de jazida (Jazida - Usina)					1,8400	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							97,74
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul Data-base: maio/2014	D N I T	COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO : Usinagem de solo melhorado com cimento					Código CCU : 1 A 01 396 02		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	0,82	0,18	192,62	13,61	160,40
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1,00	1,00	0,00	87,06	13,61	87,06
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	1,00	1,00	0,00	86,46	9,84	86,46
						TOTAL (A)	333,92
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição		Salarial				Horário
T501	Encarregado de turma			1,00	16,35		16,35
T701	Servente			6,00	6,93		41,57
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						8,98
						TOTAL (B)	66,90
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			125,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			400,82
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	3,21
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
M202	Cimento Portland CP II - 32			kg	0,50	88,0000	44,09
1 A 01 100 01	Limpeza de camada vegetal em jazida (construção e restauração)			m²	0,33	0,7000	0,23
1 A 01 105 01	Expurgo de jazida (construção e restauração)			m³	1,76	0,2000	0,35
1 A 01 120 01	Escavação e carga de material de jazida (construção e restauração)			m³	4,80	1,1500	5,52
						TOTAL (E)	50,19
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR010	Cimento Portland CP-32 (Fornecedor - Usina)					0,0880	
TR016	Material de jazida (Jazida - Usina)					1,8400	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							53,40
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 142/2010-ES e DNIT 140/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul Data-base: maio/2014	D N I T	COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO : Carga de cinza pesada de termelétrica (baseada na CCU 9246 DAER/RS)					Código CCU : CCU 02 (Aux)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	1,00		192,62	13,61	192,62
						TOTAL (A)	192,62
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T501	Encarregado de turma			0,50	16,35		8,17
T701	Servente			1,00	6,93		6,93
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						2,34
						TOTAL (B)	17,44
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			206,691	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			210,06
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	1,02
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
						TOTAL (E)	
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							1,02
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNER-ES-280 e DNER-ES-281

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases.	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul		**Centro Universitário La Salle – Unilasalle**
Data-base: maio/2014		

SERVIÇO : Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 1: CP98 / CL0 / Cim2					Código CCU : CCU 03 (Aux)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	0,92	0,08	192,62	13,61	178,30
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1,00	1,00	0,00	87,06	13,61	87,06
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	1,00	1,00	0,00	86,46	9,84	86,46
						TOTAL (A)	351,82
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T501	Encarregado de turma			1,00	16,35		16,35
T701	Servente			6,00	6,93		41,57
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						8,98
						TOTAL (B)	66,90
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			418,72
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	3,46
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
M202	Cimento Portland CP II - 32			kg	0,50	23,1288	11,59
M1000	Cinza leve			kg	0,04		
CCU 02 (Aux)	Carga de cinza pesada de termelétrica (baseada na CCU 9246 DAER/RS)			m³	1,02	1,3923	1,42
						TOTAL (E)	13,01
TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
TR010	Cimento Portland CP-32 (Fornecedor - Usina)					0,0231	
TR075	Cinza leve (Termelétrica - Usina)						
TR074	Cinza pesada (Termelétrica - Usina)					1,1333	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							16,47
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO** **Centro Universitário La Salle – Unilasalle**

SERVIÇO : Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 2: CP95 / CL3 / Cim2					Código CCU : CCU 04 (Aux)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	0,92	0,08	192,62	13,61	178,30
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1,00	1,00	0,00	87,06	13,61	87,06
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	1,00	1,00	0,00	86,46	9,84	86,46
						TOTAL (A)	351,82
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição		Salarial				Horário
T501	Encarregado de turma			1,00	16,35		16,35
T701	Servente			6,00	6,93		41,57
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						8,98
						TOTAL (B)	66,90
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			418,72
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	3,46
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
M202	Cimento Portland CP II - 32			kg	0,50	23,0413	11,54
M1000	Cinza leve			kg	0,04	34,5619	1,38
CCU 02 (Aux)	Carga de cinza pesada de termelétrica (baseada na CCU 9246 DAER/RS)			m³	1,02	1,3445	1,37
						TOTAL (E)	14,29
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR010	Cimento Portland CP-32 (Fornecedor - Usina)					0,0230	
TR075	Cinza leve (Termelétrica - Usina)					0,0346	
TR074	Cinza pesada (Termelétrica - Usina)					1,0945	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							17,75
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases.	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul		**Centro Universitário La Salle – Unilasalle**
Data-base: maio/2014		

SERVIÇO : Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 3: CP93 / CL5 / Cim2					Código CCU : CCU 05 (Aux)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	0,92	0,08	192,62	13,61	178,30
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1,00	1,00	0,00	87,06	13,61	87,06
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	1,00	1,00	0,00	86,46	9,84	86,46
						TOTAL (A)	351,82
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T501	Encarregado de turma			1,00	16,35		16,35
T701	Servente			6,00	6,93		41,57
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						8,98
						TOTAL (B)	66,90
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0		CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)		418,72
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	3,46
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
M202	Cimento Portland CP II - 32			kg	0,50	23,0355	11,54
M1000	Cinza leve			kg	0,04	57,5887	2,30
CCU 02 (Aux)	Carga de cinza pesada de termelétrica (baseada na CCU 9246 DAER/RS)			m³	1,02	1,3159	1,34
						TOTAL (E)	15,18
TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
TR010	Cimento Portland CP-32 (Fornecedor - Usina)					0,0230	
TR075	Cinza leve (Termelétrica - Usina)					0,0576	
TR074	Cinza pesada (Termelétrica - Usina)					1,0712	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							18,64
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO : Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 4: CP88 / CL10 / Cim2					Código CCU : CCU 06 (Aux)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	0,92	0,08	192,62	13,61	178,30
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1,00	1,00	0,00	87,06	13,61	87,06
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	1,00	1,00	0,00	86,46	9,84	86,46
						TOTAL (A)	351,82
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição		Salarial				Horário
T501	Encarregado de turma			1,00	16,35		16,35
T701	Servente			6,00	6,93		41,57
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						8,98
						TOTAL (B)	66,90
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0		CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)		418,72
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	3,46
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
M202	Cimento Portland CP II - 32			kg	0,50	22,9568	11,50
M1000	Cinza leve			kg	0,04	114,7841	4,59
CCU 02 (Aux)	Carga de cinza pesada de termelétrica (baseada na CCU 9246 DAER/RS)			m³	1,02	1,2409	1,27
						TOTAL (E)	17,36
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR010	Cimento Portland CP-32 (Fornecedor - Usina)					0,0230	
TR075	Cinza leve (Termelétrica - Usina)					0,1148	
TR074	Cinza pesada (Termelétrica - Usina)					1,0101	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							20,82
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases.	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul		**Centro Universitário La Salle – Unilasalle**
Data-base: maio/2014		

SERVIÇO : Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 5: CP96 / CL0 / Cim4					Código CCU : CCU 07 (Aux)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	0,92	0,08	192,62	13,61	178,30
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1,00	1,00	0,00	87,06	13,61	87,06
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	1,00	1,00	0,00	86,46	9,84	86,46
						TOTAL (A)	351,82
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição		Salarial				Horário
T501	Encarregado de turma			1,00	16,35		16,35
T701	Servente			6,00	6,93		41,57
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						8,98
						TOTAL (B)	66,90
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0		CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)		418,72
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	3,46
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
M202	Cimento Portland CP II - 32			kg	0,50	46,3425	23,22
M1000	Cinza leve			kg	0,04		
CCU 02 (Aux)	Carga de cinza pesada de termelétrica (baseada na CCU 9246 DAER/RS)			m³	1,02	1,3664	1,39
						TOTAL (E)	24,61
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR010	Cimento Portland CP-32 (Fornecedor - Usina)					0,0463	
TR075	Cinza leve (Termelétrica - Usina)						
TR074	Cinza pesada (Termelétrica - Usina)					1,1122	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							28,07
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases.	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul		**Centro Universitário La Salle – Unilasalle**
Data-base: maio/2014		

SERVIÇO : Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 6: CP93 / CL3 / Cim4					Código CCU : CCU 08 (Aux)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	0,92	0,08	192,62	13,61	178,30
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1,00	1,00	0,00	87,06	13,61	87,06
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	1,00	1,00	0,00	86,46	9,84	86,46
						TOTAL (A)	351,82
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T501	Encarregado de turma			1,00	16,35		16,35
T701	Servente			6,00	6,93		41,57
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						8,98
						TOTAL (B)	66,90
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			418,72
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	3,46
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
M202	Cimento Portland CP II - 32			kg	0,50	46,3097	23,20
M1000	Cinza leve			kg	0,04	34,7323	1,39
CCU 02 (Aux)	Carga de cinza pesada de termelétrica (baseada na CCU 9246 DAER/RS)			m³	1,02	1,3227	1,35
						TOTAL (E)	25,94
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR010	Cimento Portland CP-32 (Fornecedor - Usina)					0,0463	
TR075	Cinza leve (Termelétrica - Usina)					0,0347	
TR074	Cinza pesada (Termelétrica - Usina)					1,0767	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							29,40
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO : Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 7: CP91 / CL5 / Cim4					Código CCU : CCU 09 (Aux)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	0,92	0,08	192,62	13,61	178,30
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1,00	1,00	0,00	87,06	13,61	87,06
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	1,00	1,00	0,00	86,46	9,84	86,46
						TOTAL (A)	351,82
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T501	Encarregado de turma			1,00	16,35		16,35
T701	Servente			6,00	6,93		41,57
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						8,98
						TOTAL (B)	66,90
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			418,72
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	3,46
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
M202	Cimento Portland CP II - 32			kg	0,50	46,3516	23,22
M1000	Cinza leve			kg	0,04	57,9396	2,32
CCU 02 (Aux)	Carga de cinza pesada de termelétrica (baseada na CCU 9246 DAER/RS)			m³	1,02	1,2955	1,32
						TOTAL (E)	26,86
TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
TR010	Cimento Portland CP-32 (Fornecedor - Usina)					0,0464	
TR075	Cinza leve (Termelétrica - Usina)					0,0579	
TR074	Cinza pesada (Termelétrica - Usina)					1,0545	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							30,32
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul Data-base: maio/2014	D N I T	COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO
		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO : Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 8: CP86 / CL10 / Cim4					Código CCU : CCU 10 (Aux)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	0,92	0,08	192,62	13,61	178,30
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1,00	1,00	0,00	87,06	13,61	87,06
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	1,00	1,00	0,00	86,46	9,84	86,46
						TOTAL (A)	351,82
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T501	Encarregado de turma			1,00	16,35		16,35
1701	Servente			6,00	6,93		41,57
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						8,98
						TOTAL (B)	66,90
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0		CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)		418,72
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	3,46
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
M202	Cimento Portland CP II - 32			kg	0,50	46,3102	23,20
M1000	Cinza leve			kg	0,04	115,7756	4,63
CCU 02 (Aux)	Carga de cinza pesada de termelétrica (baseada na CCU 9246 DAER/RS)			m³	1,02	1,2232	1,25
						TOTAL (E)	29,08
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR010	Cimento Portland CP-32 (Fornecedor - Usina)					0,0463	
TR075	Cinza leve (Termelétrica - Usina)					0,1158	
TR074	Cinza pesada (Termelétrica - Usina)					0,9957	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							32,54
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO : Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 9: CP94 / CL0 / Cim6					Código CCU : CCU 11 (Aux)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	0,92	0,08	192,62	13,61	178,30
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1,00	1,00	0,00	87,06	13,61	87,06
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	1,00	1,00	0,00	86,46	9,84	86,46
						TOTAL (A)	351,82

MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR		Padrão Salarial	Quant.	Salário Base	Custo Horário
Código	Descrição				
T501	Encarregado de turma		1,00	16,35	16,35
T701	Servente		6,00	6,93	41,57
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)				8,98
				TOTAL (B)	66,90
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)		121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)		418,72
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO				[(A)+(B)]/(C) = (D)	3,46

MATERIAIS		Unidade	Custo	Consumo	Custo Unitário
Código	Descrição				
M202	Cimento Portland CP II - 32	kg	0,50	69,1506	34,64
M1000	Cinza leve	kg	0,04		
CCU 02 (Aux)	Carga de cinza pesada de termelétrica (baseada na CCU 9246 DAER/RS)	m³	1,02	1,3309	1,36
				TOTAL (E)	36,00

TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo Unitário
Código	Descrição						
TR010	Cimento Portland CP-32 (Fornecedor - Usina)					0,0692	
TR075	Cinza leve (Termelétrica - Usina)						
TR074	Cinza pesada (Termelétrica - Usina)					1,0834	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							39,46
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul Data-base: maio/2014	D N I T	COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO : Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 10: CP91 / CL3 / Cim6					Código CCU : CCU 12 (Aux)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	0,92	0,08	192,62	13,61	178,30
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1,00	1,00	0,00	87,06	13,61	87,06
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	1,00	1,00	0,00	86,46	9,84	86,46
						TOTAL (A)	351,82
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T501	Encarregado de turma			1,00	16,35		16,35
T701	Servente			6,00	6,93		41,57
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						8,98
						TOTAL (B)	66,90
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			418,72
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	3,46
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
M202	Cimento Portland CP II - 32			kg	0,50	69,8934	35,02
M1000	Cinza leve			kg	0,04	34,9467	1,40
CCU 02 (Aux)	Carga de cinza pesada de termelétrica (baseada na CCU 9246 DAER/RS)			m³	1,02	1,3023	1,33
						TOTAL (E)	37,75
TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
TR010	Cimento Portland CP-32 (Fornecedor - Usina)					0,0699	
TR075	Cinza leve (Termelétrica - Usina)					0,0349	
TR074	Cinza pesada (Termelétrica - Usina)					1,0601	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							41,21
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul Data-base: maio/2014	D N I T	COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO
		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO : Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 11: CP89 / CL5 / Cim6					Código CCU : CCU 13 (Aux)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	0,92	0,08	192,62	13,61	178,30
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1,00	1,00	0,00	87,06	13,61	87,06
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	1,00	1,00	0,00	86,46	9,84	86,46
						TOTAL (A)	351,82
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T501	Encarregado de turma			1,00	16,35		16,35
T701	Servente			6,00	6,93		41,57
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						8,98
						TOTAL (B)	66,90
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			418,72
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	3,46
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
M202	Cimento Portland CP II - 32			kg	0,50	69,8926	35,02
M1000	Cinza leve			kg	0,04	58,2438	2,33
CCU 02 (Aux)	Carga de cinza pesada de termelétrica (baseada na CCU 9246 DAER/RS)			m³	1,02	1,2736	1,30
						TOTAL (E)	38,65
TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
TR010	Cimento Portland CP-32 (Fornecedor - Usina)					0,0699	
TR075	Cinza leve (Termelétrica - Usina)					0,0582	
TR074	Cinza pesada (Termelétrica - Usina)					1,0367	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							42,11
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul Data-base: maio/2014	D N I T	COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO
		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO : Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 12: CP84 / CL10 / Cim6					Código CCU : CCU 14 (Aux)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	0,92	0,08	192,62	13,61	178,30
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1,00	1,00	0,00	87,06	13,61	87,06
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	1,00	1,00	0,00	86,46	9,84	86,46
						TOTAL (A)	351,82
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T501	Encarregado de turma			1,00	16,35		16,35
T701	Servente			6,00	6,93		41,57
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						8,98
						TOTAL (B)	66,90
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			418,72
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	3,46
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
M202	Cimento Portland CP II - 32			kg	0,50	70,6436	35,39
M1000	Cinza leve			kg	0,04	117,7393	4,71
CCU 02 (Aux)	Carga de cinza pesada de termelétrica (baseada na CCU 9246 DAER/RS)			m³	1,02	1,2150	1,24
						TOTAL (E)	41,34
TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
TR010	Cimento Portland CP-32 (Fornecedor - Usina)					0,0706	
TR075	Cinza leve (Termelétrica - Usina)					0,1177	
TR074	Cinza pesada (Termelétrica - Usina)					0,9890	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							44,80
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases.	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul		**Centro Universitário La Salle – Unilasalle**
Data-base: maio/2014		

SERVIÇO : Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 13: CP92 / CL0 / Cim8					Código CCU : CCU 15 (Aux)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	0,92	0,08	192,62	13,61	178,30
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1,00	1,00	0,00	87,06	13,61	87,06
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	1,00	1,00	0,00	86,46	9,84	86,46
						TOTAL (A)	351,82
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T501	Encarregado de turma			1,00	16,35		16,35
T701	Servente			6,00	6,93		41,57
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						8,98
						TOTAL (B)	66,90
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			418,72
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	3,46
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
M202	Cimento Portland CP II - 32			kg	0,50	95,6530	47,92
M1000	Cinza leve			kg	0,04		
CCU 02 (Aux)	Carga de cinza pesada de termelétrica (baseada na CCU 9246 DAER/RS)			m³	1,02	1,3514	1,38
						TOTAL (E)	49,30
TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
TR010	Cimento Portland CP-32 (Fornecedor - Usina)					0,0957	
TR075	Cinza leve (Termelétrica - Usina)						
TR074	Cinza pesada (Termelétrica - Usina)					1,1000	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							52,76
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO** **Centro Universitário La Salle – Unilasalle**

SERVIÇO : Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 14: CP89 / CL3 / Cim8					Código CCU : CCU 16 (Aux)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	0,92	0,08	192,62	13,61	178,30
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1,00	1,00	0,00	87,06	13,61	87,06
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	1,00	1,00	0,00	86,46	9,84	86,46
						TOTAL (A)	351,82
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição		Salarial				Horário
T501	Encarregado de turma			1,00	16,35		16,35
T701	Servente			6,00	6,93		41,57
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						8,98
						TOTAL (B)	66,90
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			418,72
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	3,46
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
M202	Cimento Portland CP II - 32			kg	0,50	95,7843	47,99
M1000	Cinza leve			kg	0,04	35,9191	1,44
CCU 02 (Aux)	Carga de cinza pesada de termelétrica (baseada na CCU 9246 DAER/RS)			m³	1,02	1,3091	1,34
						TOTAL (E)	50,77
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR010	Cimento Portland CP-32 (Fornecedor - Usina)					0,0958	
TR075	Cinza leve (Termelétrica - Usina)					0,0359	
TR074	Cinza pesada (Termelétrica - Usina)					1,0656	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							54,23
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases.	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul		**Centro Universitário La Salle – Unilasalle**
Data-base: maio/2014		

SERVIÇO : Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 15: CP87 / CL5 / Cim8					Código CCU : CCU 17 (Aux)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	0,92	0,08	192,62	13,61	178,30
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1,00	1,00	0,00	87,06	13,61	87,06
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	1,00	1,00	0,00	86,46	9,84	86,46
						TOTAL (A)	351,82
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo Horário
Código	Descrição						
T501	Encarregado de turma			1,00	16,35		16,35
T701	Servente			6,00	6,93		41,57
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						8,98
						TOTAL (B)	66,90
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			418,72
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	3,46
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo Unitário
Código	Descrição						
M202	Cimento Portland CP II - 32			kg	0,50	95,7407	47,97
M1000	Cinza leve			kg	0,04	59,8379	2,39
CCU 02 (Aux)	Carga de cinza pesada de termelétrica (baseada na CCU 9246 DAER/RS)			m³	1,02	1,2791	1,30
						TOTAL (E)	51,66
TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo Unitário
Código	Descrição						
TR010	Cimento Portland CP-32 (Fornecedor - Usina)					0,0957	
TR075	Cinza leve (Termelétrica - Usina)					0,0598	
TR074	Cinza pesada (Termelétrica - Usina)					1,0412	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							55,12
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO : Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 16: CP82 / CL10 / Cim8					Código CCU : CCU 18 (Aux)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	0,92	0,08	192,62	13,61	178,30
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1,00	1,00	0,00	87,06	13,61	87,06
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	1,00	1,00	0,00	86,46	9,84	86,46
						TOTAL (A)	351,82
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição		Salarial				Horário
T501	Encarregado de turma			1,00	16,35		16,35
T701	Servente			6,00	6,93		41,57
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						8,98
						TOTAL (B)	66,90
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0		CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)		418,72
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	3,46
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
M202	Cimento Portland CP II - 32			kg	0,50	95,8390	48,02
M1000	Cinza leve			kg	0,04	119,7988	4,79
CCU 02 (Aux)	Carga de cinza pesada de termelétrica (baseada na CCU 9246 DAER/RS)			m³	1,02	1,2068	1,23
						TOTAL (E)	54,04
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR010	Cimento Portland CP-32 (Fornecedor - Usina)					0,0958	
TR075	Cinza leve (Termelétrica - Usina)					0,1198	
TR074	Cinza pesada (Termelétrica - Usina)					0,9824	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							57,50
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases.	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul		**Centro Universitário La Salle – Unilasalle**
Data-base: maio/2014		

SERVIÇO : Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura ideal=Mistura 15: CP87 / CL5 / Cim8					Código CCU : CCU 27 (Aux)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	0,92	0,08	192,62	13,61	178,30
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1,00	1,00	0,00	87,06	13,61	87,06
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	1,00	1,00	0,00	86,46	9,84	86,46
						TOTAL (A)	351,82
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T501	Encarregado de turma			1,00	16,35		16,35
T701	Servente			6,00	6,93		41,57
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						8,98
						TOTAL (B)	66,90
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0		CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)		418,72
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	3,46
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
M202	Cimento Portland CP II - 32			kg	0,50	95,7407	47,97
M1000	Cinza leve			kg	0,04	59,8379	2,39
CCU 02 (Aux)	Carga de cinza pesada de termelétrica (baseada na CCU 9246 DAER/RS)			m³	1,02	1,2791	1,30
						TOTAL (E)	51,66
TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
TR010	Cimento Portland CP-32 (Fornecedor - Usina)					0,0957	
TR075	Cinza leve (Termelétrica - Usina)					0,0598	
TR074	Cinza pesada (Termelétrica - Usina)					1,0412	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							55,12
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases.	D N I T	COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO
Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul Data-base: maio/2014		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO : Usinagem de Areia/Cz Leve/Cim - Mist. ideal substituindo Cz Pes por Areia					Código CCU : CCU 29 (Aux)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	0,92	0,08	192,62	13,61	178,30
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1,00	1,00	0,00	87,06	13,61	87,06
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	1,00	1,00	0,00	86,46	9,84	86,46
						TOTAL (A)	351,82
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T501	Encarregado de turma			1,00	16,35		16,35
T701	Servente			6,00	6,93		41,57
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						8,98
						TOTAL (B)	66,90
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			418,72
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	3,46
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
M202	Cimento Portland CP II - 32			kg	0,50	95,7407	47,97
M1000	Cinza leve			kg	0,04	59,8379	2,39
1 A 01 170 01	Areia extraída com escavadeira hidráulica			m³	6,69	1,1500	7,69
						TOTAL (E)	58,05
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR010	Cimento Portland CP-32 (Fornecedor - Usina)					0,0957	
TR075	Cinza leve (Termelétrica - Usina)					0,0598	
TR005	Areia (Fornecedor - Usina)					1,8400	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							61,51
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO** **Centro Universitário La Salle – Unilasalle**

SERVIÇO : Usinagem de Areia/Cz Leve/Cim AC - Mist. ideal substituindo Cz Pes por Areia					Código CCU : CCU 31 (Aux)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	1,00	0,92	0,08	192,62	13,61	178,30
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1,00	1,00	0,00	87,06	13,61	87,06
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	1,00	1,00	0,00	86,46	9,84	86,46
						TOTAL (A)	351,82
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR		Padrão Salarial	Quant.		Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T501	Encarregado de turma		1,00		16,35		16,35
T701	Servente		6,00		6,93		41,57
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						8,98
						TOTAL (B)	66,90
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)		121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)				418,72
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	3,46
MATERIAIS			Unidade		Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
M202	Cimento Portland CP II - 32		kg		0,50	95,7407	47,97
M1000	Cinza leve		kg		0,04	59,8379	2,39
1 A 00 716 00	Areia comercial		m³		67,75	1,1500	77,91
						TOTAL (E)	128,27
TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
TR010	Cimento Portland CP-32 (Fornecedor - Usina)					0,0957	
TR075	Cinza leve (Termelétrica - Usina)					0,0598	
TR077	Areia Comercial (Fornecedor - Usina)					1,8400	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							131,73
BONIFICAÇÃO :29,98 %							
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO** **Centro Universitário La Salle – Unilasalle**

APÊNDICE G – Composições principais de custo unitário utilizadas do SICRO2/RS

SERVIÇO : Base ou sub-base de brita graduada					Código CCU : 2 S 02 230 00		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,73	0,27	101,89	9,84	77,04
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1,00	0,75	0,25	105,45	9,84	81,55
E109	Distribuidor de agregados autop. (103 kW)	1,00	0,89	0,11	141,85	13,61	127,74
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	3,56	1,00	0,00	117,56	9,18	418,51
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	1,00	0,70	0,30	117,23	9,18	84,81
						TOTAL (A)	789,65
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição		Salarial				Horário
T511	Encarregado de pavimentação			1,00	26,25		26,25
T701	Servente			3,00	6,93		20,78
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,29
						TOTAL (B)	54,32
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			843,97
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	6,97
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
1 A 01 395 01	Usinagem de brita graduada			m³	49,99	1,0000	49,99
						TOTAL (E)	49,99
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR020	Brita graduada (Usina - Pista)					2,4000	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							56,96
BONIFICAÇÃO :29,98 %							17,08
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							74,04

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 141/2010-ES e DNIT 139/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO : Base ou sub-base de brita graduada BC					Código CCU : 2 S 02 230 50		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,73	0,27	101,89	9,84	77,04
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1,00	0,75	0,25	105,45	9,84	81,55
E109	Distribuidor de agregados autop. (103 kW)	1,00	0,89	0,11	141,85	13,61	127,74
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	3,56	1,00	0,00	117,56	9,18	418,51
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	1,00	0,70	0,30	117,23	9,18	84,81
						TOTAL (A)	789,65
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição		Salarial				Horário
T511	Encarregado de pavimentação			1,00	26,25		26,25
T701	Servente			3,00	6,93		20,78
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,29
						TOTAL (B)	54,32
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			843,97
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	6,97
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
1 A 01 395 51	Usinagcm dc brita graduada BC			m³	94,89	1,0000	94,89
						TOTAL (E)	94,89
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR020	Brita graduada (Usina - Pista)					2,4000	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							101,86
BONIFICAÇÃO :29,98 %							30,54
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							132,40

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 141/2010-ES e DNIT 139/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases.	D N I T	COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO
Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul Data-base: maio/2014		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO : Base ou sub-base de macadame hidráulico					Código CCU : 2 S 02 231 00		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,82	0,18	101,89	9,84	85,33
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1,00	0,79	0,21	105,45	9,84	85,37
E109	Distribuidor de agregados autop. (103 kW)	1,00	1,00	0,00	141,85	13,61	141,85
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	3,68	1,00	0,00	117,56	9,18	432,62
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	1,00	0,79	0,21	117,23	9,18	94,53
						TOTAL (A)	839,70
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T511	Encarregado de pavimentação			1,00	26,25		26,25
T701	Servente			3,00	6,93		20,78
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,29
						TOTAL (B)	54,32
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			136,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			894,02
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	6,57
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
1 A 01 200 01	Brita produzida em central de britagem de 80 m³/h			m³	29,07	1,5000	43,61
						TOTAL (E)	43,61
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR006	Brita (Fornecedor - Usina)					2,2500	
TR013	Brita (Usina - Pista)					2,2500	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							50,18
BONIFICAÇÃO :29,98 %							15,04
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							65,22

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 152/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases.	D N I T	COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO
Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul Data-base: maio/2014		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO : Base ou sub-base de macadame hidráulico BC					Código CCU : 2 S 02 231 50		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,82	0,18	101,89	9,84	85,33
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1,00	0,79	0,21	105,45	9,84	85,37
E109	Distribuidor de agregados autop. (103 kW)	1,00	1,00	0,00	141,85	13,61	141,85
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	3,68	1,00	0,00	117,56	9,18	432,62
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	1,00	0,79	0,21	117,23	9,18	94,53
						TOTAL (A)	839,70
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T511	Encarregado de pavimentação			1,00	26,25		26,25
T701	Servente			3,00	6,93		20,78
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,29
						TOTAL (B)	54,32
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			136,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			894,02
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	6,57
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
1 A 00 717 00	Brita comercial			m³	57,13	1,5000	85,70
						TOTAL (E)	85,70
TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
TR073	Brita Comercial (Fornecedor - Usina)					2,2500	
TR013	Brita (Usina - Pista)					2,2500	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							92,27
BONIFICAÇÃO :29,98 %							27,66
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							119,93

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 152/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO** **Centro Universitário La Salle – Unilasalle**

SERVIÇO : Base ou sub-base de solo cimento com mistura em usina					Código CCU : 2 S 02 241 01		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,73	0,27	101,89	9,84	77,04
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1,00	0,75	0,25	105,45	9,84	81,55
E109	Distribuidor de agregados autop. (103 kW)	1,00	0,89	0,11	141,85	13,61	127,74
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	1,00	0,99	0,01	518,21	13,61	513,16
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	4,02	1,00	0,00	117,56	9,18	472,59
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	1,00	0,70	0,30	117,23	9,18	84,81
						TOTAL (A)	1.356,89
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição		Salarial				Horário
T511	Encarregado de pavimentação			1,00	26,25		26,25
T701	Servente			3,00	6,93		20,78
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,29
						TOTAL (B)	54,32
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			1.411,21
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	11,66
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
1 A 01 396 01	Usinagem de solo-cimento			m³	97,74	1,0000	97,74
						TOTAL (E)	97,74
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR021	Mistura solo-cimento (Usina - Pista)					2,0160	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							109,40
BONIFICAÇÃO :29,98 %							32,80
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							142,20

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO** **Centro Universitário La Salle – Unilasalle**

SERVIÇO : Base ou sub-base de solo melhorado com cimento - mistura em usina					Código CCU : 2 S 02 243 01		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,75	0,25	101,89	9,84	78,88
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1,00	0,77	0,23	105,45	9,84	83,46
E109	Distribuidor de agregados autop. (103 kW)	1,00	0,92	0,08	141,85	13,61	131,59
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	1,00	0,86	0,14	518,21	13,61	447,56
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	4,02	1,00	0,00	117,56	9,18	472,59
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	1,00	0,73	0,27	117,23	9,18	88,05
						TOTAL (A)	1.302,13
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição		Salarial				Horário
T511	Encarregado de pavimentação			1,00	26,25		26,25
T701	Servente			3,00	6,93		20,78
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,29
						TOTAL (B)	54,32
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			125,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			1.356,45
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	10,85
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
1 A 01 396 02	Usinagem de solo melhorado com cimento			m³	53,40	1,0000	53,40
						TOTAL (E)	53,40
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR022	Solo melhorado c/ cimento (Usina - Pista)					1,9280	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							64,25
BONIFICAÇÃO :29,98 %							19,26
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							83,51

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 142/2010-ES e DNIT 140/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO** **Centro Universitário La Salle – Unilasalle**

SERVIÇO : Base ou sub-base de macadame seco BC					Código CCU : CCU 01 (Princ)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,81	0,19	101,89	9,84	84,41
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	1,00	1,00	0,00	117,23	9,18	117,23
E006	Motoniveladora (103 kW)	1,00	1,00	0,00	149,80	13,61	149,80
E002	Trator de esteiras com lâmina (108 kW)	1,00	0,47	0,53	165,37	13,61	84,94
						TOTAL (A)	436,38
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo Horário
Código	Descrição						
T511	Encarregado de pavimentação			1,00	26,25		26,25
T701	Servente			2,00	6,93		13,86
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						6,22
						TOTAL (B)	46,33
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			118,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			482,71
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	4,09
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo Unitário
Código	Descrição						
1 A 00 717 00	Brita comercial			m³	57,13	1,5000	85,70
						TOTAL (E)	85,70
TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo Unitário
Código	Descrição						
TR073	Brita Comercial (Fornecedor - Usina)					2,2500	
TR013	Brita (Usina - Pista)					2,2500	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							89,79
BONIFICAÇÃO :29,98 %							26,92
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							116,71

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DAER-ES-P 07/91

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO: Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 1: CP98 / CL0 / Cim2					Código CCU : CCU 15 (Princ)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,73	0,27	101,89	9,84	77,04
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1,00	0,75	0,25	105,45	9,84	81,55
E109	Distribuidor de agregados autop. (103 kW)	1,00	0,89	0,11	141,85	13,61	127,74
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	1,00	0,99	0,01	518,21	13,61	513,16
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	4,02	1,00	0,00	117,56	9,18	472,59
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	1,00	0,70	0,30	117,23	9,18	84,81
						TOTAL (A)	1.356,89
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T511	Encarregado de pavimentação			1,00	26,25		26,25
T701	Servente			3,00	6,93		20,78
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,29
						TOTAL (B)	54,32
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			1.411,21
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	11,66
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
CCU 03 (Aux)	Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 1: CP98 / CL0 / Cim2			m³	16,47	1,0000	16,47
						TOTAL (E)	16,47
TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
TR076	Mistura cz pes-cz leve-cimento (Usina - Pista)					1,1564	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							28,13
BONIFICAÇÃO :29,98 %							8,43
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							36,56

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO: Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 2: CP95 / CL3 / Cim2					Código CCU : CCU 16 (Princ)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,73	0,27	101,89	9,84	77,04
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1,00	0,75	0,25	105,45	9,84	81,55
E109	Distribuidor de agregados autop. (103 kW)	1,00	0,89	0,11	141,85	13,61	127,74
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	1,00	0,99	0,01	518,21	13,61	513,16
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	4,02	1,00	0,00	117,56	9,18	472,59
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	1,00	0,70	0,30	117,23	9,18	84,81
						TOTAL (A)	1.356,89
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR		Padrão Salarial	Quant.		Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T511	Encarregado de pavimentação		1,00		26,25		26,25
T701	Servente		3,00		6,93		20,78
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,29
						TOTAL (B)	54,32
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)		121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)				1.411,21
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	11,66
MATERIAIS			Unidade		Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
CCU 04 (Aux)	Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 2: CP95 / CL3 / Cim2		m³		17,75	1,0000	17,75
						TOTAL (E)	17,75
TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
TR076	Mistura cz pes-cz leve-cimento (Usina - Pista)					1,1521	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							29,41
BONIFICAÇÃO :29,98 %							8,82
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							38,23

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO: Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 3: CP93 / CL5 / Cim2					Código CCU : CCU 17 (Princ)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,73	0,27	101,89	9,84	77,04
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1,00	0,75	0,25	105,45	9,84	81,55
E109	Distribuidor de agregados autop. (103 kW)	1,00	0,89	0,11	141,85	13,61	127,74
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	1,00	0,99	0,01	518,21	13,61	513,16
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	4,02	1,00	0,00	117,56	9,18	472,59
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	1,00	0,70	0,30	117,23	9,18	84,81
						TOTAL (A)	1.356,89
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T511	Encarregado de pavimentação			1,00	26,25		26,25
T701	Servente			3,00	6,93		20,78
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,29
						TOTAL (B)	54,32
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			1.411,21
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	11,66
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
CCU 05 (Aux)	Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 3: CP93 / CL5 / Cim2			m³	18,64	1,0000	18,64
						TOTAL (E)	18,64
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR076	Mistura cz pes-cz leve-cimento (Usina - Pista)					1,1518	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							30,30
BONIFICAÇÃO :29,98 %							9,08
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							39,38

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO: Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 4: CP88 / CL10 / Cim2					Código CCU : CCU 18 (Princ)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,73	0,27	101,89	9,84	77,04
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1,00	0,75	0,25	105,45	9,84	81,55
E109	Distribuidor de agregados autop. (103 kW)	1,00	0,89	0,11	141,85	13,61	127,74
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	1,00	0,99	0,01	518,21	13,61	513,16
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	4,02	1,00	0,00	117,56	9,18	472,59
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	1,00	0,70	0,30	117,23	9,18	84,81
						TOTAL (A)	1.356,89
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T511	Encarregado de pavimentação			1,00	26,25		26,25
T701	Servente			3,00	6,93		20,78
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,29
						TOTAL (B)	54,32
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			1.411,21
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	11,66
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
CCU 06 (Aux)	Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 4: CP88 / CL10 / Cim2			m³	20,82	1,0000	20,82
						TOTAL (E)	20,82
TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
TR076	Mistura cz pes-cz leve-cimento (Usina - Pista)					1,1478	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							32,48
BONIFICAÇÃO :29,98 %							9,74
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							42,22

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO: Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 5: CP96 / CL0 / Cim4					Código CCU : CCU 19 (Princ)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,73	0,27	101,89	9,84	77,04
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1,00	0,75	0,25	105,45	9,84	81,55
E109	Distribuidor de agregados autop. (103 kW)	1,00	0,89	0,11	141,85	13,61	127,74
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	1,00	0,99	0,01	518,21	13,61	513,16
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	4,02	1,00	0,00	117,56	9,18	472,59
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	1,00	0,70	0,30	117,23	9,18	84,81
						TOTAL (A)	1.356,89
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição		Salarial				Horário
T511	Encarregado de pavimentação			1,00	26,25		26,25
T701	Servente			3,00	6,93		20,78
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,29
						TOTAL (B)	54,32
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			1.411,21
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	11,66
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
CCU 07 (Aux)	Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 5: CP96 / CL0 / Cim4			m³	28,07	1,0000	28,07
						TOTAL (E)	28,07
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR076	Mistura cz pes-cz leve-cimento (Usina - Pista)					1,1586	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							39,73
BONIFICAÇÃO :29,98 %							11,91
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							51,64

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases.	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul		**Centro Universitário La Salle – Unilasalle**
Data-base: maio/2014		

SERVIÇO: Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 6: CP93 / CL3 / Cim4					Código CCU : CCU 20 (Princ)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,73	0,27	101,89	9,84	77,04
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1,00	0,75	0,25	105,45	9,84	81,55
E109	Distribuidor de agregados autop. (103 kW)	1,00	0,89	0,11	141,85	13,61	127,74
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	1,00	0,99	0,01	518,21	13,61	513,16
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	4,02	1,00	0,00	117,56	9,18	472,59
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	1,00	0,70	0,30	117,23	9,18	84,81
						TOTAL (A)	1.356,89
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T511	Encarregado de pavimentação			1,00	26,25		26,25
T701	Servente			3,00	6,93		20,78
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,29
						TOTAL (B)	54,32
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			1.411,21
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	11,66
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
CCU 08 (Aux)	Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 6: CP93 / CL3 / Cim4			m³	29,40	1,0000	29,40
						TOTAL (E)	29,40
TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
TR076	Mistura cz pes-cz leve-cimento (Usina - Pista)					1,1577	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							41,06
BONIFICAÇÃO :29,98 %							12,31
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							53,37

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO: Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 7: CP91 / CL5 / Cim4					Código CCU : CCU 21 (Princ)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,73	0,27	101,89	9,84	77,04
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1,00	0,75	0,25	105,45	9,84	81,55
E109	Distribuidor de agregados autop. (103 kW)	1,00	0,89	0,11	141,85	13,61	127,74
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	1,00	0,99	0,01	518,21	13,61	513,16
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	4,02	1,00	0,00	117,56	9,18	472,59
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	1,00	0,70	0,30	117,23	9,18	84,81
						TOTAL (A)	1.356,89
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T511	Encarregado de pavimentação			1,00	26,25		26,25
T701	Servente			3,00	6,93		20,78
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,29
						TOTAL (B)	54,32
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			1.411,21
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	11,66
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
CCU 09 (Aux)	Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 7: CP91 / CL5 / Cim4			m³	30,32	1,0000	30,32
						TOTAL (E)	30,32
TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
TR076	Mistura cz pes-cz leve-cimento (Usina - Pista)					1,1588	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							41,98
BONIFICAÇÃO :29,98 %							12,59
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							54,57

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO: Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 8: CP86 / CL10 / Cim4					Código CCU : CCU 22 (Princ)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,73	0,27	101,89	9,84	77,04
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1,00	0,75	0,25	105,45	9,84	81,55
E109	Distribuidor de agregados autop. (103 kW)	1,00	0,89	0,11	141,85	13,61	127,74
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	1,00	0,99	0,01	518,21	13,61	513,16
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	4,02	1,00	0,00	117,56	9,18	472,59
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	1,00	0,70	0,30	117,23	9,18	84,81
						TOTAL (A)	1.356,89
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo Horário
Código	Descrição						
T511	Encarregado de pavimentação			1,00	26,25		26,25
T701	Servente			3,00	6,93		20,78
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,29
						TOTAL (B)	54,32
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			1.411,21
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	11,66
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo Unitário
Código	Descrição						
CCU 10 (Aux)	Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 8: CP86 / CL10 / Cim4			m³	32,54	1,0000	32,54
						TOTAL (E)	32,54
TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo Unitário
Código	Descrição						
TR076	Mistura cz pes-cz leve-cimento (Usina - Pista)					1,1578	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							44,20
BONIFICAÇÃO :29,98 %							13,25
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							57,45

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul Data-base: maio/2014	D N I T	COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO: Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 9: CP94 / CL0 / Cim6					Código CCU : CCU 23 (Princ)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,73	0,27	101,89	9,84	77,04
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1,00	0,75	0,25	105,45	9,84	81,55
E109	Distribuidor de agregados autop. (103 kW)	1,00	0,89	0,11	141,85	13,61	127,74
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	1,00	0,99	0,01	518,21	13,61	513,16
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	4,02	1,00	0,00	117,56	9,18	472,59
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	1,00	0,70	0,30	117,23	9,18	84,81
						TOTAL (A)	1.356,89
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T511	Encarregado de pavimentação			1,00	26,25		26,25
T701	Servente			3,00	6,93		20,78
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,29
						TOTAL (B)	54,32
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			1.411,21
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	11,66
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
CCU 11 (Aux)	Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 9: CP94 / CL0 / Cim6			m³	39,46	1,0000	39,46
						TOTAL (E)	39,46
TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
TR076	Mistura cz pes-cz leve-cimento (Usina - Pista)					1,1525	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							51,12
BONIFICAÇÃO :29,98 %							15,33
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							66,45

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO: Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 10: CP91 / CL3 / Cim6					Código CCU : CCU 24 (Princ)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,73	0,27	101,89	9,84	77,04
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1,00	0,75	0,25	105,45	9,84	81,55
E109	Distribuidor de agregados autop. (103 kW)	1,00	0,89	0,11	141,85	13,61	127,74
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	1,00	0,99	0,01	518,21	13,61	513,16
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	4,02	1,00	0,00	117,56	9,18	472,59
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	1,00	0,70	0,30	117,23	9,18	84,81
						TOTAL (A)	1.356,89
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T511	Encarregado de pavimentação			1,00	26,25		26,25
T701	Servente			3,00	6,93		20,78
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,29
						TOTAL (B)	54,32
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			1.411,21
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						|(A)+(B)|/(C) = (D)	11,66
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
CCU 12 (Aux)	Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 10: CP91 / CL3 / Cim6			m³	41,21	1,0000	41,21
						TOTAL (E)	41,21
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR076	Mistura cz pes-cz leve-cimento (Usina - Pista)					1,1649	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							52,87
BONIFICAÇÃO :29,98 %							15,85
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							68,72

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO: Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 11: CP89 / CL5 / Cim6					Código CCU : CCU 25 (Princ)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,73	0,27	101,89	9,84	77,04
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1,00	0,75	0,25	105,45	9,84	81,55
E109	Distribuidor de agregados autop. (103 kW)	1,00	0,89	0,11	141,85	13,61	127,74
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	1,00	0,99	0,01	518,21	13,61	513,16
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	4,02	1,00	0,00	117,56	9,18	472,59
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	1,00	0,70	0,30	117,23	9,18	84,81
						TOTAL (A)	1.356,89
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T511	Encarregado de pavimentação			1,00	26,25		26,25
T701	Servente			3,00	6,93		20,78
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,29
						TOTAL (B)	54,32
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			1.411,21
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	11,66
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
CCU 13 (Aux)	Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 11: CP89 / CL5 / Cim6			m³	42,11	1,0000	42,11
						TOTAL (E)	42,11
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR076	Mistura cz pes-cz leve-cimento (Usina - Pista)					1,1649	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							53,77
BONIFICAÇÃO :29,98 %							16,12
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							69,89

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO: Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 12: CP84 / CL10 / Cim6					Código CCU : CCU 26 (Princ)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,73	0,27	101,89	9,84	77,04
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1,00	0,75	0,25	105,45	9,84	81,55
E109	Distribuidor de agregados autop. (103 kW)	1,00	0,89	0,11	141,85	13,61	127,74
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	1,00	0,99	0,01	518,21	13,61	513,16
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	4,02	1,00	0,00	117,56	9,18	472,59
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	1,00	0,70	0,30	117,23	9,18	84,81
						TOTAL (A)	1.356,89
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição		Salarial				Horário
T511	Encarregado de pavimentação			1,00	26,25		26,25
T701	Servente			3,00	6,93		20,78
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,29
						TOTAL (B)	54,32
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			1.411,21
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	11,66
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
CCU 14 (Aux)	Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 12: CP84 / CL10 / Cim6			m³	44,80	1,0000	44,80
						TOTAL (E)	44,80
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR076	Mistura cz pes-cz leve-cimento (Usina - Pista)					1,1774	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							56,46
BONIFICAÇÃO :29,98 %							16,93
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							73,39

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO: Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 13: CP92 / CL0 / Cim8					Código CCU : CCU 33 (Princ)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,73	0,27	101,89	9,84	77,04
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1,00	0,75	0,25	105,45	9,84	81,55
E109	Distribuidor de agregados autop. (103 kW)	1,00	0,89	0,11	141,85	13,61	127,74
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	1,00	0,99	0,01	518,21	13,61	513,16
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	4,02	1,00	0,00	117,56	9,18	472,59
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	1,00	0,70	0,30	117,23	9,18	84,81
						TOTAL (A)	1.356,89
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T511	Encarregado de pavimentação			1,00	26,25		26,25
T701	Servente			3,00	6,93		20,78
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,29
						TOTAL (B)	54,32
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			1.411,21
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	11,66
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
CCU 15 (Aux)	Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 13: CP92 / CL0 / Cim8			m³	52,76	1,0000	52,76
						TOTAL (E)	52,76
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR076	Mistura cz pes-cz leve-cimento (Usina - Pista)					1,1957	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							64,42
BONIFICAÇÃO :29,98 %							19,31
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							83,73

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO: Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 14: CP89 / CL3 / Cim8					Código CCU : CCU 34 (Princ)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,73	0,27	101,89	9,84	77,04
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1,00	0,75	0,25	105,45	9,84	81,55
E109	Distribuidor de agregados autop. (103 kW)	1,00	0,89	0,11	141,85	13,61	127,74
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	1,00	0,99	0,01	518,21	13,61	513,16
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	4,02	1,00	0,00	117,56	9,18	472,59
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	1,00	0,70	0,30	117,23	9,18	84,81
						TOTAL (A)	1.356,89
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR		Padrão Salarial	Quant.		Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T511	Encarregado de pavimentação		1,00		26,25		26,25
T701	Servente		3,00		6,93		20,78
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,29
						TOTAL (B)	54,32
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)		121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)				1.411,21
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	11,66
MATERIAIS			Unidade		Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
CCU 16 (Aux)	Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 14: CP89 / CL3 / Cim8		m³		54,23	1,0000	54,23
						TOTAL (E)	54,23
TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
TR076	Mistura cz pes-cz leve-cimento (Usina - Pista)					1,1973	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							65,89
BONIFICAÇÃO :29,98 %							19,75
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							85,64

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO** **Centro Universitário La Salle – Unilasalle**

SERVIÇO: Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 15: CP87 / CL5 / Cim8					Código CCU : CCU 35 (Princ)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,73	0,27	101,89	9,84	77,04
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1,00	0,75	0,25	105,45	9,84	81,55
E109	Distribuidor de agregados autop. (103 kW)	1,00	0,89	0,11	141,85	13,61	127,74
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	1,00	0,99	0,01	518,21	13,61	513,16
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	4,02	1,00	0,00	117,56	9,18	472,59
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	1,00	0,70	0,30	117,23	9,18	84,81
						TOTAL (A)	1.356,89
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T511	Encarregado de pavimentação			1,00	26,25		26,25
T701	Servente			3,00	6,93		20,78
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,29
						TOTAL (B)	54,32
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			1.411,21
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	11,66
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
CCU 17 (Aux)	Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 15: CP87 / CL5 / Cim8			m³	55,12	1,0000	55,12
						TOTAL (E)	55,12
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR076	Mistura cz pes-cz leve-cimento (Usina - Pista)					1,1968	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							66,78
BONIFICAÇÃO :29,98 %							20,02
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							86,80

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
		Centro Universitário La Salle – Unilasalle

SERVIÇO: Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura 16: CP82 / CL10 / Cim8					Código CCU : CCU 36 (Princ)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,73	0,27	101,89	9,84	77,04
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1,00	0,75	0,25	105,45	9,84	81,55
E109	Distribuidor de agregados autop. (103 kW)	1,00	0,89	0,11	141,85	13,61	127,74
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	1,00	0,99	0,01	518,21	13,61	513,16
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	4,02	1,00	0,00	117,56	9,18	472,59
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	1,00	0,70	0,30	117,23	9,18	84,81
						TOTAL (A)	1.356,89
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR		Padrão Salarial	Quant.		Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T511	Encarregado de pavimentação		1,00		26,25		26,25
T701	Servente		3,00		6,93		20,78
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,29
						TOTAL (B)	54,32
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)		121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)				1.411,21
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	11,66
MATERIAIS			Unidade		Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
CCU 18 (Aux)	Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura 16: CP82 / CL10 / Cim8		m³		57,50	1,0000	57,50
						TOTAL (E)	57,50
TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
TR076	Mistura cz pes-cz leve-cimento (Usina - Pista)					1,1980	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							69,16
BONIFICAÇÃO :29,98 %							20,73
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							89,89

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO** **Centro Universitário La Salle – Unilasalle**

SERVIÇO: Base ou sub-base de Cz Pes/Cz Leve/Cim em usina - Mistura ideal=Mistura 15: CP87 / CL5 / Cim8					Código CCU : CCU 28 (Princ)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,73	0,27	101,89	9,84	77,04
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1,00	0,75	0,25	105,45	9,84	81,55
E109	Distribuidor de agregados autop. (103 kW)	1,00	0,89	0,11	141,85	13,61	127,74
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	1,00	0,99	0,01	518,21	13,61	513,16
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	4,02	1,00	0,00	117,56	9,18	472,59
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	1,00	0,70	0,30	117,23	9,18	84,81
						TOTAL (A)	1.356,89
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição		Salarial				Horário
T511	Encarregado de pavimentação			1,00	26,25		26,25
T701	Servente			3,00	6,93		20,78
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,29
						TOTAL (B)	54,32
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0		CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)		1.411,21
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	11,66
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
CCU 27 (Aux)	Usinagem de Cz Pes/Cz Leve/Cim - Mistura ideal=Mistura 15: CP87 / CL5 / Cim8			m³	55,12	1,0000	55,12
						TOTAL (E)	55,12
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR076	Mistura cz pes-cz leve-cimento (Usina - Pista)					1,1968	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							66,78
BONIFICAÇÃO :29,98 %							20,02
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							86,80

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases.	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul		**Centro Universitário La Salle – Unilasalle**
Data-base: maio/2014		

SERVIÇO: Base ou sub-base de Areia/Cz Leve/Cim em usina - Mist. ideal substituindo Cz Pes por Areia					Código CCU : CCU 30 (Princ)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,73	0,27	101,89	9,84	77,04
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1,00	0,75	0,25	105,45	9,84	81,55
E109	Distribuidor de agregados autop. (103 kW)	1,00	0,89	0,11	141,85	13,61	127,74
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	1,00	0,99	0,01	518,21	13,61	513,16
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	4,02	1,00	0,00	117,56	9,18	472,59
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	1,00	0,70	0,30	117,23	9,18	84,81
						TOTAL (A)	1.356,89
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão Salarial	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição						Horário
T511	Encarregado de pavimentação			1,00	26,25		26,25
T701	Servente			3,00	6,93		20,78
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,29
						TOTAL (B)	54,32
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			1.411,21
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	11,66
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
CCU 29 (Aux)	Usinagem de Areia/Cz Leve/Cim - Mist. ideal substituindo Cz Pes por Areia			m³	61,51	1,0000	61,51
						TOTAL (E)	61,51
TRANSPORTE		DMT (N PAV)	DMT (PAV)	DMT (TOT)	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
TR078	Mistura areia-cz leve-cimento (Usina - Pista)					1,9956	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							73,17
BONIFICAÇÃO :29,98 %							21,94
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							95,11

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases. **Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul** **Data-base: maio/2014**	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO** **Centro Universitário La Salle – Unilasalle**

SERVIÇO: Base ou sub-base de Areia/Cz Leve/Cim em usina AC-Mist. ideal substituindo Cz Pes por Areia					Código CCU : CCU 32 (Princ)		UNIDADE : R$/m³
EQUIPAMENTO		Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo
Código	Descrição		Operativo	Improd.	Operativo	Improd.	Horário
E102	Rolo compact. tanden vibrat. autop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,73	0,27	101,89	9,84	77,04
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1,00	0,75	0,25	105,45	9,84	81,55
E109	Distribuidor de agregados autop. (103 kW)	1,00	0,89	0,11	141,85	13,61	127,74
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	1,00	0,99	0,01	518,21	13,61	513,16
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	4,02	1,00	0,00	117,56	9,18	472,59
E407	Caminhão tanque 10.000 L (210 kW)	1,00	0,70	0,30	117,23	9,18	84,81
						TOTAL (A)	1.356,89
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR			Padrão	Quant.	Salário Base		Custo
Código	Descrição		Salarial				Horário
T511	Encarregado de pavimentação			1,00	26,25		26,25
T701	Servente			3,00	6,93		20,78
	EPI's, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						7,29
						TOTAL (B)	54,32
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0		CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)		1.411,21
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO						[(A)+(B)]/(C) = (D)	11,66
MATERIAIS				Unidade	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição						Unitário
CCU 31 (Aux)	Usinagem de Areia/Cz Leve/Cim AC - Mist. ideal substituindo Cz Pes por Areia			m³	131,73	1,0000	131,73
						TOTAL (E)	131,73
TRANSPORTE		DMT	DMT	DMT	Custo	Consumo	Custo
Código	Descrição	(N PAV)	(PAV)	(TOT)			Unitário
TR078	Mistura areia-cz leve-cimento (Usina - Pista)					1,9956	
						TOTAL (F)	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							143,39
BONIFICAÇÃO :29,98 %							42,99
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							186,38

OBSERVAÇÕES :

Especificação de serviço : DNIT 143/2010-ES

Dissertação: Viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de cinzas pesadas de carvão em bases e sub-bases.	**D N I T**	**COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO**
Base de preço: SICRO2 - Rio Grande do Sul		**Centro Universitário La Salle – Unilasalle**
Data-base: maio/2014		

ANEXO A – Ensaios elaborados junto a CIENTEC/RS

MASSA UNITÁRIA NO ESTADO SECO

CIENTEC
FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

MÉTODO:
( ) NBR 7182/88 - ( ) DNER ME 129/94 - ( ) DNER ME 162/94

AMOSTRA Nº: CINZA PESADA TORA 100/0/0

Data do início repouso : ____/____/____ Hora:_____ Data do início do ensaio : 27/10/14 Hora:_____

Secagem da amostra Hora inicial: _____ Temp.: _____ Data: ___/___/___ Estufa: _____

Hora final: _____ Temp.: _____ Data : ___/___/___ Balança: _____

Peso da amostra: Energia de compactação:

MOLDE Nº.	100	100	100	100	100
ÁGUA ADICIONADA (ml)	–	–	–	–	–
CAMADAS x Nº. DE GOLPES	–	–	–	–	–
PESO AM. ~~ÚMIDA~~ SECA + MOLDE (g)	7154	7134	7182	7168	7177
PESO DO MOLDE (g)	5483	5483	5483	5483	5483
PESO AMOSTRA ÚMIDA (g)	–	–	–	–	–
VOLUME DO MOLDE (cm³)	2074	2074	2074	2074	2074
M.E.A. ÚMIDA (kg/m³)					
CÁPSULA Nº.					
AM. ÚMIDA + CÁPSULA (g)					
AM. SECA + CÁPSULA (g)					
AM. SECA + CÁPSULA (g)			MÉDIA: 0,814		
PESO DA CÁPSULA (g)					
PESO DA AMOSTRA SECA (g)					
UMIDADE (%)					
UMIDADE MÉDIA (%)	0	0	0	0	0
M.E.A. SECA (kg/m³)	0,806	0,794 *	0,819	0,812	0,817

Data: 27/10/14 Laboratorista: Resp. Técnico: PO. 706.02.003 Rev.:

Mod. 97

CIENTEC
FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

MÉTODO:
(X) NBR 7182/88 - ( ) DNER ME 129/94 - ( ) DNER ME 162/94

AMOSTRA Nº: CINZA PESADA PURA 100/0/0

Data do início repouso : -/-/- Hora: - Data do início do ensaio : 22/10/14 Hora: 9:40

Secagem da amostra Hora inicial: 11:00 Temp.: 105,0 Data: 22/10/14 Estufa: 08.03.37.0077

Hora final: 8:20 Temp.: 105 Data : 23/10/14 Balança: 03.03.18-135

Peso da amostra: 1700 Energia de compactação: INTERMEDIÁRIO

MOLDE Nº.	5			5			5			5			5		
ÁGUA ADICIONADA (ml)	100			130			160			190			20		
CAMADAS x Nº. DE GOLPES	3/21			3/21			3/21			3/21			3/21		
PESO AM. ÚMIDA + MOLDE (g)	3735			3769			3786			3775			3703		
PESO DO MOLDE (g)	2285			2285			2285			2285			2285		
PESO AMOSTRA ÚMIDA (g)	DESPREZADO														
VOLUME DO MOLDE (cm³)	992			992			992			992			992		
M.E.A. ÚMIDA (kg/m³)	1462			1496			1513						1429		
CÁPSULA Nº.	315	316	317	318	319	320	321	322	323	330	331	332	325	328	324
AM. ÚMIDA + CÁPSULA (g)	129,93	120,03	123,71	130,89	118,61	118,31	129,80	124,61	125,45	128,96	131,72	129,08	120,30	118,27	121,51
AM. SECA + CÁPSULA (g)	104,18	96,88	99,55	103,78	94,71	94,89	103,27	97,28	98,02	100,15	101,57	97,22	98,24	96,63	99,59
AM. SECA + CÁPSULA (g)	104,18	96,88	99,54	103,78	94,71	94,89	103,27	97,29	98,02	100,15	101,57	97,22	98,24	99,63	99,59
PESO DA CÁPSULA (g)	27,79	28,28	28,38	27,48	27,06	28,23	29,03	27,37	27,34	29,74	28,59	24,66	27,73	27,34	30,26
PESO DA AMOSTRA SECA (g)														-	-
UMIDADE (%)	33,7	33,7	34,0	35,5	35,3	35,1	35,7	39,1	38,8	40,9	41,3	41,2	31,2	31,2	31,7
UMIDADE MÉDIA (%)	33,8 (X)			35,3			39,0			41,1			31,4		
M.E.A. SECA (kg/m³)	1092 (X)			1106			1088			1064			1088		

Data: 24/10/14 Laboratorista: Resp. Técnico: PO. 706.02.003 Rev.: (-)

Mod. 97

269

CIENTEC
FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

MÉTODO:
(x) NBR 7182/88 - ( ) DNER ME 129/94 - ( ) DNER ME 162/94

AMOSTRA Nº: CINZA PESADA RIO. 100/0/0

Data do início repouso: - / - / - Hora: - Data do início do ensaio: 23/10/14 Hora: 15:10

Secagem da amostra Hora inicial: 14:30 Temp.: 105,0 Data: 23/10/14 Estufa: _____

Hora final: 9:00 Temp.: 105 Data: 24/10/14 Balança: _____

Peso da amostra: 1700 Energia de compactação: INTERMEDIÁRIO

MOLDE Nº.	5															
ÁGUA ADICIONADA (ml)	100															
CAMADAS x Nº. DE GOLPES	3|21															
PESO AM. ÚMIDA + MOLDE (g)	3743															
PESO DO MOLDE (g)	2285															
PESO AMOSTRA ÚMIDA (g)																
VOLUME DO MOLDE (cm³)	992															
M.E.A. ÚMIDA (kg/m³)	1470															
CÁPSULA Nº.	1	2	3													
AM. ÚMIDA + CÁPSULA (g)	251,18	241,09	227,81													
AM. SECA + CÁPSULA (g)	207,97	200,70	190,66													
AM. SECA + CÁPSULA (g)	207,97	200,71	190,67													
PESO DA CÁPSULA (g)	78,99	80,51	80,43													
PESO DA AMOSTRA SECA (g)	-	-	-													
UMIDADE (%)	33,5	33,6	33,7													
UMIDADE MÉDIA (%)	33,6															
M.E.A. SECA (kg/m³)	1100															

Data: 23/10/14 Laboratorista: Resp. Técnico: PO. 706.02.003 Rev.: 0

Mod. 97

270

CIENTEC
FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

MÉTODO:
(x) NBR 7182/88 - ( ) DNER ME 129/94 - ( ) DNER ME 162/94

AMOSTRA Nº MISTURA - 1
98/0/2

271

Data do início repouso : 27/10/14 Hora: — Data do início do ensaio : 28/10/14 Hora: 8:40

Secagem da amostra Hora inicial: 16:00 Temp.: 105,0 Data: 28/10/14 Estufa: 03.03.37.0077

Hora final: 9:10 Temp.: 105,0 Data : 29/10/14 Balança: 03.03.18.135

Peso da amostra: 1400 Energia de compactação: INTERMEDIÁRIO

MOLDE Nº.	5			5			5			5			5		
ÁGUA ADICIONADA (ml)	180			60			90			120			150		
CAMADAS x Nº. DE GOLPES	3/21			3/21			3/21			3/21			3/21		
PESO AM. ÚMIDA + MOLDE (g)	3807			3702			3767			3816			3822		
PESO DO MOLDE (g)	2285			2285			2285			2285			2285		
PESO AMOSTRA ÚMIDA (g)	—			—			—			—					
VOLUME DO MOLDE (cm³)	992			992			992			992			992		
M.E.A. ÚMIDA (kg/m³)	1534			1428			1494			1543			1549		
CÁPSULA Nº.	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344
AM. ÚMIDA + CÁPSULA (g)	128,82	131,86	121,99	98,14	105,47	112,00	112,39	122,71	117,44	126,64	136,52	129,63	120,51	128,08	121,80
AM. SECA + CÁPSULA (g)	101,61	103,52	95,52	81,47	87,78	92,98	92,56	100,06	95,92	102,20	109,64	103,81	96,10	101,86	97,21
AM. SECA + CÁPSULA (g)	101,61	103,52	95,52	81,44	87,78	92,98	92,56	100,06	95,91	102,20	109,64	103,80	96,11	101,86	97,20
PESO DA CÁPSULA (g)	29,74	28,59	24,66	25,23	26,91	28,66	29,78	28,18	27,24	28,49	29,72	27,71	28,63	28,82	29,52
PESO DA AMOSTRA SECA (g)															
UMIDADE (%)	37,9	37,8	37,4	29,7	29,1	29,6	31,6	31,6	31,4	33,2	33,6	33,9	36,2	35,9	36,3
UMIDADE MÉDIA (%)	37,7			29,5			31,6			33,6			36,1		
M.E.A. SECA (kg/m³)	1114			1103			1135			1155			1138		

Data: 29/10/14 Laboratorista: Resp. Técnico: PO. 706.02.003 Rev.: 5

Mod. 97

CIENTEC
FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

MÉTODO:
(N NBR 7182/88 - ( ) DNER ME 129/94 - ( ) DNER ME 162/94

AMOSTRA Nº MISTURA - 4
08/10/2

Data do início repouso : ____ / ____ / ____ Hora: —
Secagem da amostra Hora inicial: ____ Temp.: 105,0 Data: 28/10/14
Hora final: ____ Temp.: 105,0 Data: 29/10/14

Data do início do ensaio : 28 / 10 / 14 Hora: 13.30
Estufa: 03.03.37.0077
Balança: 03.03.10.135

Peso da amostra: 1400 Energia de compactação: INTERMEDIÁRIA

MOLDE Nº.	5			5			5			5			5		
ÁGUA ADICIONADA (ml)	90			120			150			180			210		
CAMADAS x Nº. DE GOLPES	3/21			3/21			3/21			3/21			3/21		
PESO AM. ÚMIDA + MOLDE (g)	3703			3746			3790			3810			3800		
PESO DO MOLDE (g)	2285			2285			2285			2285			2285		
PESO AMOSTRA ÚMIDA (g)	—			—			—			—			—		
VOLUME DO MOLDE (cm³)	992			992			992			992			992		
M.E.A. ÚMIDA (kg/m³)	1429			1473			1517			1515 1537			1527		
CÁPSULA Nº.	321	322	323	324	325	326	327	328	329	~~330~~	316	317	318	319	320
AM. ÚMIDA + CÁPSULA (g)	114,61	116,45	115,27	116,89	119,85	110,23	117,03	114,76	114,35	120,82	120,90	121,75	122,18	125,85	117,14
AM. SECA + CÁPSULA (g)	~~97~~ 95,73	96,84	95,88	96,66	98,90	90,88	95,15	93,14	92,99	96,98	96,78	97,89	96,79	99,64	93,50
AM. SECA + CÁPSULA (g)	95,73	96,83	95,87	96,65	98,91	90,88	95,14	93,11	92,99	96,98	96,81	97,89	96,79	99,64	93,50
PESO DA CÁPSULA (g)	29,03	27,37	27,34	30,26	27,73	28,03	28,24	27,34	29,71	27,79	28,28	28,38	27,48	27,06	28,23
PESO DA AMOSTRA SECA (g)															
UMIDADE (%)	28,3	28,2	28,3	30,5	29,4	30,8	32,7	32,9	33,9	34,4	35,2	34,3	36,6	36,1	36,2
UMIDADE MÉDIA (%)	28,3			30,6			32,8			34,3			36,3		
M.E.A. SECA (kg/m³)	1114			1128			1142			1145			1121		

Data: 29/10/14 Laboratorista: Resp. Técnico:

PO. 706.02.003 Rev.: 0

Mod. 97

272

CIENTEC
FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

MÉTODO:
(X) NBR 7182/88 - ( ) DNER ME 129/94 - ( ) DNER ME 162/94

AMOSTRA Nº (911514) MISTURA - 7

Data do início repouso: - / - / - Hora: - Data do início do ensaio: 23/10/14 Hora: 9:00
Secagem da amostra Hora inicial: 11:00 Temp.: 105,0 Data: 23/10/14 Estufa: 03.03.37.0077
Hora final: 9:00 Temp.: 105,0 Data 24/10/14 Balança: 03.03.18.135

Peso da amostra: 1700 Energia de compactação: INTERMEDIÁRIO

MOLDE Nº.	5			5			5			5			5		
ÁGUA ADICIONADA (ml)	245			103			140			175			210		
CAMADAS x Nº. DE GOLPES	3/21			3/21			3/21			3/21			3/21		
PESO AM. ÚMIDA + MOLDE (g)	3793			3846 3746			3786			3825			3819		
PESO DO MOLDE (g)	2285			2285			2285			2285			2285		
PESO AMOSTRA ÚMIDA (g)	-			-			-			-			-		
VOLUME DO MOLDE (cm³)	992			992			992			992			992		
M.E.A. ÚMIDA (kg/m³)	1520			1473			1513						1546		
CÁPSULA Nº.	326	327	329	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344
AM. ÚMIDA + CÁPSULA (g)	123,30	122,12	133,34	115,40	112,26	116,51	122,57	124,31	124,37	128,01	129,70	125,55	128,20	127,51	133,03
AM. SECA + CÁPSULA (g)	96,11	95,26	89,46	93,16	92,95	96,46	100,02	101,02	100,77	102,66	101,01	100,65	101,38	100,61	105,72
AM. SECA + CÁPSULA (g)	96,11	95,26	89,45	95,16	92,95	96,46	100,01	101,03	100,77	102,67	101,02	100,65	101,39	100,62	105,72
PESO DA CÁPSULA (g)	28,03	28,24	29,71	25,23	26,91	28,66	29,78	28,18	27,24	28,49	29,72	27,71	28,63	28,82	29,52
PESO DA AMOSTRA SECA (g)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
UMIDADE (%)	39,9	40,2	40,0	28,9	29,2	29,6	32,1	32,0	32,2	34,2	34,6	34,1	36,0	37,4	36,9
UMIDADE MÉDIA (%)	40,0			29,2			32,1			34,3			37,0		
M.E.A. SECA (kg/m³)	1086			1140			1145			1156			1129		

Data: 23/10/14 Laboratorista: Resp. Técnico: PO. 706.02.003 Rev.: (3)

Mod. 97

CIENTEC
FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

MÉTODO:
(X) NBR 7182/88 - ( ) DNER ME 129/94 - ( ) DNER ME 162/94

AMOSTRA Nº (94/016) MISTURA - 9

Data do início repouso : -/-/- Hora: -
Secagem da amostra Hora inicial: 9:30 Temp.: 105,0 Data: 22/10/14
Hora final: 8:20 Temp.: 105,0 Data: 23/10/14

Data do início do ensaio : 22/10/14 Hora: 8:00
Estufa: 03.03.37.0077
Balança: 03.03.18.135

Peso da amostra: 1700 Energia de compactação: INTERMEDIÁRIO

MOLDE Nº.	09			05			05			05			05		
ÁGUA ADICIONADA (ml)	85			100			135			170			205		
CAMADAS x Nº. DE GOLPES	3|21			3|21			3|21			3|21			3|25		
PESO AM. ÚMIDA + MOLDE (g)	3702			3746			3786			3804			3800		
PESO DO MOLDE (g)	2285			2285			2285			2285			2285		
PESO AMOSTRA ÚMIDA (g)	-			-			-			-			-		
VOLUME DO MOLDE (cm³)	992			992			992			992			992		
M.E.A. ÚMIDA (kg/m³)	1428			1473			1513			1531			1527		
CÁPSULA Nº.	326	327	329	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344
AM. ÚMIDA + CÁPSULA (g)	120,72	120,12	122,31	110,03	114,26	112,37	127,81	123,82	124,51	125,95	130,65	129,15	119,69	121,49	121,66
AM. SECA + CÁPSULA (g)	100,55	100,13	101,97	90,42	94,14	92,80	104,15	100,69	100,95	101,48	105,44	103,58	95,97	97,52	97,48
AM. SECA + CÁPSULA (g)	100,55	100,13	101,98	90,42	94,12	92,80	104,12	100,69	100,94	101,48	105,46	~~103,57~~ 103,50	95,97	97,50	97,48
PESO DA CÁPSULA (g)	28,03	28,24	29,71	25,23	26,91	28,66	29,78	28,18	27,28	28,49	29,72	27,71	28,63	28,82	29,52
PESO DA AMOSTRA SECA (g)															
UMIDADE (%)	27,8	27,8	28,1	30,1	~~28,0~~ 30,0	30,5	31,9	31,9	32,0	33,5	33,3	33,7	35,2	34,9	35,6
UMIDADE MÉDIA (%)	27,9			30,2			31,9			33,5			35,2		
M.E.A. SECA (kg/m³)	1117			1130			1147			1147			~~1115~~ 1130		

Data: 24/10/14 Laboratorista: Resp. Técnico:

PO 706.02.003 Rev.: 03

Mod. 97

CIENTEC
FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

MÉTODO:
( ) NBR 7182/88 - ( ) DNER ME 129/94 - ( ) DNER ME 162/94

AMOSTRA Nº 84/10/6
MISTURA - 12

Data do início repouso: - / - / - Hora: - Data do início do ensaio: 23/10/14 Hora: 10:00
Secagem da amostra Hora inicial: 16:00 Temp.: 105° Data: 23/10/14 Estufa: 03.03.37.0077
Hora final: 9:10 Temp.: 105° Data: 24/10/14 Balança: 03.03.18.135

Peso da amostra: Energia de compactação:

MOLDE Nº.	5			5			5			5			5			
ÁGUA ADICIONADA (ml)	70			105			140			175			210			
CAMADAS x Nº. DE GOLPES	3|21			3|21			3|21			3|21			3|21			
PESO AM. ÚMIDA + MOLDE (g)	3712			3754			3794			3825			3817			
PESO DO MOLDE (g)	2285			2285			2285			2285			2285			
PESO AMOSTRA ÚMIDA (g)	-			-			-			-			-			
VOLUME DO MOLDE (cm³)	992			992			992			992			992			
M.E.A. ÚMIDA (kg/m³)	1438			1481			1521			1552			1544			
CÁPSULA Nº.	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	332	331	330	
AM. ÚMIDA + CÁPSULA (g)	111,65	120,95	119,51	123,46	120,74	121,74	119,24	116,77	113,24	127,93	120,97	122,82	118,51	117,32	114,73	
AM. SECA + CÁPSULA (g)	94,40	101,94	100,92	102,37	100,28	101,36	98,28	95,96	93,37	104,19	98,01	99,57	93,47	94,19	92,76	
AM. SECA + CÁPSULA (g)	94,40	101,93	100,92	102,38	100,28	101,36	98,29	95,95	93,37	104,19	98,01	99,57	93,98	94,19	92,74	
PESO DA CÁPSULA (g)	27,79	28,28	28,38	27,48	27,06	28,23	29,03	27,37	27,34	30,26	27,73	27,34	24,66	28,59	27,77	
PESO DA AMOSTRA SECA (g)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
UMIDADE (%)	25,9	25,8	25,6	28,1	27,9	27,9	30,2	30,4	30,1	32,1	32,7	32,2	35,3	35,3	34,9	
UMIDADE MÉDIA (%)	25,9			27,9			30,2			32,3			35,2			
M.E.A. SECA (kg/m³)	1143			1158			1168			1173			1142			

Data: 23/10/14 Laboratorista: Resp. Técnico: PO. 706.02.003 Rev.: 4

Mod. 97

CIENTEC
FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

MÉTODO:
(X) NBR 7182/88 - ( ) DNER ME 129/94 - ( ) DNER ME 162/94

AMOSTRA Nº
MISTURA - 13
92/0/8

Data do início repouso : —/—/— Hora: — Data do início do ensaio : 04/11/14 Hora: 8:30

Secagem da amostra Hora inicial: 16:00 Temp.: 105,0 Data: 04/11/14 Estufa: 03.03.37.077

Hora final: 8:40 Temp.: 105,0 Data: 05/11/14 Balança: 03.03.18.135

Peso da amostra: 1600 Energia de compactação:

MOLDE Nº.	5			5			5			5			5		
ÁGUA ADICIONADA (ml)	220			250			130			160			190		
CAMADAS x Nº. DE GOLPES	3|21			3|21			3|21			3|21			3|21		
PESO AM. ÚMIDA + MOLDE (g)	~~4846~~ 3846			3820			3777			3819			3857		
PESO DO MOLDE (g)	2285			2285			2285			2285			2285		
PESO AMOSTRA ÚMIDA (g)	—			—			—			—			—		
VOLUME DO MOLDE (cm³)	992			992			992			992			992		
M.E.A. ÚMIDA (kg/m³)	1574			1547			1504			1546			1585		
CÁPSULA Nº.	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329
AM. ÚMIDA + CÁPSULA (g)	125,13	129,12	130,08	129,07	128,30	133,71	117,25	119,85	111,53	125,76	124,40	119,41	127,08	124,18	127,31
AM. SECA + CÁPSULA (g)	100,26	~~105,27~~ 103,27	104,14	102,41	100,81	105,31	97,66	99,19	92,83	103,59	101,76	97,96	102,66	100,38	103,24
AM. SECA + CÁPSULA (g)	100,27	103,26	104,13	102,41	100,80	105,30	97,66	99,18	92,81	103,58	101,76	97,96	102,65	100,38	103,24
PESO DA CÁPSULA (g)	27,79	28,28	28,38	27,48	27,06	28,23	29,03	27,37	27,34	30,26	27,73	28,03	28,24	27,34	29,71
PESO DA AMOSTRA SECA (g)															
UMIDADE (%)	34,3	34,5	34,2	36,6	37,3	36,9	28,5	28,8	28,6	30,2	30,6	30,7	32,8	32,6	32,7
UMIDADE MÉDIA (%)	34,3	~~30,3~~		36,9			28,6			30,5			32,7		
M.E.A. SECA (kg/m³)	~~1208~~	1172		1130			1170			~~1185~~	1185		1194		

Data: 04/11/14 Laboratorista: Resp. Técnico: PO. 706.02.003 Rev.: 17

Mod. 97

276

CIENTEC
FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

MÉTODO:
(X) NBR 7182/88 - ( ) DNER ME 129/94 - ( ) DNER ME 162/94

AMOSTRA Nº MISTURA - 15
07/5/18

277

Data do início repouso: 7 - 1 - Hora: - Data do início do ensaio: 14/11/14 Hora: 9:10

Secagem da amostra Hora inicial: 13:10 Temp.: 105° Data: 14/11/14 Estufa: 03.03.37.0077

Hora final: 9:10 Temp.: 105° Data: 17/11/14 Balança: 03-03-18-135

Peso da amostra: 1300 Energia de compactação: INTERMEDIÁRIA

MOLDE Nº.	05			05			05			05			05		
ÁGUA ADICIONADA (ml)	220			100			130			160			190		
CAMADAS x Nº. DE GOLPES	3|21			3|21			3|21			3|21			3|21		
PESO AM. ÚMIDA + MOLDE (g)	3823			3732			3708			3839			3843		
PESO DO MOLDE (g)	2285			2285			2285			2285			2285		
PESO AMOSTRA ÚMIDA (g)	-			-			-			-			-		
VOLUME DO MOLDE (cm³)	992			992			992			992			992		
M.E.A. ÚMIDA (kg/m³)	1550			1459			1515			1566			1570		
CÁPSULA Nº.	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329
AM. ÚMIDA + CÁPSULA (g)	107,81	120,13	128,33	118,75	118,03	120,44	122,14	119,38	124,38	124,38	124,00	119,66	124,28	122,66	126,11
AM. SECA + CÁPSULA (g)	86,43	95,54	101,72	99,39	98,76	100,96	101,08	98,53	102,29	101,61	100,84	97,52	100,07	98,75	101,78
AM. SECA + CÁPSULA (g)	86,43	95,54	101,73	99,38	98,77	100,96	101,07	98,53	102,24	101,61	100,83	97,52	100,07	98,75	101,79
PESO DA CÁPSULA (g)	27,79	28,28	28,38	27,48	27,06	28,23	29,03	27,37	27,34	30,26	27,73	28,03	28,24	27,24	29,71
PESO DA AMOSTRA SECA (g)															
UMIDADE (%)	36,4	36,6	36,3	26,9	26,8	26,8	29,2	29,3	29,5	31,9	31,7	31,9	33,7	33,4	33,7
UMIDADE MÉDIA (%)	36,4			26,8			29,3			31,8			33,6		
M.E.A. SECA (kg/m³)	1136			1151			1172			1188			1175		

Data: 14/11/14 Laboratorista: Resp. Técnico: PO. 706.02.003 Rev.: (32)

Mod. 97

CIENTEC
FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

MÉTODO:
(X) NBR 7182/88 - ( ) DNER ME 129/94 - ( ) DNER ME 162/94

AMOSTRA Nº: MISTURA - 16
02/10/14

Data do início repouso: -/-/- Hora: -
Secagem da amostra Hora inicial: 16:00 Temp.: 104,0 Data: 04/11/14
Hora final: 8:40 Temp.: 105,0 Data: 05/11/14

Data do início do ensaio: 04/11/14 Hora: 10:40
Estufa: 03.03.37.0077
Balança: 03.03.18.135

Peso da amostra: 1400 Energia de compactação: INTERMEDIÁRIA

MOLDE Nº.	5			5			5			5			5		
ÁGUA ADICIONADA (ml)	130			160			190			220			100		
CAMADAS x Nº. DE GOLPES	3|21			3|21			3|21			3|21			3|21		
PESO AM. ÚMIDA + MOLDE (g)	3790			3836			3859			3834			3741		
PESO DO MOLDE (g)	2285			2285			2285			2285			2285		
PESO AMOSTRA ÚMIDA (g)	-			-			-			-			-		
VOLUME DO MOLDE (cm³)	992			992			992			992			992		
M.E.A. ÚMIDA (kg/m³)	1517			1564			1587			1561			1468		
CÁPSULA Nº.	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344
AM. ÚMIDA + CÁPSULA (g)	118,11	117,19	115,85	116,76	122,22	121,57	132,98	132,08	130,10	123,48	127,50	124,06	123,43	115,33	115,67
AM. SECA + CÁPSULA (g)	97,88	96,88	95,06	94,86	99,29	99,48	107,29	106,18	104,47	98,53	101,96	98,72	103,17	96,98	97,42
AM. SECA + CÁPSULA (g)	97,87	96,88	95,06	94,86	99,30	99,48	107,29	106,18	104,46	98,52	101,95	98,71	103,17	96,98	97,42
PESO DA CÁPSULA (g)	29,74	28,59	24,66	25,23	26,91	28,66	29,78	28,18	27,24	28,49	29,72	27,71	29,63	28,02	29,52
PESO DA AMOSTRA SECA (g)															
UMIDADE (%)	29,7	29,7	29,7	31,4	31,7	31,2	33,2	33,2	33,2	35,6	35,4	35,7	27,2	26,9	26,9
UMIDADE MÉDIA (%)	29,7			31,4			33,2			35,6			27,0		
M.E.A. SECA (kg/m³)	1170			1190			1191			1151			1156		

Data: 04/11/14 Laboratorista: Resp. Técnico: PO. 706.02.003 Rev.: 01

Mod. 97

278

CIENTEC
FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

MÉTODO: NBR ME 049/64

AMOSTRA Nº: CINZA PESADA 100/0/0

Data: 24/10/14 Operador: Norma: (12)

Dados de ensaio

Molde Nº 88
Nº da célula: CPL. 4000 kg
Constante do anel:
Energia de comp.: INTERMEDIÁRIA

Ensaio de Compactação

Tipo de material: CINZA PESADA PURA
Massa específica aparente seca
Máxima: 1110 kg/m³
Umidade ótima: 35,7 %

Resultados

M.E.A. Seca: 1107 kg/m³
Grau de compactação: 99,7 %
Variação da umidade: 0 %
I.S.C.: 49,1 %
Expansão: 0,06% ≈ 0,1 %

Expansão

Tempo de leitura	Leitura de ensaio (mm)	Data
(1) Inicial	3,00	24/10/14
24 h	3,04	27/10/14
48 h	3,06	28/10/14
72 h	3,06	29/10/14
(5) Final	3,07	30/10/14

(6) Diferença: (5) - (1) = 0,07 mm
Expansão: (6) / 11,49 = 0,06 %

Leitura

Tempo (min.)	Penetr. (mm)	Leitura	Leitura Corrigida	Pressão (Kg/cm²)	I.S.C.
0,5	0,63	0,061=61			
1,0	1,27	138			
1,5	1,90	204			
2,0	2,54	260		260	46,1
3,0	3,81	356			
4,0	5,08	416		416	49,1
6,0	7,62	510			
8,0	10,16	572			
10,0	12,70	632			

Determinação do teor de umidade higroscópica

Cápsula Nº	03	72	81
Peso úmido + cápsula	216,90	241,91	229,37
Peso seco + cápsula	187,71	207,35	197,90
Peso seco + cápsula	187,71	207,35	197,90
Peso seco + cápsula	—	—	—
Peso da água	—	—	—
Peso da cápsula	80,43	80,10	81,56
Peso do solo seco	—	—	—
Teor de umidade	27,2	27,2	27,0
Teor de umidade médio		27,1	

H. 11,5 + 4 cm.

Secagem da amostra:

Data: 23/10/14 Hora inicial: 15:10 Temp.: 105,0
Data: 24/10/14 Hora final: 9:00 Temp.: 105,0
Data: 24/10/14 Hora inicial: 15:45 Temp.: 105,0
Data: 27/10/14 Hora final: 9:00 Temp.: 105,0

Equipamentos utilizados:

Balança: 03.03.18.081
Estufa: 03.03.37.077
Termômetro: —

Moldagem

Peso da amostra seca	2883
Peso da amostra na umidade ótima	3912
Peso da amostra na umidade higroscópica	3664
Água — Teórica	248
Água — Evaporação	7
Água — Total	255

M.E.A. Seca

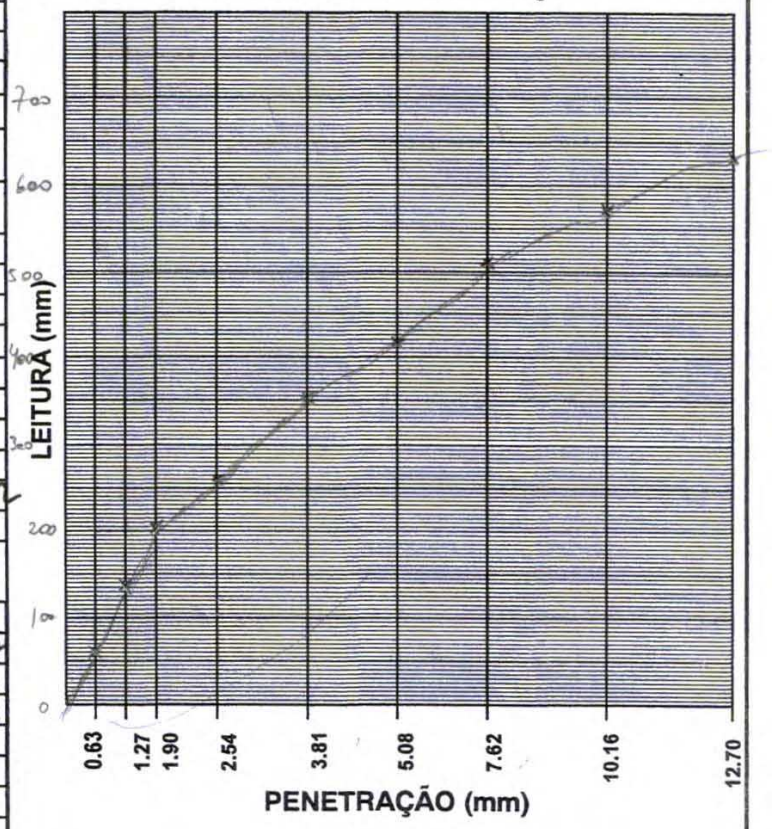
Volume da amostra	2078
Peso do molde+solo+água	7562
Peso do molde	4440
Peso do solo + água	
M.E.A. Úmida	1507
M.E.A. Seca	1107

Cte. = 0,124

Determinação do teor de umidade moldagem

Cápsula Nº	327	328	329
Peso úmido + cápsula	117,28	117,66	118,07
Peso seco + cápsula	93,88	93,81	95,46
Peso seco + cápsula	93,86	93,81	95,46
Peso seco + cápsula	—	—	—
Peso da cápsula	28,24	27,34	29,71
Peso do solo seco	—	—	—
Teor de umidade %	35,7	35,9	35,6
Umidade média %		35,7	

CURVA LEITURA - PENETRAÇÃO



Data: 24/10/14 Laboratorista: Resp. Técnico:

Mod. 289

CIENTEC
FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

MÉTODO: NBR ME 049/64 (7 dias de cura)

AMOSTRA Nº MISTURA - 15 87/5/8

Data: 17/11/14 Operador: Norma: (33)

Dados de ensaio

Molde Nº 88
Nº da célula:
Constante do anel:
Energia de comp.: INTERMEDIÁRIA

Ensaio de Compactação

Tipo de material: CINZA PESADA
Massa específica aparente seca
Máxima: 1188 kg/m³
Umidade ótima: 32,0 %

Resultados

M.E.A. Seca: 1157 kg/m³
Grau de compactação: 97,4 %
Variação da umidade: +0,2 %
I.S.C.: 265,7% %
Expansão: 0,1% %

Expansão

Tempo de leitura	Leitura de ensaio (mm)	Data
(1) Inicial	3,34	17/11/14
24 h	3,39	18/11/14
48 h	3,43	20/11
72 h	3,45	21/11
(5) Final	3,45	24/11

(6) Diferença: (5) - (1) = 0,11 mm
Expansão: (6) / 11,49 cm = 0,09%

Leitura

Tempo (min.)	Penetr. (mm)	Leitura	Leitura Corrigida	Pressão (Kg/cm²)	I.S.C.
0,5	0,63	508			
1,0	1,27	880			
1,5	1,90	1260			
2,0	2,54	245 → 1465		1500	265,7%
3,0	3,81				
4,0	5,08				
6,0	7,62				
8,0	10,16				
10,0	12,70				

CURA = 7 dias

Determinação do teor de umidade higroscópica

Cápsula Nº	100	101	102
Peso úmido + cápsula	105,42	109,85	100,05
Peso seco + cápsula	88,79	92,65	84,81
Peso seco + cápsula	88,79	92,65	84,81
Peso seco + cápsula	—	—	—
Peso da água	—	—	—
Peso da cápsula	27,34	28,68	28,46
Peso do solo seco	—	—	—
Teor de umidade	27,1	26,9	27,0
Teor de umidade médio	27,0		

Secagem da amostra:
Data: 13/11/14 Hora inicial: 16:12 Temp.: 105
Data: 17/11/14 Hora final: 9:20 Temp.: 105
Data: 17/11/14 Hora inicial: 10:00 Temp.: 105
Data: 18/11/14 Hora final: 11:10 Temp.: 105

Equipamentos utilizados:
Balança: 03.03.18.135
Estufa: 03.03.37.007
Termômetro: —

Moldagem

Peso da amostra seca		3500
Peso da amostra na umidade ótima		4620
Peso da amostra na umidade higroscópica		4322
Água	Teórica	298
	Evaporação	07
	Total	305

M.E.A. Seca

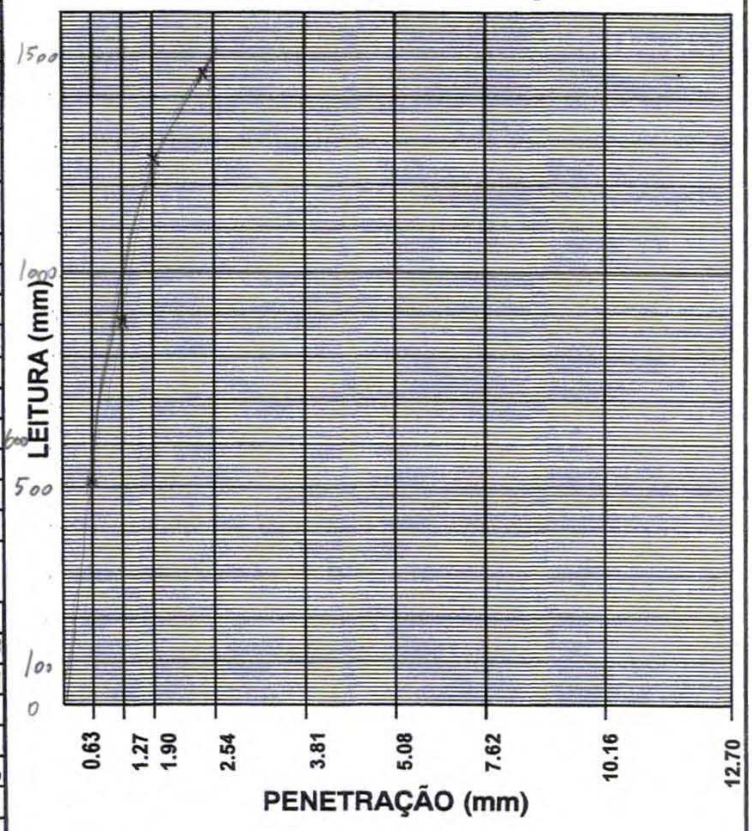
Volume da amostra	2078
Peso do molde+solo+água	7619
Peso do molde	4440
Peso do solo + água	—
M.E.A. Úmida	
M.E.A. Seca	1157

Determinação do teor de umidade moldagem

Cápsula Nº	100	101	102
Peso úmido + cápsula	110,03	119,67	121,38
Peso seco + cápsula	89,78	97,55	98,81
Peso seco + cápsula	89,78	97,53	98,81
Peso seco + cápsula	—	—	—
Peso da cápsula	27,34	28,68	28,46
Peso do solo seco	—	—	—
Teor de umidade %	32,4	32,1	32,1
Umidade média %	32,2		

CPL 4000 kg → Cte = 0,124

CURVA LEITURA - PENETRAÇÃO



Mod. 289

Data: 17/11/14 Laboratorista: Resp. Técnico:

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

AMOSTRA Nº: CINZA PESADA 100/0/0

PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA: UT. CHARQUEADAS (13)

DADOS DE ENSAIO

MOLDE Nº	
ÁREA DO C.P. (cm²)	19,64
CAMADAS × Nº GOLPES	
M.E.A. MÁXIMA (kg/m³)	1110
UMIDADE ÓTIMA (%)	35,7
MOLDAGEM	
PESO DA AMOSTRA SECA (kg)	900
PESO DA AMOSTRA NA UMIDADE ÓTIMA (kg)	1224
PESO DA AMOSTRA NA UM. HIGROSCÓPICA (kg)	1144
ÁGUA (ml)	80

ENERGIA DE COMPACTAÇÃO: INTERMEDIÁRIA

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCOPICA

MATERIAIS	SOLO		CINZA		CAL	
CAPSULA Nº						
PESO ÚMIDO + CÁPSULA (g)						
PESO SECO + CÁPSULA (g)						
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)						
PESO DO SOLO SECO (g)						
TEOR DE UMIDADE (%)						
UMIDADE MÉDIA (%)	27,1					

VOLUME: 196,35 cm³

COMPONENTES DA MISTURA	COMPOSIÇÃO DA MISTURA MAT. SECOS (%)	PESO SECO (g)	UMIDADE HIGROSCÓPICA (%)	PESO C/UMIDADE HIGROSCÓPICA (g)	COMPOSIÇÃO DA MISTURA C/UM. HIGROSC. (%)	%DE UMIDADE DA MISTURA C/ UM. HIGROSC. (%)
SOLO						
CINZA P	100,0	900	27,1	1144	3 ×	98,75
CAL						
PESO - TOTAL DA MISTURA (g) =				1144		MÉDIA

COMPRESSÃO SIMPLES	CORPO-DE-PROVA Nº 1		CORPO-DE-PROVA Nº 2		CORPO-DE-PROVA Nº 3	
PESO DA AMOSTRA COMPACTADA (g)	295,98		296,00		295,93	
CONTROLE DE UMIDADE	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA
CÁPSULA Nº	315		316		317	
AMOSTRA ÚMIDA + CÁPSULA (g)	106,22		104,93		106,99	
AMOSTRA SECA + CÁPSULA (g)	85,55		84,71		86,24	
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)	27,79		29,20		28,30	
PESO DA AMOSTRA SECA (g)						
UMIDADE (%) 35,8	~~37,1~~		35,8		35,9	
DATAS DA MOLDAGEM E RUPTURA	27/10	03/11	27/10	03/11	27/10	03/11
IDADE EM DIAS	7		7		7	
LEITURA NO DEFLETÔMETRO						
CONSTANTE DO ANEL						
FORÇA DE RUPTURA (kgf)						
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (~~kgf/cm²~~ MPa)	CP PERDIDO		0,14 ✓		0,13 ✓	
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES MÉDIA (~~kgf/cm²~~ MPa)					0,14 MPa	

DATA: 27/10/14 CALCULADOR: OPERADOR:

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

CIENTEC

AMOSTRA Nº: MISTURA-1 98/02

PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA: UT. CHARQUEADAS (19)

VOLUME: 1963,5 cm³

DADOS DE ENSAIO	
MOLDE Nº	
ÁREA DO C.P. (cm²)	19,64
CAMADAS x Nº GOLPES	
M.E.A. MÁXIMA (kg/m³)	1156
UMIDADE ÓTIMA (%)	34,0
MOLDAGEM	
PESO DA AMOSTRA SECA (kg)	1200
PESO DA AMOSTRA NA UMIDADE OTIMA (kg)	1612
PESO DA AMOSTRA NA UM. HIGROSCÓPICA (kg)	1533
ÁGUA (ml)	80

ENERGIA DE COMPACTAÇÃO: INTERMEDIÁRIA

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCOPICA

MATERIAIS	SOLO		CINZA P.		CIM. ~~CAE~~	
CAPSULA Nº						
PESO ÚMIDO + CÁPSULA (g)						
PESO SECO + CÁPSULA (g)						
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)						
PESO DO SOLO SECO (g)						
TEOR DE UMIDADE (%)						
UMIDADE MÉDIA (%)			28,3		0	

COMPONENTES DA MISTURA	COMPOSIÇÃO DA MISTURA MAT. SECOS (%)	PESO SECO (g)	UMIDADE HIGROSCÓPICA (%)	PESO C/UMIDADE HIGROSCÓPICA (g)	COMPOSIÇÃO DA MISTURA C/UM. HIGROSC. (%)	%DE UMIDADE DA MISTURA C/ UM. HIGROSC. (%)
~~SOLO~~						
CINZA P	98	1176	28,3	1509 ~~1774~~	3X	10160
~~CAE~~ CIM.	2	24	0	24		1
PESO - TOTAL DA MISTURA (g) =				1533		MÉDIA

COMPRESSÃO SIMPLES	4	CORPO-DE-PROVA Nº 1		CORPO-DE-PROVA Nº 2		CORPO-DE-PROVA Nº 3	
PESO DA AMOSTRA COMPACTADA (g)	3023	301,80		302,08		301,98	
CONTROLE DE UMIDADE		MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA
CÁPSULA Nº	315	316		317		318	
AMOSTRA ÚMIDA + CÁPSULA (g)	96,94	81,42		85,36		93,42	
AMOSTRA SECA + CÁPSULA (g)	79,51	68,02		71,04		76,86	
PESO DA ÁGUA (g)							
PESO DA CÁPSULA (g)	27,78	28,20		28,38		27,40	
PESO DA AMOSTRA SECA (g)							
UMIDADE (%)	33,7	33,7		33,6		33,5	
DATAS DA MOLDAGEM E RUPTURA	29/10 05/11	29/10	05/11	29/10	05/11	29/10	05/11
IDADE EM DIAS		7		7		7	
LEITURA NO DEFLETÔMETRO							
CONSTANTE DO ANEL							
FORÇA DE RUPTURA (kgf)							
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (kgf/cm²)	0,24 ~~0,24~~	0,24	0,25	0,24	0,23	0,26	0,26
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES MÉDIA (~~kgf/cm²~~ MPa)						0,25 MPa	

DATA: 29/10/14 CALCULADOR: OPERADOR:

210 x 297 mm

CIENTEC — 128

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

AMOSTRA Nº: MISTURA - 2
95/3/2

PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA: UT. CHARQUEADAS (21)

VOLUME: 196,35 cm³

DADOS DE ENSAIO		ENERGIA DE COMPACTAÇÃO: INTERMEDIÁRIA							
MOLDE Nº		DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCOPICA							
ÁREA DO C.P. (cm²)	~~196,35~~ 19,63*	MATERIAIS	cP. SOLO		CINZA L.		CIM. ~~CAL~~	
CAMADAS × Nº GOLPES		CAPSULA Nº						
M.E.A. MÁXIMA (kg/m³)	1152	PESO ÚMIDO + CÁPSULA (g)						
UMIDADE ÓTIMA (%)	34,0	PESO SECO + CÁPSULA (g)						
MOLDAGEM		PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA AMOSTRA SECA (kg)	900	PESO DA CÁPSULA (g)						
PESO DA AMOSTRA NA UMIDADE OTIMA (kg)	1210	PESO DO SOLO SECO (g)						
PESO DA AMOSTRA NA UM. HIGROSCÓPICA (kg)	1114	TEOR DE UMIDADE (%)						
ÁGUA (ml)	96	UMIDADE MÉDIA (%)	24,5		17,8		0	

COMPONENTES DA MISTURA	COMPOSIÇÃO DA MISTURA MAT. SECOS (%)	PESO SECO (g)	UMIDADE HIGROSCÓPICA (%)	PESO C/UMIDADE HIGROSCÓPICA (g)	COMPOSIÇÃO DA MISTURA C/UM. HIGROSC. (%)	%DE UMIDADE DA MISTURA C/ UM. HIGROSC. (%)
~~SOLO~~ cP.	95	855	24,5	1064		
CINZA L.	3	27	17,8	31,8	3X	101,25
~~CAL~~ CIM.	2	18	0	18,0		
900	PESO - TOTAL DA MISTURA (g) =			1114		MÉDIA

COMPRESSÃO SIMPLES	CORPO-DE-PROVA Nº 1		CORPO-DE-PROVA Nº 2		CORPO-DE-PROVA Nº 3	
PESO DA AMOSTRA COMPACTADA (g)	302,59		303,35		303,38	
CONTROLE DE UMIDADE	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA
CÁPSULA Nº	336		337		338	
AMOSTRA ÚMIDA + CÁPSULA (g)	87,75		89,55		86,33	
AMOSTRA SECA + CÁPSULA (g)	72,97		73,87		71,24	
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)	29,70		28,18		27,24	
PESO DA AMOSTRA SECA (g)						
UMIDADE (%)	34,2		34,3		34,3	
DATAS DA MOLDAGEM E RUPTURA	05/11	12/11	05/11	12/11	05/11	12/11
IDADE EM DIAS	7		7		7	
LEITURA NO DEFLETÔMETRO						
CONSTANTE DO ANEL						
FORÇA DE RUPTURA (kgf)						
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (MPa / kgf/cm²)	0,26 0,25 MPa		0,26 ✓		0,27 ✓	
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES MÉDIA (kgf/cm²)	MPa				0,26 MPa	

DATA: 05/11/14 | CALCULADOR: | OPERADOR:

210 x 297 mm

CIENTEC — 128

CIENTEC

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

AMOSTRA Nº: MISTURA - 3
93/5/2

PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA: UT. CHARQUEADAS (22)

DADOS DE ENSAIO		ENERGIA DE COMPACTAÇÃO:
MOLDE Nº		DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCOPICA
ÁREA DO C.P. (cm²)	19,63	
CAMADAS × Nº GOLPES		
M.E.A. MÁXIMA (kg/m³)	~~3470~~ 1157	
UMIDADE ÓTIMA (%)	34,0	
MOLDAGEM		
PESO DA AMOSTRA SECA (kg)	900	
PESO DA AMOSTRA NA UMIDADE OTIMA (kg)	1210	
PESO DA AMOSTRA NA UM. HIGROSCÓPICA (kg)	1113	
ÁGUA (ml)	97	

MATERIAIS	C.P. SOLO		CINZA L.		~~CAL~~	
CAPSULA Nº						
PESO ÚMIDO + CÁPSULA (g)						
PESO SECO + CÁPSULA (g)						
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)						
PESO DO SOLO SECO (g)						
TEOR DE UMIDADE (%)						
UMIDADE MÉDIA (%)	24,5		17,8		0	

VOLUME: 196,35 cm³

COMPONENTES DA MISTURA	COMPOSIÇÃO DA MISTURA MAT. SECOS (%)	PESO SECO (g)	UMIDADE HIGROSCÓPICA (%)	PESO C/UMIDADE HIGROSCÓPICA (g)	COMPOSIÇÃO DA MISTURA C/UM. HIGROSC. (%)	%DE UMIDADE DA MISTURA C/ UM. HIGROSC. (%)
~~SOLO~~ C.P.	93	837	24,5	1042		
CINZA L.	5	45	17,8	53	3 × 10 1,25	
~~CAL~~ CIM.	2	18	0	18		
900	PESO TOTAL DA MISTURA (g) =			1113		MÉDIA

COMPRESSÃO SIMPLES	CORPO-DE-PROVA Nº 1		CORPO-DE-PROVA Nº 2		CORPO-DE-PROVA Nº 3	
PESO DA AMOSTRA COMPACTADA (g)	303,72		303,33		309,87	
CONTROLE DE UMIDADE	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA
CÁPSULA Nº	333		334		335	
AMOSTRA ÚMIDA + CÁPSULA (g)	70,61		88,41		80,65	
AMOSTRA SECA + CÁPSULA (g)	58,99		72,69		67,37	
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g) 25,23	~~25,23~~		26,91		29,66	
PESO DA AMOSTRA SECA (g)						
UMIDADE (%)	34,4		34,3		34,3	
DATAS DA MOLDAGEM E RUPTURA	05/11	12/11	05/11	12/11	05/11	12/11
IDADE EM DIAS	7		7		7	
LEITURA NO DEFLETÔMETRO						
CONSTANTE DO ANEL						
FORÇA DE RUPTURA (kgf)						
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (MPa kgf/cm²)	✓ 0,27 MPa		0,30 ✓		0,30 (0,31)	
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES MÉDIA (kgf/cm²)	MPa				✓ 0,29 MPa	

DATA: 05/11/14 | CALCULADOR: | OPERADOR:

210 × 297 mm

CIENTEC — 128

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

AMOSTRA Nº: MISTURA-4 08/10/2

PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA: UT. CHARQUEADAS (2.0)

VOLUME: 196,35 cm³

DADOS DE ENSAIO	
MOLDE Nº	
ÁREA DO C.P. (cm²)	19,64
CAMADAS × Nº GOLPES	~~H26~~ H27
M.E.A. MÁXIMA (kg/m³)	~~1148~~ 1148
UMIDADE ÓTIMA (%)	33,9
MOLDAGEM	
PESO DA AMOSTRA SECA (kg)	1200
PESO DA AMOSTRA NA UMIDADE OTIMA (kg)	1606
PESO DA AMOSTRA NA UM. HIGROSCÓPICA (kg)	1519
ÁGUA (ml)	87

ENERGIA DE COMPACTAÇÃO: INTERMEDIÁRIA

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCOPICA

MATERIAIS	CP ~~SOLO~~		CINZA LEVE		~~CAL~~ CIM.	
CÁPSULA Nº						
PESO ÚMIDO + CÁPSULA (g)						
PESO SECO + CÁPSULA (g)						
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)						
PESO DO SOLO SECO (g)						
TEOR DE UMIDADE (%)						
UMIDADE MÉDIA (%)	28,2		17,8		0	

COMPONENTES DA MISTURA	COMPOSIÇÃO DA MISTURA MAT. SECOS (%)	PESO SECO (g)	UMIDADE HIGROSCÓPICA (%)	PESO C/UMIDADE HIGROSCÓPICA (g)	COMPOSIÇÃO DA MISTURA C/UM. HIGROSC. (%)	%DE UMIDADE DA MISTURA C/ UM. HIGROSC. (%)
~~SOLO~~ C.P.	88	1056	28,2	1354		
CINZA L.	10	120	17,8	141,36	3×	100,90
~~CAL~~ C.M.	2	24	0	24		
PESO - TOTAL DA MISTURA (g) =				1519		MÉDIA

COMPRESSÃO SIMPLES 4		CORPO-DE-PROVA Nº 1		CORPO-DE-PROVA Nº 2		CORPO-DE-PROVA Nº 3	
PESO DA AMOSTRA COMPACTADA (g)	303,96	303,87		304,19		303,98	
CONTROLE DE UMIDADE		MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA
CÁPSULA Nº	319	320	~~327~~	321		322	
AMOSTRA ÚMIDA + CÁPSULA (g)	~~98~~ 91,21	86,20		89,22		86,29	
AMOSTRA SECA + CÁPSULA (g)	75,02	71,46		74,01		71,37	
PESO DA ÁGUA (g)							
PESO DA CÁPSULA (g)	27,06	28,23		29,03		27,37	
PESO DA AMOSTRA SECA (g)							
UMIDADE (%)	33,8	34,1		33,8		33,9	
DATAS DA MOLDAGEM E RUPTURA	29/10/03/11	29/10	5/11	29/10	05/11	29/10	05/11
IDADE EM DIAS	7	7		7		7	
LEITURA NO DEFLETÔMETRO							
CONSTANTE DO ANEL							
FORÇA DE RUPTURA (kgf)				FORA DOS 90%			
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (kgf/cm²)	0,38 0,37	0,29 ✓		0,25 ⊗		CP PERDIDO	
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES MÉDIA (~~kgf/cm²~~) MPa						0,33 MPa	

DATA: 29/10/14 CALCULADOR: OPERADOR:

210 × 297 mm

CIENTEC — 128

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

AMOSTRA Nº: MISTURA - 5
26/01/14

PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA: UT. CHARQUEADAS (23)

VOLUME: 1963 cm³

DADOS DE ENSAIO	
MOLDE Nº	
ÁREA DO C.P. (cm²)	19,63
CAMADAS × Nº GOLPES	
M.E.A. MÁXIMA (kg/m³)	1158
UMIDADE ÓTIMA (%)	33,9
MOLDAGEM	
PESO DA AMOSTRA SECA (kg)	900
PESO DA AMOSTRA NA UMIDADE OTIMA (kg)	1210
PESO DA AMOSTRA NA UM. HIGROSCÓPICA (kg)	1112
ÁGUA (ml)	98

ENERGIA DE COMPACTAÇÃO: INTERMEDIÁRIA

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCOPICA

MATERIAIS	cl. ~~SOLO~~		CINZA L.		CIM ~~CAL~~	
CAPSULA Nº						
PESO ÚMIDO + CÁPSULA (g)						
PESO SECO + CÁPSULA (g)						
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)						
PESO DO SOLO SECO (g)						
TEOR DE UMIDADE (%)						
UMIDADE MÉDIA (%)	24,5		17,8		0	

COMPONENTES DA MISTURA	COMPOSIÇÃO DA MISTURA MAT. SECOS (%)	PESO SECO (g)	UMIDADE HIGROSCÓPICA (%)	PESO C/UMIDADE HIGROSCÓPICA (g)	COMPOSIÇÃO DA MISTURA C/UM. HIGROSC. (%)	%DE UMIDADE DA MISTURA C/ UM. HIGROSC. (%)
~~SOLO~~ cl	96	864	24,5	1076		
CINZA L.	0	0	0	0	3×101,90	
~~CAL~~ CIM.	4	36	0	36		
PESO - TOTAL DA MISTURA (g) =				1112		MÉDIA

COMPRESSÃO SIMPLES	CORPO-DE-PROVA Nº 1		CORPO-DE-PROVA Nº 2		CORPO-DE-PROVA Nº 3	
PESO DA AMOSTRA COMPACTADA (g)	304,16		303,97		304,83	
CONTROLE DE UMIDADE	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA
CÁPSULA Nº	330		331		332	
AMOSTRA ÚMIDA + CÁPSULA (g)	89,17		85,97		89,53	
AMOSTRA SECA + CÁPSULA (g)	73,99		71,36		72,99	
PESO DA ÁGUA (g)	29,74		28,59		24,66	
PESO DA CÁPSULA (g)						
PESO DA AMOSTRA SECA (g)						
UMIDADE (%)	34,3		34,2		34,2	
DATAS DA MOLDAGEM E RUPTURA	05/11	12/11	05/11	12/11	05/11	12/11
IDADE EM DIAS	7		7		7	
LEITURA NO DEFLETÔMETRO						
CONSTANTE DO ANEL						
FORÇA DE RUPTURA (kgf)						
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (MPa / kgf/cm²)	0,78 (0,77)		0,75 ✓		0,73 ✓	
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES MÉDIA (kgf/cm² / MPa)					✓ 0,75 MPa	

DATA: ~~05/11/14~~ 05/11/14 | CALCULADOR: | OPERADOR:

210 × 297 mm

CIENTEC — 128

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

AMOSTRA Nº: MISTURA 6 93/3/14

PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA: UT. CHARQUEADAS (26)

DADOS DE ENSAIO

MOLDE Nº	
ÁREA DO C.P. (cm2)	19,63
CAMADAS x Nº GOLPES	
M.E.A. MÁXIMA (kg/m3)	1158
UMIDADE ÓTIMA (%)	33,9
MOLDAGEM	
PESO DA AMOSTRA SECA (kg)	900
PESO DA AMOSTRA NA UMIDADE OTIMA (kg)	1210
PESO DA AMOSTRA NA UM. HIGROSCÓPICA (kg)	1110
ÁGUA (ml)	100

VOLUME: 1963 cm3

ENERGIA DE COMPACTAÇÃO: INTERMEDIÁRIA

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCOPICA

MATERIAIS	CP ~~SOLO~~		CINZA L.		CIM. ~~CAL~~	
CAPSULA Nº						
PESO ÚMIDO + CÁPSULA (g)						
PESO SECO + CÁPSULA (g)						
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)						
PESO DO SOLO SECO (g)						
TEOR DE UMIDADE (%)						
UMIDADE MÉDIA (%)	24,5		17,8		0	

COMPONENTES DA MISTURA	COMPOSIÇÃO DA MISTURA MAT. SECOS (%)	PESO SECO (g)	UMIDADE HIGROSCÓPICA (%)	PESO C/UMIDADE HIGROSCÓPICA (g)	COMPOSIÇÃO DA MISTURA C/UM. HIGROSC. (%)	%DE UMIDADE DA MISTURA C/ UM. HIGROSC. (%)
~~SOLO~~ CP.	93	837	24,5	1042		
CINZA L.	3	27	17,8	32	3 x 101,90	
~~CAL~~ CIM.	4	36	0	36		
900	PESO - TOTAL DA MISTURA (g) =			1110		MÉDIA

COMPRESSÃO SIMPLES	CORPO-DE-PROVA Nº 1		CORPO-DE-PROVA Nº 2		CORPO-DE-PROVA Nº 3	
PESO DA AMOSTRA COMPACTADA (g)	3038		3041		3041	
CONTROLE DE UMIDADE	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA
CÁPSULA Nº	327		328		329	
AMOSTRA ÚMIDA + CÁPSULA (g)	79,98		96,22		90,53	
AMOSTRA SECA + CÁPSULA (g)	66,91		71,22		75,03	
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)	28,24		27,34		29,71	
PESO DA AMOSTRA SECA (g)						
UMIDADE (%)	33,8		34,1		34,2	
DATAS DA MOLDAGEM E RUPTURA	06/11	13/11	06/11	13/11	06/11	13/11
IDADE EM DIAS	7		7		7	
LEITURA NO DEFLETÔMETRO						
CONSTANTE DO ANEL						
FORCA DE RUPTURA (kgf)						
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (~~kgf/cm2~~ MPa)	0,88 ✓		0,89 ✓		0,96 0,97	
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES MÉDIA (~~kgf/cm2~~ MPa)					✓ 0,91 MPa	

DATA: 06/11/14 CALCULADOR: OPERADOR:

210 x 297 mm

CIENTEC — 128

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

AMOSTRA Nº: MISTURA - 7
9/5/14

VOLUME: 196,35 cm³

PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA: UT. CHARQUEADAS (15)

DADOS DE ENSAIO	
MOLDE Nº	
ÁREA DO C.P. (cm²)	19,64
CAMADAS × Nº GOLPES	
M.E.A. MÁXIMA (kg/m³)	1158
UMIDADE ÓTIMA (%)	33,9
MOLDAGEM	
PESO DA AMOSTRA SECA (kg)	900
PESO DA AMOSTRA NA UMIDADE OTIMA (kg)	1208
PESO DA AMOSTRA NA UM. HIGROSCÓPICA (kg)	1130
ÁGUA (ml)	78

ENERGIA DE COMPACTAÇÃO: INTERMEDIÁRIA

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCOPICA

MATERIAIS	C.P SOLO		CINZA LEVE		CIM. ~~CAL~~	
CAPSULA Nº						
PESO ÚMIDO + CÁPSULA (g)						
PESO SECO + CÁPSULA (g)						
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)						
PESO DO SOLO SECO (g)						
TEOR DE UMIDADE (%)						
UMIDADE MÉDIA (%)	27,1		17,8		0	

COMPONENTES DA MISTURA	COMPOSIÇÃO DA MISTURA MAT. SECOS (%)	PESO SECO (g)	UMIDADE HIGROSCÓPICA (%)	PESO C/UMIDADE HIGROSCÓPICA (g)	COMPOSIÇÃO DA MISTURA C/UM. HIGROSC. (%)	%DE UMIDADE DA MISTURA C/ UM. HIGROSC. (%)
~~SOLO~~ CP	91	819	27,1	1041		3 × 10 1,65
CINZA L.	5	45	17,8	53		
~~CAL~~ CIM.	4	36	0	36		
900	PESO - TOTAL DA MISTURA (g) =			1130		MÉDIA

COMPRESSÃO SIMPLES	CORPO-DE-PROVA Nº 1		CORPO-DE-PROVA Nº 2		CORPO-DE-PROVA Nº 3	
PESO DA AMOSTRA COMPACTADA (g)	304,38		304,41		304,40	
CONTROLE DE UMIDADE	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA
CÁPSULA Nº	324	~~325~~	325		326	
AMOSTRA ÚMIDA + CÁPSULA (g)	105,67		99,74		109,13	
AMOSTRA SECA + CÁPSULA (g)	86,49		81,39		88,50	
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)	30,26		27,73		28,03	
PESO DA AMOSTRA SECA (g)						
UMIDADE (%)	34,1		34,2		34,1	
DATAS DA MOLDAGEM E RUPTURA	27/10	03/11	27/10	03/11	27/10	03/11
IDADE EM DIAS	7		7		7	
LEITURA NO DEFLETÔMETRO						
CONSTANTE DO ANEL						
FORÇA DE RUPTURA (kgf)						
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (~~kgf/cm²~~ MPa)	0,81 0,82		0,79 ✓		0,79 ✓	
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES MÉDIA (~~kgf/cm²~~ MPa)					0,80 MPa	

DATA: 27/10/14 | CALCULADOR: | OPERADOR:

210 x 297 mm

CIENTEC — 128

CIENTEC

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

AMOSTRA Nº: MISTURA - E 86/10/14

PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA: UT. CITARQUEADAS (27)

DADOS DE ENSAIO		ENERGIA DE COMPACTAÇÃO: INTERMEDIÁRIA						
MOLDE Nº		DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCOPICA						
ÁREA DO C.P. (cm²)	19.63	MATERIAIS	CP ~~SOLO~~		CINZA L.		CIM. ~~CAL~~	
CAMADAS x Nº GOLPES		CAPSULA Nº						
M.E.A. MÁXIMA (kg/m³)	1158	PESO ÚMIDO + CÁPSULA (g)						
UMIDADE ÓTIMA (%)	33,9	PESO SECO + CÁPSULA (g)						
MOLDAGEM		PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA AMOSTRA SECA (kg)	900	PESO DA CÁPSULA (g)						
PESO DA AMOSTRA NA UMIDADE OTIMA (kg)	1210	PESO DO SOLO SECO (g)						
PESO DA AMOSTRA NA UM. HIGROSCÓPICA (kg)	1106	TEOR DE UMIDADE (%)						
ÁGUA (ml)	104	UMIDADE MÉDIA (%)	24,5		17,8		0	

VOLUME: 19635

COMPONENTES DA MISTURA	COMPOSIÇÃO DA MISTURA MAT. SECOS (%)	PESO SECO (g)	UMIDADE HIGROSCÓPICA (%)	PESO C/UMIDADE HIGROSCÓPICA (g)	COMPOSIÇÃO DA MISTURA C/UM. HIGROSC. (%)	%DE UMIDADE DA MISTURA C/ UM. HIGROSC. (%)
~~SOLO~~ CP.	86	774	24,5	964		
CINZA L.	10	90	17,8	106	3x	1,90
~~CAL~~ CIM.	4	36	0	36		
900	PESO - TOTAL DA MISTURA (g) =			1106		MÉDIA

COMPRESSÃO SIMPLES	CORPO-DE-PROVA Nº 1		CORPO-DE-PROVA Nº 2		CORPO-DE-PROVA Nº 3	
PESO DA AMOSTRA COMPACTADA (g)	303,60		303,91		303,16	
CONTROLE DE UMIDADE	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA
CÁPSULA Nº	324		325		326	
AMOSTRA ÚMIDA + CÁPSULA (g)	88,77		78,08		77,83	
AMOSTRA SECA + CÁPSULA (g)	73,94		65,45		65,17	
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)	30,26		27,73		28,03	
PESO DA AMOSTRA SECA (g)						
UMIDADE (%)	34,0		33,5		34,1	
DATAS DA MOLDAGEM E RUPTURA	06/11	13/11	06/11	13/11	06/11	13/11
IDADE EM DIAS	7		7		7	
LEITURA NO DEFLETÔMETRO						
CONSTANTE DO ANEL						
FORÇA DE RUPTURA (kgf)						
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (~~kgf/cm²~~) MPa	1,09 1.10		1,08 1.07		1,19 1.21	
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES MÉDIA (~~kgf/cm²~~) MPa					1.12 MPa	

DATA: 06/11/14 CALCULADOR: OPERADOR:

210 x 297 mm

CIENTEC — 128

CIENTEC

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

AMOSTRA Nº: MISTURA-9 94/016

PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA: UT. CHARQUEADAS (14)

VOLUME: 1963,5 cm³

DADOS DE ENSAIO	
MOLDE Nº	
ÁREA DO C.P. (cm²)	19,64
CAMADAS x Nº GOLPES	
M.E.A. MÁXIMA (kg/m³)	1,52
UMIDADE ÓTIMA (%)	32,7
MOLDAGEM	
PESO DA AMOSTRA SECA (kg)	900
PESO DA AMOSTRA NA UMIDADE OTIMA (kg)	1197
PESO DA AMOSTRA NA UM. HIGROSCÓPICA (kg)	1129
ÁGUA (ml)	68

ENERGIA DE COMPACTAÇÃO: INTERMEDIÁRIA

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCOPICA

MATERIAIS	cp ~~SOLO~~		CINZA		CAL	
CAPSULA Nº						
PESO ÚMIDO + CÁPSULA (g)						
PESO SECO + CÁPSULA (g)						
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)						
PESO DO SOLO SECO (g)						
TEOR DE UMIDADE (%)						
UMIDADE MÉDIA (%)	27,1		—		—	

COMPONENTES DA MISTURA	COMPOSIÇÃO DA MISTURA MAT. SECOS (%)	PESO SECO (g)	UMIDADE HIGROSCÓPICA (%)	PESO C/UMIDADE HIGROSCÓPICA (g)	COMPOSIÇÃO DA MISTURA C/UM. HIGROSC. (%)	%DE UMIDADE DA MISTURA C/ UM. HIGROSC. (%)
SOLO cp	94	846	27,1	1075		
CINZA L.	0	0	0	0	3 X 100,15	
~~CAL~~ CIM.	6	54	0	54		
PESO - TOTAL DA MISTURA (g) =				1129		MÉDIA

COMPRESSÃO SIMPLES	CORPO-DE-PROVA Nº 1		CORPO-DE-PROVA Nº 2		CORPO-DE-PROVA Nº 3	
PESO DA AMOSTRA COMPACTADA (g)	300,45		300,44		300,16	
CONTROLE DE UMIDADE	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA
CÁPSULA Nº	321		322		323	
AMOSTRA ÚMIDA + CÁPSULA (g)	85,46		84,28		82,62	
AMOSTRA SECA + CÁPSULA (g)	71,66		70,30		69,03	
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)	29,03		27,37		27,34	
PESO DA AMOSTRA SECA (g)						
UMIDADE (%)	32,4		32,6		32,6	
DATAS DA MOLDAGEM E RUPTURA	27/10	3/11	27/10	3/11	27/10	3/11
IDADE EM DIAS	7		7		7	
LEITURA NO DEFLETÔMETRO						
CONSTANTE DO ANEL						
FORCA DE RUPTURA (kgf)						
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (~~kgf/cm²~~ MPa)	1,26		1,46 1,47		1,42 1,43	
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES MÉDIA (~~kgf/cm²~~ MPa)					1,39 MPa	

DATA: 27/10/14 | CALCULADOR: | OPERADOR:

210 x 297 mm

CIENTEC — 128

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

AMOSTRA Nº: MISTURA - 1
91/3/6

PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA: JT. CHARQUEADAS (28)

VOLUME: 196,35 cm³

DADOS DE ENSAIO		ENERGIA DE COMPACTAÇÃO: INTERMEDIÁRIA							
MOLDE Nº		DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCOPICA							
ÁREA DO C.P. (cm²)	19,63	MATERIAIS	C.P. ~~SOLO~~		CINZA L.		CIM. ~~CAL~~		
CAMADAS x Nº GOLPES		CAPSULA Nº							
M.E.A. MÁXIMA (kg/m³)	1165	PESO ÚMIDO + CÁPSULA (g)							
UMIDADE ÓTIMA (%)	32,3	PESO SECO + CÁPSULA (g)							
MOLDAGEM		PESO DA ÁGUA (g)							
PESO DA AMOSTRA SECA (kg)	900	PESO DA CÁPSULA (g)							
PESO DA AMOSTRA NA UMIDADE OTIMA (kg)	1194	PESO DO SOLO SECO (g)							
PESO DA AMOSTRA NA UM. HIGROSCÓPICA (kg)	1106	TEOR DE UMIDADE (%)							
ÁGUA (ml)	88	UMIDADE MÉDIA (%)	24,5		17,8		0		

COMPONENTES DA MISTURA	COMPOSIÇÃO DA MISTURA MAT. SECOS (%)	PESO SECO (g)	UMIDADE HIGROSCÓPICA (%)	PESO C/UMIDADE HIGROSCÓPICA (g)	COMPOSIÇÃO DA MISTURA C/UM. HIGROSC. (%)	%DE UMIDADE DA MISTURA C/ UM. HIGROSC. (%)
~~SOLO~~ C.P.	91	819	24,5	1020		
CINZA L.	3	27	17,8	32	3%	101,60
~~CAL~~ CIM.	6	54	0	54		
	900	PESO - TOTAL DA MISTURA (g) =		1106		MÉDIA

COMPRESSÃO SIMPLES	CORPO-DE-PROVA Nº 1		CORPO-DE-PROVA Nº 2		CORPO-DE-PROVA Nº 3	
PESO DA AMOSTRA COMPACTADA (g)	3042 0		3040 3		3040 9	
CONTROLE DE UMIDADE	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA
CÁPSULA Nº	321	3	322		323	
AMOSTRA ÚMIDA + CÁPSULA (g)	92,43		89,71		100,90	
AMOSTRA SECA + CÁPSULA (g)	76,93		74,51		82,96	
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)	29,03		27,37		27,34	
PESO DA AMOSTRA SECA (g)						
UMIDADE (%)	32,4		32,2		32,2	
DATAS DA MOLDAGEM E RUPTURA	06/11	13/11	06/11	13/11	06/11	13/11
IDADE EM DIAS	7		7		7	
LEITURA NO DEFLETÔMETRO						
CONSTANTE DO ANEL						
FORÇA DE RUPTURA (kgf)						
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (~~kgf/cm²~~) MPa	1,70	1,71	1,74	1,75	1,80 ✓	
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES MÉDIA (~~kgf/cm²~~) MPa					1,75 MPa	

DATA: 06/11/14 CALCULADOR: OPERADOR:

210 x 297 mm

CIENTEC — 128

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

AMOSTRA Nº: MISTURA. 11 09/5/16

PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA: UT. CHARQUEADAS (29)

DADOS DE ENSAIO

MOLDE Nº	
ÁREA DO C.P. (cm2)	19,63
CAMADAS x Nº GOLPES	
M.E.A. MÁXIMA (kg/m3)	1165
UMIDADE ÓTIMA (%)	32,3
MOLDAGEM	
PESO DA AMOSTRA SECA (kg)	900
PESO DA AMOSTRA NA UMIDADE OTIMA (kg)	1194
PESO DA AMOSTRA NA UM. HIGROSCÓPICA (kg)	1104
ÁGUA (ml)	90

ENERGIA DE COMPACTAÇÃO: INTERMEDIÁRIA

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCOPICA

MATERIAIS	Cl. ~~SOLO~~		CINZA L		CIM. ~~CAL~~	
CAPSULA Nº						
PESO ÚMIDO + CÁPSULA (g)						
PESO SECO + CÁPSULA (g)						
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)						
PESO DO SOLO SECO (g)						
TEOR DE UMIDADE (%)						
UMIDADE MÉDIA (%)	24,5		17,8		0	

COMPONENTES DA MISTURA	COMPOSIÇÃO DA MISTURA MAT. SECOS (%)	PESO SECO (g)	UMIDADE HIGROSCÓPICA (%)	PESO C/UMIDADE HIGROSCÓPICA (g)	COMPOSIÇÃO DA MISTURA C/UM. HIGROSC. (%)	%DE UMIDADE DA MISTURA C/ UM. HIGROSC. (%)
~~SOLO~~ Cl.	89	801	24,5	997		
CINZA L	5	45	17,8	53	3X	101,10
~~CAL~~ CIM.	6	54	0	54		
900	PESO - TOTAL DA MISTURA (g) =			1104		MÉDIA

COMPRESSÃO SIMPLES	CORPO-DE-PROVA Nº 1		CORPO-DE-PROVA Nº 2		CORPO-DE-PROVA Nº 3	
PESO DA AMOSTRA COMPACTADA (g)	303,59		303,00		302,95	
CONTROLE DE UMIDADE	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA
CÁPSULA Nº	318		319		320	
AMOSTRA ÚMIDA + CÁPSULA (g)	90,47		76,03		94,46	
AMOSTRA SECA + CÁPSULA (g)	75,04		64,01		78,30	
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)	27,48		27,06		28,23	
PESO DA AMOSTRA SECA (g)						
UMIDADE (%)	32,4		32,5		32,3	
DATAS DA MOLDAGEM E RUPTURA	06/11	13/11	06/11	13/11	06/11	13/11
IDADE EM DIAS	7		7		7	
LEITURA NO DEFLETÔMETRO						
CONSTANTE DO ANEL						
FORÇA DE RUPTURA (kgf)						
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (~~kgf/cm2~~ MPa)	1,51	1,50	1,70 ✓		1,63	1,64
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES MÉDIA (~~kgf/cm2~~ MPa)					1,61 MPa	

DATA: 06/11/14 CALCULADOR: OPERADOR:

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

AMOSTRA Nº: MISTURA-12 04/10/16

VOLUME: 1963,35 cm³

PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA	UT. CHARQUEADAS

DADOS DE ENSAIO		ENERGIA DE COMPACTAÇÃO: INTERMEDIÁRIA
MOLDE Nº		DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCOPICA
ÁREA DO C.P. (cm²)	19,64	MATERIAIS: cp. ~~SOLO~~ / CINZA ~~LENHA~~ / cim. CAL
CAMADAS × Nº GOLPES		CAPSULA Nº
M.E.A. MÁXIMA (kg/m³)	1177	PESO ÚMIDO + CÁPSULA (g)
UMIDADE ÓTIMA (%)	31,8	PESO SECO + CÁPSULA (g)
MOLDAGEM		PESO DA ÁGUA (g)
PESO DA AMOSTRA SECA (kg)	900	PESO DA CÁPSULA (g)
PESO DA AMOSTRA NA UMIDADE OTIMA (kg)	1189	PESO DO SOLO SECO (g)
PESO DA AMOSTRA NA UM. HIGROSCÓPICA (kg)	1121	TEOR DE UMIDADE (%)
ÁGUA (ml)	68	UMIDADE MÉDIA (%): 27,1 / 17,8 / 0

COMPONENTES DA MISTURA	COMPOSIÇÃO DA MISTURA MAT. SECOS (%)	PESO SECO (g)	UMIDADE HIGROSCÓPICA (%)	PESO C/UMIDADE HIGROSCÓPICA (g)	COMPOSIÇÃO DA MISTURA C/UM. HIGROSC. (%)	%DE UMIDADE DA MISTURA C/ UM. HIGROSC. (%)
~~SOLO~~ cp.	84	756	27,1	961		
CINZA L.	10	90	17,8	106	3×	101,70
~~CAL~~ cim.	6	54	0	54		
900	PESO - TOTAL DA MISTURA (g) =			1121		MÉDIA

COMPRESSÃO SIMPLES	CORPO-DE-PROVA Nº 1		CORPO-DE-PROVA Nº 2		CORPO-DE-PROVA Nº 3	
PESO DA AMOSTRA COMPACTADA (g)	3049,4		3047,8		3046,7	
CONTROLE DE UMIDADE	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA
CÁPSULA Nº	318		319		320	
AMOSTRA ÚMIDA + CÁPSULA (g)	97,45		101,07		103,23	
AMOSTRA SECA + CÁPSULA (g)	80,60		83,32		85,29	
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)	27,48		27,06		28,23	
PESO DA AMOSTRA SECA (g)						
UMIDADE (%)	31,7		31,5		31,4	
DATAS DA MOLDAGEM E RUPTURA	24/10	03/11	24/10	03/11	24/10	03/11
IDADE EM DIAS	7		7		7	
LEITURA NO DEFLETÔMETRO						
CONSTANTE DO ANEL						
FORCA DE RUPTURA (kgf)						
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (~~kgf/cm²~~ MPa)	1,74 ✓		1,73 ✓		1,91	
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES MÉDIA (~~kgf/cm²~~ MPa)					1,79 MPa	

DATA: 27/10/14	CALCULADOR:	OPERADOR:

210 × 297 mm

CIENTEC — 128

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

AMOSTRA Nº MISTURA 92/08

PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA: UT. CHARQUEADAS (24)

VOLUME: 1963,35

DADOS DE ENSAIO

MOLDE Nº	
ÁREA DO C.P. (cm²)	1963 ~~1916,35~~
CAMADAS × Nº GOLPES	
M.E.A. MÁXIMA (kg/m³)	1195
UMIDADE ÓTIMA (%)	32,1
MOLDAGEM	
PESO DA AMOSTRA SECA (kg)	900
PESO DA AMOSTRA NA UMIDADE OTIMA (kg)	1192
PESO DA AMOSTRA NA UM. HIGROSCÓPICA (kg)	1103
ÁGUA (ml)	89

ENERGIA DE COMPACTAÇÃO: INTERMEDIÁRIA

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCOPICA

MATERIAIS	C.P SOLO		CINZA L.		CIM. ~~CAL~~	
CAPSULA Nº						
PESO ÚMIDO + CÁPSULA (g)						
PESO SECO + CÁPSULA (g)						
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)						
PESO DO SOLO SECO (g)						
TEOR DE UMIDADE (%)						
UMIDADE MÉDIA (%)	24,5		28,2		0	

COMPONENTES DA MISTURA	COMPOSIÇÃO DA MISTURA MAT. SECOS (%)	PESO SECO (g)	UMIDADE HIGROSCÓPICA (%)	PESO C/UMIDADE HIGROSCÓPICA (g)	COMPOSIÇÃO DA MISTURA C/UM. HIGROSC. (%)	%DE UMIDADE DA MISTURA C/ UM. HIGROSC. (%)
SOLO	92	828	24,5	1031		
CINZA L.	0	0	28,2	0	3× 103,90	
~~CAL~~ CIM.	8	72 ~~80~~	0	72 ~~80~~		
900	PESO - TOTAL DA MISTURA (g) =			1103		MÉDIA

COMPRESSÃO SIMPLES	CORPO-DE-PROVA Nº 1		CORPO-DE-PROVA Nº 2		CORPO-DE-PROVA Nº 3	
PESO DA AMOSTRA COMPACTADA (g)	3088,93		3110,22		3097,80	
CONTROLE DE UMIDADE	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA
CÁPSULA Nº	342		343		344	
AMOSTRA ÚMIDA + CÁPSULA (g)	96,45		98,11		96,37	
AMOSTRA SECA + CÁPSULA (g)	79,88		81,11		79,99	
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)	28,63		28,92		29,52	
PESO DA AMOSTRA SECA (g)						
UMIDADE (%)	32,3		32,5		32,4	
DATAS DA MOLDAGEM E RUPTURA	05/11	12/11	05/11	12/11	05/11	12/11
IDADE EM DIAS	7		7		7	
LEITURA NO DEFLETÔMETRO						
CONSTANTE DO ANEL						
FORÇA DE RUPTURA (kgf)						
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (~~kgf/cm²~~ MPa)	2,13 ✓		2,14 ✓		2,15 ✓	
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES MÉDIA (~~kgf/cm²~~ MPa)					✓ 2,14 MPa	

DATA: 05/11/14 CALCULADOR: OPERADOR:

210 × 297 mm

CIENTEC — 128

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

AMOSTRA Nº: MISTURA - 1º 09/3/8

PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA: UT. CHARQUEADAS (30)

DADOS DE ENSAIO

MOLDE Nº	
ÁREA DO C.P. (cm²)	19,63
CAMADAS x Nº GOLPES	
M.E.A. MÁXIMA (kg/m³)	1197
UMIDADE ÓTIMA (%)	32,3

MOLDAGEM

PESO DA AMOSTRA SECA (kg)	900
PESO DA AMOSTRA NA UMIDADE OTIMA (kg)	1194
PESO DA AMOSTRA NA UM. HIGROSCÓPICA (kg)	1101
ÁGUA (ml)	93

ENERGIA DE COMPACTAÇÃO: INTERMEDIÁRIA

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCOPICA

MATERIAIS	CP. ~~SOLO~~		CINZA L.		CIM. ~~CAL~~	
CAPSULA Nº						
PESO ÚMIDO + CÁPSULA (g)						
PESO SECO + CÁPSULA (g)						
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)						
PESO DO SOLO SECO (g)						
TEOR DE UMIDADE (%)						
UMIDADE MÉDIA (%)	24,5		17,8		0	

VOLUME: 1963,35 cm³

COMPONENTES DA MISTURA	COMPOSIÇÃO DA MISTURA MAT. SECOS (%)	PESO SECO (g)	UMIDADE HIGROSCÓPICA (%)	PESO C/UMIDADE HIGROSCÓPICA (g)	COMPOSIÇÃO DA MISTURA C/UM. HIGROSC. (%)	%DE UMIDADE DA MISTURA C/ UM. HIGROSC. (%)
~~SOLO~~ CP.	89	801	24,5	997		
CINZA L.	3	27	17,8	32	3X	103,90
~~CAL~~ CIM.	8	72	0	72		
900	PESO - TOTAL DA MISTURA (g) =			1101		MÉDIA

COMPRESSÃO SIMPLES	CORPO-DE-PROVA Nº 1		CORPO-DE-PROVA Nº 2		CORPO-DE-PROVA Nº 3	
PESO DA AMOSTRA COMPACTADA (g)	309,52		309,48		309,10	
CONTROLE DE UMIDADE	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA
CÁPSULA Nº	315		316		317	
AMOSTRA ÚMIDA + CÁPSULA (g)	85,11		92,18		94,29	
AMOSTRA SECA + CÁPSULA (g)	71,08		76,47		78,09	
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)	27,79		28,28		28,30	
PESO DA AMOSTRA SECA (g)						
UMIDADE (%)	32,4		32,6		32,6	
DATAS DA MOLDAGEM E RUPTURA	06/11	13/11	06/11	13/11	06/11	13/11
IDADE EM DIAS	7		7		7	
LEITURA NO DEFLETÔMETRO						
CONSTANTE DO ANEL						
FORÇA DE RUPTURA (kgf)						
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (MPa kgf/cm²)	2,12	2,11	2,21	v	2,15	v
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES MÉDIA (MPa kgf/cm²)					v 2,16 MPa	

DATA: 06/11/14 CALCULADOR: OPERADOR:

210 x 297 mm

CIENTEC — 128

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

AMOSTRA Nº: MISTURA-1 07/5/8

PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA: JT. CHARQUEADAS (31)

DADOS DE ENSAIO		ENERGIA DE COMPACTAÇÃO: INTERMEDIÁRIA
MOLDE Nº		DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCOPICA
ÁREA DO C.P. (cm²)	19,63	MATERIAIS: CP ~~SOLO~~ / CINZA L / CIM. ~~CAL~~
CAMADAS x Nº GOLPES		CAPSULA Nº
M.E.A. MÁXIMA (kg/m³)	1197	PESO ÚMIDO + CÁPSULA (g)
UMIDADE ÓTIMA (%)	32,3	PESO SECO + CÁPSULA (g)
MOLDAGEM		PESO DA ÁGUA (g)
PESO DA AMOSTRA SECA (kg)	900	PESO DA CÁPSULA (g)
PESO DA AMOSTRA NA UMIDADE OTIMA (kg)	1194	PESO DO SOLO SECO (g)
PESO DA AMOSTRA NA UM. HIGROSCÓPICA (kg)	1100	TEOR DE UMIDADE (%)
ÁGUA (ml)	94	UMIDADE MÉDIA (%) — 24,5 / 17,8 / 0

Vol UMI: 196,35 cm³

COMPONENTES DA MISTURA	COMPOSIÇÃO DA MISTURA MAT. SECOS (%)	PESO SECO (g)	UMIDADE HIGROSCÓPICA (%)	PESO C/UMIDADE HIGROSCÓPICA (g)	COMPOSIÇÃO DA MISTURA C/UM. HIGROSC. (%)	%DE UMIDADE DA MISTURA C/ UM. HIGROSC. (%)
~~SOLO~~ CP	87	783	24,5	975		
CINZA L.	5	45	17,8	53	3 x 10	3,90
~~CAL~~ CIM.	8	72	0	72		
900	PESO - TOTAL DA MISTURA (g) =			1100		MÉDIA

COMPRESSÃO SIMPLES	CORPO-DE-PROVA Nº 1		CORPO-DE-PROVA Nº 2		CORPO-DE-PROVA Nº 3	
PESO DA AMOSTRA COMPACTADA (g)	309,14		309,84		310,10	
CONTROLE DE UMIDADE	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA
CÁPSULA Nº	342		343		344	
AMOSTRA ÚMIDA + CÁPSULA (g)	102,36		94,12		92,78	
AMOSTRA SECA + CÁPSULA (g)	84,23		78,15		77,37	
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)	28,63		28,02		29,52	
PESO DA AMOSTRA SECA (g)						
UMIDADE (%)	32,6		32,4		32,2	
DATAS DA MOLDAGEM E RUPTURA	06/11	13/11	06/11	13/11	06/11	13/11
IDADE EM DIAS	7		7		7	
LEITURA NO DEFLETÔMETRO						
CONSTANTE DO ANEL						
FORÇA DE RUPTURA (kgf)						
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (~~kgf/cm²~~ MPa)	2,18	2,19	2,35	2,33	2,34 ✓	
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES MÉDIA (~~kgf/cm²~~ MPa)					2,29 ✓	

DATA:	CALCULADOR:	OPERADOR:

210 x 297 mm

CIENTEC — 128

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

AMOSTRA Nº: MISTURA 1K 82/10/8

PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA: UT. CHARQUEADAS (25)

VOLUME 196,35 cm³

DADOS DE ENSAIO		ENERGIA DE COMPACTAÇÃO: INTERMEDIÁRIO
MOLDE Nº		DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCOPICA
ÁREA DO C.P. (cm²) ~~19,63~~ ~~196,35~~		MATERIAIS: cP ~~SOLO~~ / CINZA L / CIM. ~~CAL~~
CAMADAS x Nº GOLPES	—	CAPSULA Nº
M.E.A. MÁXIMA (kg/m³)	1198	PESO ÚMIDO + CÁPSULA (g)
UMIDADE ÓTIMA (%)	32,5	PESO SECO + CÁPSULA (g)
MOLDAGEM		PESO DA ÁGUA (g)
PESO DA AMOSTRA SECA (kg)	900	PESO DA CÁPSULA (g)
PESO DA AMOSTRA NA UMIDADE OTIMA (kg)	1196	PESO DO SOLO SECO (g)
PESO DA AMOSTRA NA UM. HIGROSCÓPICA (kg)	1097	TEOR DE UMIDADE (%)
ÁGUA (ml)	99	UMIDADE MÉDIA (%): cP 24,5 / CINZA 17,8 ~~28,2~~ / CIM. 0

COMPONENTES DA MISTURA	COMPOSIÇÃO DA MISTURA MAT. SECOS (%)	PESO SECO (g)	UMIDADE HIGROSCÓPICA (%)	PESO C/UMIDADE HIGROSCÓPICA (g)	COMPOSIÇÃO DA MISTURA C/UM. HIGROSC. (%)	%DE UMIDADE DA MISTURA C/ UM. HIGROSC. (%)
~~SOLO~~ C.P.	82	738	24,5	919		
CINZA L.	10	90	17,8	106	3x	104,00
~~CAL~~ CIM.	8	72	0	72		
900	PESO - TOTAL DA MISTURA (g) =			1097		MÉDIA

COMPRESSÃO SIMPLES	CORPO-DE-PROVA Nº 1		CORPO-DE-PROVA Nº 2		CORPO-DE-PROVA Nº 3	
PESO DA AMOSTRA COMPACTADA (g)	310,72		310,87		309,78	
CONTROLE DE UMIDADE	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA
CÁPSULA Nº	439		440		441	
AMOSTRA ÚMIDA + CÁPSULA (g)	91,93		94,59		89,75	
AMOSTRA SECA + CÁPSULA (g)	76,35		78,56		73,69	
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)	28,49		29,72		27,71	
PESO DA AMOSTRA SECA (g)						
UMIDADE (%)	32,6		32,8		32,8	
DATAS DA MOLDAGEM E RUPTURA	05/11	12/11	05/11	12/11	05/11	12/11
IDADE EM DIAS	7		7		7	
LEITURA NO DEFLETÔMETRO						
CONSTANTE DO ANEL						
FORÇA DE RUPTURA (kgf)						
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (~~kgf/cm²~~ MPa)	2,05	2,04	2,11 ✓		2,16	2,17
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES MÉDIA (~~kgf/cm²~~ MPa)					2,11 MPa	

DATA: 05/11/14 CALCULADOR: OPERADOR:

210 x 297 mm

CIENTEC — 128

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

AMOSTRA Nº: MISTURA - 13
92|0|8

PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA: UT. CHARQUEADAS (34)

DADOS DE ENSAIO

MOLDE Nº	
ÁREA DO C.P. (cm2)	19,35
CAMADAS x Nº GOLPES	
M.E.A. MÁXIMA (kg/m3)	1196
UMIDADE ÓTIMA (%)	32,1
MOLDAGEM	
PESO DA AMOSTRA SECA (kg)	900
PESO DA AMOSTRA NA UMIDADE OTIMA (kg)	1192
PESO DA AMOSTRA NA UM. HIGROSCÓPICA (kg)	1123
ÁGUA (ml)	69

ENERGIA DE COMPACTAÇÃO: INTERMEDIÁRIA

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCOPICA

MATERIAIS	C.P. ~~SOLO~~		CINZA L.		CIM. ~~CAL~~	
CAPSULA Nº						
PESO ÚMIDO + CÁPSULA (g)						
PESO SECO + CÁPSULA (g)						
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)						
PESO DO SOLO SECO (g)						
TEOR DE UMIDADE (%)						
UMIDADE MÉDIA (%)	26,9		0		0	

COMPONENTES DA MISTURA	COMPOSIÇÃO DA MISTURA MAT. SECOS (%)	PESO SECO (g)	UMIDADE HIGROSCÓPICA (%)	PESO C/UMIDADE HIGROSCÓPICA (g)	COMPOSIÇÃO DA MISTURA C/UM. HIGROSC. (%)	%DE UMIDADE DA MISTURA C/ UM. HIGROSC. (%)
~~SOLO~~ CP.	92	828	26,9	1051		
CINZA L.	0	0	0	0	3x 103,70	
~~CAL~~ CIM.	8	72	0	72		
900	PESO - TOTAL DA MISTURA (g) =			1123		MÉDIA

COMPRESSÃO SIMPLES	CORPO-DE-PROVA Nº 1		CORPO-DE-PROVA Nº 2		CORPO-DE-PROVA Nº 3	
PESO DA AMOSTRA COMPACTADA (g)	310,60		310,86		310,84	
CONTROLE DE UMIDADE	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA
CÁPSULA Nº	100		101		102	
AMOSTRA ÚMIDA + CÁPSULA (g)	99,69		103,52		106,16	
AMOSTRA SECA + CÁPSULA (g)	92,16		95,32		97,22	
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)	27,34		28,68		28,46	
PESO DA AMOSTRA SECA (g)						
UMIDADE (%)	32,0		32,1		32,2	
DATAS DA MOLDAGEM E RUPTURA	21/11	05/12	21/11	05/12	21/11	05/12
IDADE EM DIAS	14		14		14	
LEITURA NO DEFLETÔMETRO						
CONSTANTE DO ANEL						
FORÇA DE RUPTURA (kgf)						
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (MPa kgf/cm2)	2,35	2,36	2,59 ✓		2,63	2,64
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES MÉDIA (MPa kgf/cm2)					2,53 MPa	

DATA: 21/11/14 CALCULADOR: OPERADOR:

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

AMOSTRA Nº: MISTURA-1 87/5/18

PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA: UT. CHARQUEADAS (37)

DADOS DE ENSAIO

ENERGIA DE COMPACTAÇÃO: INTERMEDIÁRIA

MOLDE Nº	
ÁREA DO C.P. (cm²)	19,35
CAMADAS × Nº GOLPES	
M.E.A. MÁXIMA (kg/m³)	1188
UMIDADE ÓTIMA (%)	32,0

MOLDAGEM

PESO DA AMOSTRA SECA (kg)	900
PESO DA AMOSTRA NA UMIDADE OTIMA (kg)	1191
PESO DA AMOSTRA NA UM. HIGROSCÓPICA (kg)	1111
ÁGUA (ml)	80

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCOPICA

MATERIAIS	cp. SOLO		CINZA L.		CIM. ~~CAL~~	
CAPSULA Nº						
PESO ÚMIDO + CÁPSULA (g)						
PESO SECO + CÁPSULA (g)						
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)						
PESO DO SOLO SECO (g)						
TEOR DE UMIDADE (%)						
UMIDADE MÉDIA (%)	26,9		0		0	

COMPONENTES DA MISTURA	COMPOSIÇÃO DA MISTURA MAT. SECOS (%)	PESO SECO (g)	UMIDADE HIGROSCÓPICA (%)	PESO C/UMIDADE HIGROSCÓPICA (g)	COMPOSIÇÃO DA MISTURA C/UM. HIGROSC. (%)	%DE UMIDADE DA MISTURA C/ UM. HIGROSC. (%)
~~SOLO~~ cp.	87	783	26,9	994		
CINZA L	5	45	0	45	3 X 102,90	
~~CAL~~ CIM.	8	72	0	72		
900	PESO - TOTAL DA MISTURA (g) =			1111		~~MÉDIA~~

COMPRESSÃO SIMPLES	CORPO-DE-PROVA Nº 1		CORPO-DE-PROVA Nº 2		CORPO-DE-PROVA Nº 3	
PESO DA AMOSTRA COMPACTADA (g)	308,30		309,41		308,22	
CONTROLE DE UMIDADE	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA
CÁPSULA Nº	109		110		111	
AMOSTRA ÚMIDA + CÁPSULA (g)	89,55		94,18		97,74	
AMOSTRA SECA + CÁPSULA (g)	74,18		77,71		73,10	
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)	26,37		26,22		27,69	
PESO DA AMOSTRA SECA (g)						
UMIDADE (%)	32,1		32,0		32,2	
DATAS DA MOLDAGEM E RUPTURA	21/11	05/12	21/11	05/12	21/11	05/12
IDADE EM DIAS	14		14		14	
LEITURA NO DEFLETÔMETRO						
CONSTANTE DO ANEL						
FORÇA DE RUPTURA (kgf)						
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (~~kgf/cm²~~ MPa)	3,05 ✓		3,15 ✓		3,40 ✓	
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES MÉDIA (~~kgf/cm²~~ MPa)					3,20 MPa	

DATA: 21/11/14 CALCULADOR: OPERADOR:

210 x 297 mm

CIENTEC — 12

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

AMOSTRA Nº: MISTURA - 13
92/0/18

PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA: UT. CHARQUEADAS (35)

DADOS DE ENSAIO		ENERGIA DE COMPACTAÇÃO: INTERMEDIÁRIA							
MOLDE Nº		DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCOPICA							
ÁREA DO C.P. (cm²)	1935	MATERIAIS	CP. ~~SOLO~~		CINZA L.		CIM. ~~CAL~~		
CAMADAS x Nº GOLPES		CAPSULA Nº							
M.E.A. MÁXIMA (kg/m³)	1196	PESO ÚMIDO + CÁPSULA (g)							
UMIDADE ÓTIMA (%)	32,1	PESO SECO + CÁPSULA (g)							
MOLDAGEM		PESO DA ÁGUA (g)							
PESO DA AMOSTRA SECA (kg)	900	PESO DA CÁPSULA (g)							
PESO DA AMOSTRA NA UMIDADE OTIMA (kg)	1192	PESO DO SOLO SECO (g)							
PESO DA AMOSTRA NA UM. HIGROSCÓPICA (kg)	1123	TEOR DE UMIDADE (%)							
ÁGUA (ml)	69	UMIDADE MÉDIA (%)	26,9		0		0		

COMPONENTES DA MISTURA	COMPOSIÇÃO DA MISTURA MAT. SECOS (%)	PESO SECO (g)	UMIDADE HIGROSCÓPICA (%)	PESO C/UMIDADE HIGROSCÓPICA (g)	COMPOSIÇÃO DA MISTURA C/UM. HIGROSC. (%)	%DE UMIDADE DA MISTURA C/ UM. HIGROSC. (%)
~~SOLO~~ CP.	92	828	26,9	1051		
CINZA L.	0	0	0	0	3x	103,70
~~CAL~~ CIM.	8	72	0	72		
900	PESO - TOTAL DA MISTURA (g) =			1123		MÉDIA

COMPRESSÃO SIMPLES	CORPO-DE-PROVA Nº 4		CORPO-DE-PROVA Nº 5		CORPO-DE-PROVA Nº 6	
PESO DA AMOSTRA COMPACTADA (g)	310,93		310,38		310,67	
CONTROLE DE UMIDADE	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA
CÁPSULA Nº	103		104		105	
AMOSTRA ÚMIDA + CÁPSULA (g)	111,29		108,32		110,18	
AMOSTRA SECA + CÁPSULA (g)	99,93		98,72		99,91	
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)	28,11		28,20		26,48	
PESO DA AMOSTRA SECA (g)						
UMIDADE (%)	32,4		32,4		32,0	
DATAS DA MOLDAGEM E RUPTURA	21/11	19/12	21/11	19/12	21/11	19/12
IDADE EM DIAS	28		28		28	
LEITURA NO DEFLETÔMETRO						
CONSTANTE DO ANEL						
FORÇA DE RUPTURA (kgf)						
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (~~kgf/cm²~~ MPa)	3,12 ✓		3,28 ✓		3,48 ✓	
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES MÉDIA (~~kgf/cm²~~ MPa)					3.29 MPa	

DATA: 21/11/14 | CALCULADOR: | OPERADOR:

210 x 297 mm

CIENTEC — 128

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

CIENTEC

AMOSTRA Nº: MISTURA-1E 87/5/8

PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA: UT. CHARQUEADAS (38)

DADOS DE ENSAIO

MOLDE Nº	
ÁREA DO C.P. (cm²)	19,35
CAMADAS × Nº GOLPES	
M.E.A. MÁXIMA (kg/m³)	1188
UMIDADE ÓTIMA (%)	32,0

MOLDAGEM

PESO DA AMOSTRA SECA (kg)	900
PESO DA AMOSTRA NA UMIDADE OTIMA (kg)	1191
PESO DA AMOSTRA NA UM. HIGROSCÓPICA (kg)	1111
ÁGUA (ml)	80

ENERGIA DE COMPACTAÇÃO: INTERMEDIÁRIA

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCOPICA

MATERIAIS	CP. ~~SOLO~~		CINZA L.		CIM. ~~CAL~~	
CAPSULA Nº						
PESO ÚMIDO + CÁPSULA (g)						
PESO SECO + CÁPSULA (g)						
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)						
PESO DO SOLO SECO (g)						
TEOR DE UMIDADE (%)						
UMIDADE MÉDIA (%)	26,9		0		0	

COMPONENTES DA MISTURA	COMPOSIÇÃO DA MISTURA MAT. SECOS (%)	PESO SECO (g)	UMIDADE HIGROSCÓPICA (%)	PESO C/UMIDADE HIGROSCÓPICA (g)	COMPOSIÇÃO DA MISTURA C/UM. HIGROSC. (%)	%DE UMIDADE DA MISTURA C/ UM. HIGROSC. (%)
~~SOLO~~ CP.	87	783	26,9	994		
CINZA L.	5	45	0	45	3	102,90
~~CAL~~ CIM.	8	72	0	72		
900	PESO - TOTAL DA MISTURA (g) =			1111		~~MÉDIA~~

COMPRESSÃO SIMPLES	CORPO-DE-PROVA Nº 4		CORPO-DE-PROVA Nº 5		CORPO-DE-PROVA Nº 6	
PESO DA AMOSTRA COMPACTADA (g)	308,56		307,99		308,60	
CONTROLE DE UMIDADE	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA
CÁPSULA Nº	112		113		114	
AMOSTRA ÚMIDA + CÁPSULA (g)	99,26		100,87		109,64	
AMOSTRA SECA + CÁPSULA (g)	81,02		83,23		89,76	
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)	26,84		27,79		27,62	
PESO DA AMOSTRA SECA (g)						
UMIDADE (%)	31,8		31,8		32,0	
DATAS DA MOLDAGEM E RUPTURA	21/11	19/12	21/11	19/12	21/11	19/12
IDADE EM DIAS	28		28		28	
LEITURA NO DEFLETÔMETRO						
CONSTANTE DO ANEL						
FORÇA DE RUPTURA (kgf)			FORA DO INTERVALO DE -10% DA MÉDIA!			
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (~~kgf/cm²~~ MPa)	3,44 ✓		⊗ 2,88 ✓		3,60 ✓	
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES MÉDIA (~~kgf/cm²~~ MPa)					3,52 MPa	

DATA: 21/11/14 CALCULADOR: OPERADOR:

210 x 297 mm

CIENTEC — 128

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

AMOSTRA Nº: MISTURA-1 — 9210/8

PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA: UT. CHARQUEADAS (36)

DADOS DE ENSAIO

ENERGIA DE COMPACTAÇÃO: INTERMEDIÁRIA

MOLDE Nº	
ÁREA DO C.P. (cm²)	1935
CAMADAS × Nº GOLPES	
M.E.A. MÁXIMA (kg/m³)	1196
UMIDADE ÓTIMA (%)	32,1
MOLDAGEM	
PESO DA AMOSTRA SECA (kg)	900
PESO DA AMOSTRA NA UMIDADE OTIMA (kg)	1192
PESO DA AMOSTRA NA UM. HIGROSCÓPICA (kg)	1123
ÁGUA (ml)	69

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCOPICA

MATERIAIS	~~SOLO~~ CP.		CINZA L.		CIM, ~~CAL~~	
CAPSULA Nº						
PESO ÚMIDO + CÁPSULA (g)						
PESO SECO + CÁPSULA (g)						
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)						
PESO DO SOLO SECO (g)						
TEOR DE UMIDADE (%)						
UMIDADE MÉDIA (%)	26,9		0		0	

COMPONENTES DA MISTURA	COMPOSIÇÃO DA MISTURA MAT. SECOS (%)	PESO SECO (g)	UMIDADE HIGROSCÓPICA (%)	PESO C/UMIDADE HIGROSCÓPICA (g)	COMPOSIÇÃO DA MISTURA C/UM. HIGROSC. (%)	%DE UMIDADE DA MISTURA C/ UM. HIGROSC. (%)
~~SOLO~~ CP.	92	828	26,9	1051		
CINZA L.	0	0	0	0	3×	103,70
~~CAL~~ CIM.	8	72	0	72		
PESO - TOTAL DA MISTURA (g) =				1123		MÉDIA

COMPRESSÃO SIMPLES	CORPO-DE-PROVA Nº 7		CORPO-DE-PROVA Nº 8		CORPO-DE-PROVA Nº 9	
PESO DA AMOSTRA COMPACTADA (g)	3104,3		3105,1		3107,3	
CONTROLE DE UMIDADE	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA
CÁPSULA Nº	106		107		108	
AMOSTRA ÚMIDA + CÁPSULA (g)	101,45		96,42		86,69	
AMOSTRA SECA + CÁPSULA (g)	83,68		79,63		72,39	
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)	28,17		27,24		27,96	
PESO DA AMOSTRA SECA (g)						
UMIDADE (%)	32,0		32,0		32,2	
DATAS DA MOLDAGEM E RUPTURA	21/11	13/02/15	21/11	13/02/15	21/11	13/02/15
IDADE EM DIAS	84		84		84	
LEITURA NO DEFLETÔMETRO						
CONSTANTE DO ANEL						
FORÇA DE RUPTURA (kgf)			VALOR DESCARTADO.			
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (MPa kgf/cm²)	3,92		(X) 4,17		3,91	
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES MÉDIA (MPa kgf/cm²)					3,91 MPa	

DATA: 21/11/14 — CALCULADOR: — OPERADOR:

210 × 297 mm

CIENTEC — 12

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

AMOSTRA Nº: MISTURA 87/5/8

PROCEDÊNCIA DA AMOSTRA: UT. CHARQUEADAS (39)

DADOS DE ENSAIO

MOLDE Nº	
ÁREA DO C.P. (cm2)	19,35
CAMADAS × Nº GOLPES	
M.E.A. MÁXIMA (kg/m3)	1188
UMIDADE ÓTIMA (%)	32,0
MOLDAGEM	
PESO DA AMOSTRA SECA (kg)	900
PESO DA AMOSTRA NA UMIDADE OTIMA (kg)	1191
PESO DA AMOSTRA NA UM. HIGROSCÓPICA (kg)	1111
ÁGUA (ml)	80

ENERGIA DE COMPACTAÇÃO: INTERMEDIÁRIA

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCOPICA

MATERIAIS	cp. ~~SOLO~~		CINZA L		cim. ~~CAL~~	
CAPSULA Nº						
PESO ÚMIDO + CÁPSULA (g)						
PESO SECO + CÁPSULA (g)						
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)						
PESO DO SOLO SECO (g)						
TEOR DE UMIDADE (%)						
UMIDADE MÉDIA (%)	26,9		0		0	

COMPONENTES DA MISTURA	COMPOSIÇÃO DA MISTURA MAT. SECOS (%)	PESO SECO (g)	UMIDADE HIGROSCÓPICA (%)	PESO C/UMIDADE HIGROSCÓPICA (g)	COMPOSIÇÃO DA MISTURA C/UM. HIGROSC. (%)	%DE UMIDADE DA MISTURA C/ UM. HIGROSC. (%)
~~SOLO~~ cp.	87	783	26,9	994		
CINZA L.	5	45	0	45	37	10,99
~~CAL~~ cim	8	72	0	72		
900	PESO - TOTAL DA MISTURA (g) =			1111		~~MÉDIA~~

COMPRESSÃO SIMPLES	CORPO-DE-PROVA Nº 7		CORPO-DE-PROVA Nº 8		CORPO-DE-PROVA Nº 9	
PESO DA AMOSTRA COMPACTADA (g)	30839		30825		30849	
CONTROLE DE UMIDADE	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA	MOLDAGEM	RUPTURA
CÁPSULA Nº	115		116		117	
AMOSTRA ÚMIDA + CÁPSULA (g)	86,50		98,32		87,47	
AMOSTRA SECA + CÁPSULA (g)	71,87		81,21		72,91	
PESO DA ÁGUA (g)						
PESO DA CÁPSULA (g)	26,16		27,70		27,36	
PESO DA AMOSTRA SECA (g)						
UMIDADE (%)	32,0		32,0		32,0	
DATAS DA MOLDAGEM E RUPTURA	21/11	13/02/15	21/11	13/02/15	21/11	13/02/15
IDADE EM DIAS	84		84		84	
LEITURA NO DEFLETÔMETRO						
CONSTANTE DO ANEL						
FORÇA DE RUPTURA (kgf)						
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (~~kgf/cm2~~ MPa)	4,23		4,23		4,11	
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES MÉDIA (~~kgf/cm2~~ MPa)					4,19 MPa	

DATA: 21/11/14 CALCULADOR: OPERADOR:

210 × 297 mm

CIENTEC — 128

CIENTEC
FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Ref.: Pedido nº 39504 – Serviço nº 49.710

Departamento de origem: Departamento de Geotecnia

Material ensaiado: uma amostra de cinza identificada como "cinza pesada".

Data de recebimento do material: 14 de janeiro de 2015.

Período de realização do ensaio: 20 a 21 de janeiro de 2015.

Método:

- analogia à ABNT NBR 6467:2006 – Agregados – Determinação do inchamento de agregado miúdo – Método de ensaio. Alterações: teores de umidades diferentes do citado no item 6.2.

RESULTADOS:

No quadro 1 consta os resultados e a figura 1 apresenta o perfil da curva obtida.

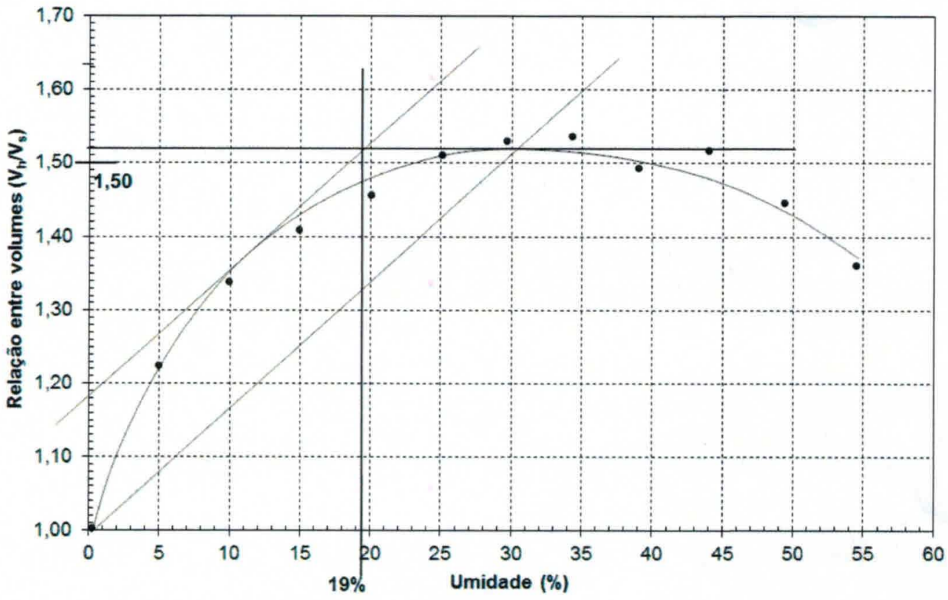
Quadro 1 - Resultados obtidos

Umidade real h(%)	Coeficiente de inchamento (Vh/Vs)
0,28	1,00
4,99	1,22
9,96	1,34
14,93	1,41
20,07	1,45
25,07	1,51
29,64	1,53
34,32	1,54
39,03	1,49
43,98	1,52
49,37	1,45
54,46	1,36

Rua Washington Luiz, 675 – CEP 90010-460 – Porto Alegre/RS/Brasil – CNPJ 92.816.685/0001-67
Fone +55 (51) 32872000 – e-mail faleconosco@cientec.rs.gov.br – www.cientec.rs.gov.br

CIENTEC
FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Figura 1 - Perfil da curva



Na análise da amostra identificada como "cinza pesada", o valor determinado para o coeficiente de inchamento médio (Vh/Vs) é de 1,50 que correspondente à umidade crítica de 19%. O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção Civil da CIENTEC, sob responsabilidade do Eng. Civil Ricardo Girardi CREA/RS nº 184957.

Porto Alegre, 26 de janeiro de 2015.

Engº Ricardo Girardi
Gerente Subst. Deptº de Mat. de Construção Civil
ID 3208770

Rua Washington Luiz, 675 – CEP 90010-460 – Porto Alegre/RS/Brasil – CNPJ 92.816.685/0001-67
Fone +55 (51) 32872000 – e-mail faleconosco@cientec.rs.gov.br – www.cientec.rs.gov.br

ANEXO B – Ensaios elaborados pela empresa
Pró-Ambiente Análises Químicas e Toxicológicas Ltda.

R E L A T Ó R I O D E E N S A I O - nº 11094/2014

Cliente: LUCIANO MOISES SIPPERT SANTAREM
Solicitante: SR. LUCIANO SANTAREM
Endereço: RUA DR. BARCELOS, 97
Cidade: CANOAS/RS

Dados da Amostra
Identificação:
Cinza Leve
Recebimento: 17/11/2014 às 10:10 H.

Dados da Coleta
Responsável: Interessada

RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro Método/Norma	Resultado/Unidade	Limite de Detecção Data do Ensaio
pH da Suspensão a 5% (m/v) Potenciometria a 20ºC	8,8	0,01 17/11/2014

Porto Alegre, 18 de novembro de 2014.

Elisandra Cosme Jacques
Técnica Química
CRQ nº 05406107
Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra ensaiada.
Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido na sua íntegra. A reprodução parcial somente com autorização do emitente.

Credenciamento: FEPAM 002/2012-DL - Certificações: ISO 9001/DNV e Ministério do Trabalho Emp.: 005/2006
RUA LEOPOLDO BIER, 780 - CEP 90620-100 - FONE (51) 3219.4000 - FAX (51) 3023.1770 - PORTO ALEGRE - RS
E-mail: proambiente@pro-ambiente.com.br - Home Page: www.pro-ambiente.com.br

R E L A T Ó R I O D E E N S A I O - nº 11093/2014

Cliente: LUCIANO MOISES SIPPERT SANTAREM
Solicitante: SR. LUCIANO SANTAREM
Endereço: RUA DR. BARCELOS, 97
Cidade: CANOAS/RS

Dados da Amostra
Identificação: Cimento
Recebimento: 17/11/2014 às 10:10 H.

Dados da Coleta
Responsável: Interessada

RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro Método/Norma	Resultado/Unidade	Limite de Detecção Data do Ensaio
pH da Suspensão a 5% (m/v) Potenciometria a 20ºC	12,1	0,01 17/11/2014

Porto Alegre, 18 de novembro de 2014.

Elisandra Cosme Jacques
Técnica Química
CRQ nº 05406107
Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra ensaiada.
Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido na sua integra. A reprodução parcial somente com autorização do emitente.

Credenciamento: FEPAM 002/2012-DL - Certificações: ISO 9001/DNV e Ministério do Trabalho Emp.: 005/2006
RUA LEOPOLDO BIER, 780 - CEP 90620-100 - FONE (51) 3219.4000 - FAX (51) 3023.1770 - PORTO ALEGRE - RS
E-mail: proambiente@pro-ambiente.com.br - Home Page: www.pro-ambiente.com.br

R E L A T Ó R I O D E E N S A I O - nº 11095/2014

Cliente: LUCIANO MOISES SIPPERT SANTAREM
Solicitante: SR. LUCIANO SANTAREM
Endereço: RUA DR. BARCELOS, 97
Cidade: CANOAS/RS

Dados da Amostra

Identificação:
Mistura de cinza pesada, cinza leve e cimento (sem cura)
Recebimento: 17/11/2014 às 10:10 H.

Dados da Coleta

Responsável: Interessada

RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetro Método/Norma	Resultado/Unidade	Limite de Detecção Data do Ensaio
pH da Suspensão a 5% (m/v) Potenciometria a 20ºC	11,6	0,01 17/11/2014

Porto Alegre, 18 de novembro de 2014.

Elisandra Cosme Jacques
Técnica Química
CRQ nº 05406107
Conferência Eletrônica

Os resultados acima se referem somente a amostra ensaiada.
Este relatório de ensaio só pode ser reproduzido na sua integra. A reprodução parcial somente com autorização do emitente.

Credenciamento: FEPAM 002/2012-DL - Certificações: ISO 9001/DNV e Ministério do Trabalho Emp.: 005/2006
RUA LEOPOLDO BIER, 780 - CEP 90620-100 - FONE (51) 3219.4000 - FAX (51) 3023.1770 - PORTO ALEGRE - RS
E-mail: proambiente@pro-ambiente.com.br - Home Page: www.pro-ambiente.com.br

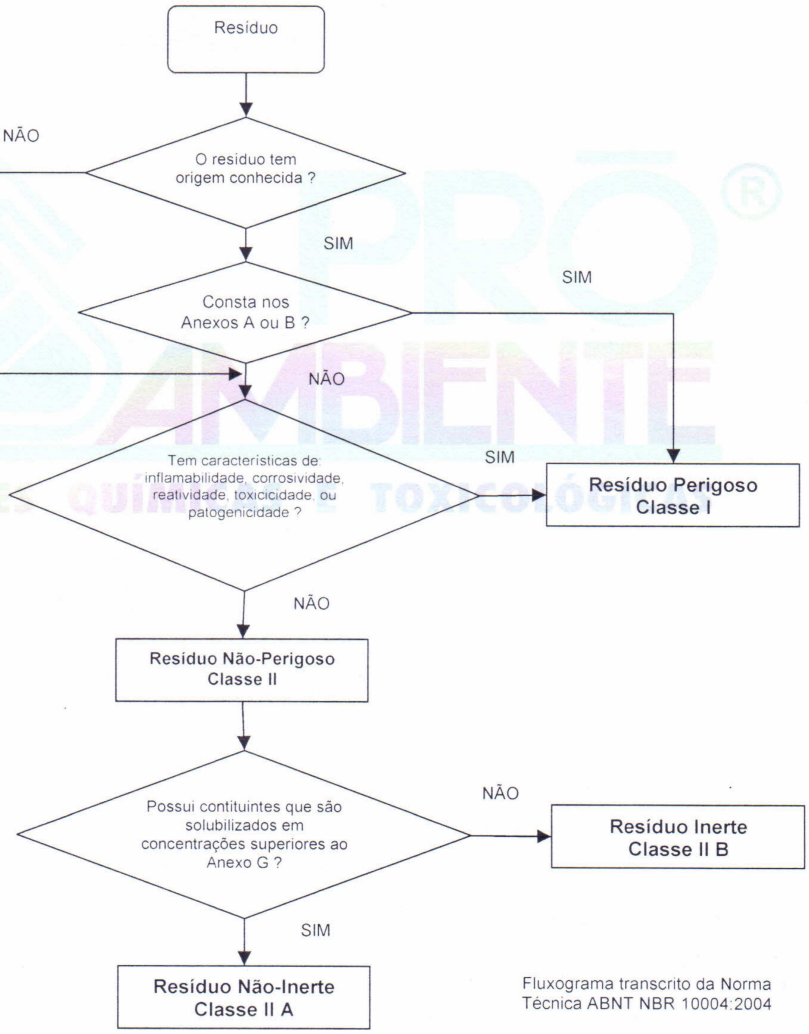
Porto Alegre, 15 de Dezembro de 2014.

LAUDO TÉCNICO DE CLASSIFICAÇÃO DE RESIDUO SÓLIDO

1 Objetivo

Classificar resíduo sólido quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente, aplicando para tal a Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

2 Metodologia de Caracterização e Classificação de Resíduos



Fluxograma transcrito da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004

3 Informações sobre o Resíduo

3.1 Empresa Geradora e Dados Cadastrais

Razão Social: **LUCIANO MOISÉS S. SANTAREM**
Endereço: **Rua Dr. Barcelos, nº 97**
Município / Estado: **Canoas / RS**

3.2 Denominação do Resíduo

CINZA PESADA

3.3 Processo Gerador, Matérias-Primas e Insumos Envolvidos

Trata-se de cinzas de combustão de carvão mineral pulverizado, realizada em caldeira de leito fixo, na termelétrica Tractebel Charqueadas.

4 Enquadramento como Resíduo Perigoso de Fontes Específicas e Não-Específicas

De acordo com a natureza e a origem do resíduo, o mesmo não é enquadrável como Resíduo Perigoso pelos Anexos A e B da Norma Técnica ABNT NBR 10.004:2004.

5 Amostragem

5.1 Data da Coleta: Não informada pelo cliente.

5.2 Data do Registro da Amostra no Laboratório: 17.11.2014 (Registro 11098)

5.3 Segregação, Forma de Acondicionamento e Armazenamento do Resíduo no Gerador

O resíduo encontrava-se armazenado em tanques de decantação.

5.4 Aspecto da Amostra

Sólido, seco, homogêneo, cinza e com odor característico.

5.5 Procedimento de Amostragem

Coletada amostra composta representativa de 3 meses de produção, conforme prescrições da ANBT NBR 10007:2004.

5.6 Responsável Técnico pela Amostragem

Engº Químico Marcelo Garcia Sundstron – CREA RS 093181.

6 *Análises de Composição Química do Resíduo*

Parâmetros	Unidades	Resultados da Amostra
pH (mistura 1:1 em água)	-	*7,5*
Umidade	(%)	*20,7*
Matéria Orgânica	(%)	*11,7*
Cinzas	(%)	*67,6*
Extraíveis em Hexano (base seca)	(%)	*0,04*
Sulfeto (base seca)	(mg/kg)	*Não Detectado*
Cianeto (base seca)	(mg/kg)	*Não Detectado*
Cromo Total (base seca)	(mg/kg)	*Não Detectado*
Chumbo (base seca)	(mg/kg)	*Não Detectado*
Cádmio (base seca)	(mg/kg)	*Não Detectado*
Níquel (base seca)	(mg/kg)	*3,2*
Benzeno (base seca)	(mg/kg)	*Não Detectado*
Tolueno (base seca)	(mg/kg)	*Não Detectado*
Xilenos (base seca)	(mg/kg)	*Não Detectado*
Etilbenzeno (base seca)	(mg/kg)	*Não Detectado*
Estireno (base seca)	(mg/kg)	*Não Detectado*
Hidrocarbonetos Totais TPH (base seca)	(mg/kg)	*1,22*
Hidrocarbonetos Totais TPH-DRO (base seca)	(mg/kg)	*Não Detectado*

7 *Avaliação de Corrosividade*

A mistura da amostra de resíduo com água, na proporção de 1:1 em peso, apresentou pH igual a 7,5 , caracterizando caráter alcalino discreto. O pH não se insere na faixa alcalina que indica corrosividade (pH superior a 12,5), conforme o item 4.2.1.2 da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

8 *Avaliação de Reatividade*

A amostra do resíduo não apresentou nenhuma das propriedades que conferem reatividade ao mesmo, conforme o item 4.2.1.3 da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

9 *Avaliação de Inflamabilidade*

A amostra do resíduo não apresentou nenhuma das propriedades que conferem inflamabilidade ao mesmo, conforme o item 4.2.1.1 da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

10 *Avaliação de Patogenicidade*

A amostra do resíduo não apresentou nenhuma das propriedades que conferem patogenicidade ao mesmo, conforme o item 4.2.1.5 da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

11 Avaliação de Toxicidade

11.1 Presença de Substâncias que Conferem Periculosidade ao Resíduo

A amostra do resíduo não apresentou concentração significativa de substâncias ou elementos que conferem periculosidade aos resíduos, listados no Anexo C da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

11.2 Presença de Substâncias Tóxicas e Agudamente Tóxicas

A amostra do resíduo não é constituída por restos de embalagens, nem por materiais resultantes de derramamentos, nem por produtos fora de especificação ou de validade. Assim, não é enquadrável como resíduo que contém substâncias agudamente tóxicas (Anexo D da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004) ou substâncias tóxicas (Anexo E da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004).

11.3 Resultados do Ensaio de Lixiviação (conforme a NBR 10.005:2004)

Parâmetros	Unidades	Resultados da Amostra	Limites Máximos (NBR-10.004)
Inorgânicos			
Arsênio	(mg/L)	***ND****	1,0
Bário	(mg/L)	***ND****	70,0
Cádmio	(mg/L)	***ND****	0,5
Chumbo	(mg/L)	***ND****	1,0
Cromo Total	(mg/L)	***ND****	5,0
Mercúrio	(mg/L)	***ND****	0,1
Fluoreto	(mg/L)	***15,5***	150,0
Prata	(mg/L)	***ND****	5,0
Selênio	(mg/L)	***ND****	1,0

ND* = *Não Detectado*

12 *Resultados do Ensaio de Solubilização (conforme a NBR 10.006:2004)*

Parâmetros	Unidades	Resultados da Amostra	Limites Máximos (NBR-10.004)
Fenóis Totais	(mg/L)	*0,002*	0,001
Mercúrio	(mg/L)	*ND**	0,001
Arsênio	(mg/L)	*ND**	0,01
Bário	(mg/L)	*ND**	0,7
Cádmio	(mg/L)	*ND**	0,005
Chumbo	(mg/L)	*ND**	0,01
Cromo Total	(mg/L)	*ND**	0,05
Alumínio	(mg/L)	*ND**	0,2
Ferro	(mg/L)	*0,1*	0,3
Manganês	(mg/L)	*ND**	0,1
Sódio	(mg/L)	*5,0*	200,0
Zinco	(mg/L)	*ND**	5,0
Cobre	(mg/L)	*ND**	2,0
Prata	(mg/L)	*ND**	0,05
Selênio	(mg/L)	*ND**	0,01
Cianeto	(mg/L)	*ND**	0,07
Fluoreto	(mg/L)	*5,8*	1,5
Nitrato	(mg/L)	*0,1*	10,0
Cloreto	(mg/L)	*1,5*	250,0
Sulfato	(mg/L)	*1.842,5*	250,0
Surfactantes	(mg/L)	*ND**	0,5

ND* = *Não Detectado*

13 *Parecer Final de Classificação*

De acordo com as prescrições da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004, o resíduo objeto deste Laudo Técnico é classificado como RESÍDUO NÃO-INERTE - CLASSE II-A (ver item 12).

Eng. Químico Marcos dos Santos Aidos
CREA RS 81632
CRQ 5ª Região 132091850

P.S.: O presente laudo é válido enquanto persistirem a origem, a natureza e a composição química do resíduo. Caso ocorram quaisquer alterações tecnológicas no processo de geração e/ou mudanças nas matérias-primas e insumos envolvidos no processo gerador, a classificação deverá ser repetida, de forma a garantir a sua confiabilidade técnica.

LCR 11101/14 (página 1 de 5)

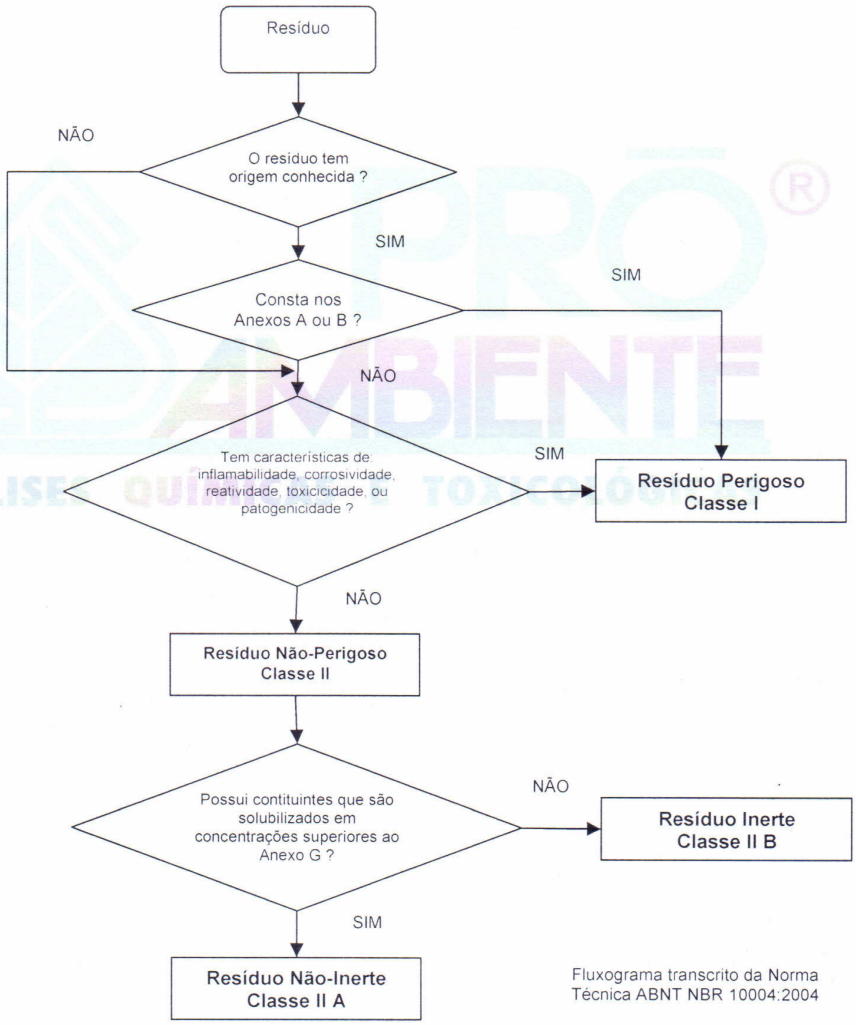
Porto Alegre, 15 de Dezembro de 2014.

LAUDO TÉCNICO DE CLASSIFICAÇÃO DE RESIDUO SÓLIDO

1 Objetivo

Classificar resíduo sólido quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente, aplicando para tal a Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

2 Metodologia de Caracterização e Classificação de Resíduos



Fluxograma transcrito da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004

3 Informações sobre o Resíduo

3.1 Empresa Geradora e Dados Cadastrais

Razão Social: **LUCIANO MOISÉS S. SANTAREM**
Endereço: **Rua Dr. Barcelos, nº 97**
Município / Estado: **Canoas / RS**

3.2 Denominação do Resíduo

MISTURA COMPACTADA DE CINZA PESADA, CINZA LEVE E CIMENTO PORTLAND

3.3 Processo Gerador, Matérias-Primas e Insumos Envolvidos

Trata-se de mistura de cinzas de combustão de carvão mineral pulverizado leves e pesadas, e cimento portland, após cura de 3 dias.

4 Enquadramento como Resíduo Perigoso de Fontes Específicas e Não-Específicas

De acordo com a natureza e a origem do resíduo, o mesmo não é enquadrável como Resíduo Perigoso pelos Anexos A e B da Norma Técnica ABNT NBR 10.004:2004.

5 Amostragem

5.1 Data da Coleta: Não informada pelo cliente.

5.2 Data do Registro da Amostra no Laboratório: 17.11.2014 (Registro 11101)

5.3 Segregação, Forma de Acondicionamento e Armazenamento do Resíduo no Gerador

Não aplicável.

5.4 Aspecto da Amostra

Sólido, seco, homogêneo, cinza e com odor característico.

5.5 Procedimento de Amostragem

Coletada amostra composta representativa de 3 meses de produção (cinzas), conforme prescrições da ANBT NBR 10007:2004.

5.6 Responsável Técnico pela Amostragem

Engº Químico Marcelo Garcia Sundstron – CREA RS 093181.

6 *Análises de Composição Química do Resíduo*

Parâmetros	Unidades	Resultados da Amostra
pH (mistura 1:1 em água)	-	***12,1***
Umidade	(%)	***21,7***
Matéria Orgânica	(%)	***7,0***
Cinzas	(%)	***71,3***
Extraíveis em Hexano (base seca)	(%)	***0,34***
Sulfeto (base seca)	(mg/kg)	***Não Detectado***
Cianeto (base seca)	(mg/kg)	***Não Detectado***
Cromo Total (base seca)	(mg/kg)	***12,9***
Chumbo (base seca)	(mg/kg)	***Não Detectado***
Cádmio (base seca)	(mg/kg)	***Não Detectado***
Níquel (base seca)	(mg/kg)	***7,9***
Benzeno (base seca)	(mg/kg)	***Não Detectado***
Tolueno (base seca)	(mg/kg)	***Não Detectado***
Xilenos (base seca)	(mg/kg)	***Não Detectado***
Etilbenzeno (base seca)	(mg/kg)	***Não Detectado***
Estireno (base seca)	(mg/kg)	***Não Detectado***
Hidrocarbonetos Totais TPH (base seca)	(mg/kg)	***12,38***
Hidrocarbonetos Totais TPH-DRO (base seca)	(mg/kg)	***Não Detectado***

7 *Avaliação de Corrosividade*

A mistura da amostra de resíduo com água, na proporção de 1:1 em peso, apresentou pH igual a 12,1 , caracterizando caráter alcalino típico. O pH não se insere na faixa alcalina que indica corrosividade (pH superior a 12,5), conforme o item 4.2.1.2 da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

8 *Avaliação de Reatividade*

A amostra do resíduo não apresentou nenhuma das propriedades que conferem reatividade ao mesmo, conforme o item 4.2.1.3 da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

9 *Avaliação de Inflamabilidade*

A amostra do resíduo não apresentou nenhuma das propriedades que conferem inflamabilidade ao mesmo, conforme o item 4.2.1.1 da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

10 *Avaliação de Patogenicidade*

A amostra do resíduo não apresentou nenhuma das propriedades que conferem patogenicidade ao mesmo, conforme o item 4.2.1.5 da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

11 Avaliação de Toxicidade

11.1 Presença de Substâncias que Conferem Periculosidade ao Resíduo

A amostra do resíduo não apresentou concentração significativa de substâncias ou elementos que conferem periculosidade aos resíduos, listados no Anexo C da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

11.2 Presença de Substâncias Tóxicas e Agudamente Tóxicas

A amostra do resíduo não é constituída por restos de embalagens, nem por materiais resultantes de derramamentos, nem por produtos fora de especificação ou de validade. Assim, não é enquadrável como resíduo que contém substâncias agudamente tóxicas (Anexo D da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004) ou substâncias tóxicas (Anexo E da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004).

11.3 Resultados do Ensaio de Lixiviação (conforme a NBR 10.005:2004)

Parâmetros	Unidades	Resultados da Amostra	Limites Máximos (NBR-10.004)
Inorgânicos			
Arsênio	(mg/L)	***ND****	1,0
Bário	(mg/L)	***0,5***	70,0
Cádmio	(mg/L)	***ND****	0,5
Chumbo	(mg/L)	***ND****	1,0
Cromo Total	(mg/L)	***0,1***	5,0
Mercúrio	(mg/L)	***ND****	0,1
Fluoreto	(mg/L)	***12,5***	150,0
Prata	(mg/L)	***ND****	5,0
Selênio	(mg/L)	***ND****	1,0

ND* = *Não Detectado*

12 *Resultados do Ensaio de Solubilização (conforme a NBR 10.006:2004)*

Parâmetros	Unidades	Resultados da Amostra	Limites Máximos (NBR-10.004)
Fenóis Totais	(mg/L)	*ND**	0,001
Mercúrio	(mg/L)	*ND**	0,001
Arsênio	(mg/L)	*ND**	0,01
Bário	(mg/L)	*ND**	0,7
Cádmio	(mg/L)	*ND**	0,005
Chumbo	(mg/L)	*ND**	0,01
Cromo Total	(mg/L)	*ND**	0,05
Alumínio	(mg/L)	*2,1*	0,2
Ferro	(mg/L)	*ND**	0,3
Manganês	(mg/L)	*ND**	0,1
Sódio	(mg/L)	*20,6*	200,0
Zinco	(mg/L)	*ND**	5,0
Cobre	(mg/L)	*ND**	2,0
Prata	(mg/L)	*ND**	0,05
Selênio	(mg/L)	*ND**	0,01
Cianeto	(mg/L)	*ND**	0,07
Fluoreto	(mg/L)	*1,8*	1,5
Nitrato	(mg/L)	*ND**	10,0
Cloreto	(mg/L)	*3,0*	250,0
Sulfato	(mg/L)	*26,5*	250,0
Surfactantes	(mg/L)	*ND**	0,5

ND* = *Não Detectado*

13 *Parecer Final de Classificação*

De acordo com as prescrições da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004, o resíduo objeto deste Laudo Técnico é classificado como RESÍDUO NÃO-INERTE - CLASSE II-A (ver item 12).

Eng. Químico Marcos dos Santos Aidos
CREA RS 81632
CRQ 5ª Região 132091850

P.S.: O presente laudo é válido enquanto persistirem a origem, a natureza e a composição química do resíduo. Caso ocorram quaisquer alterações tecnológicas no processo de geração e/ou mudanças nas matérias-primas e insumos envolvidos no processo gerador, a classificação deverá ser repetida, de forma a garantir a sua confiabilidade técnica.

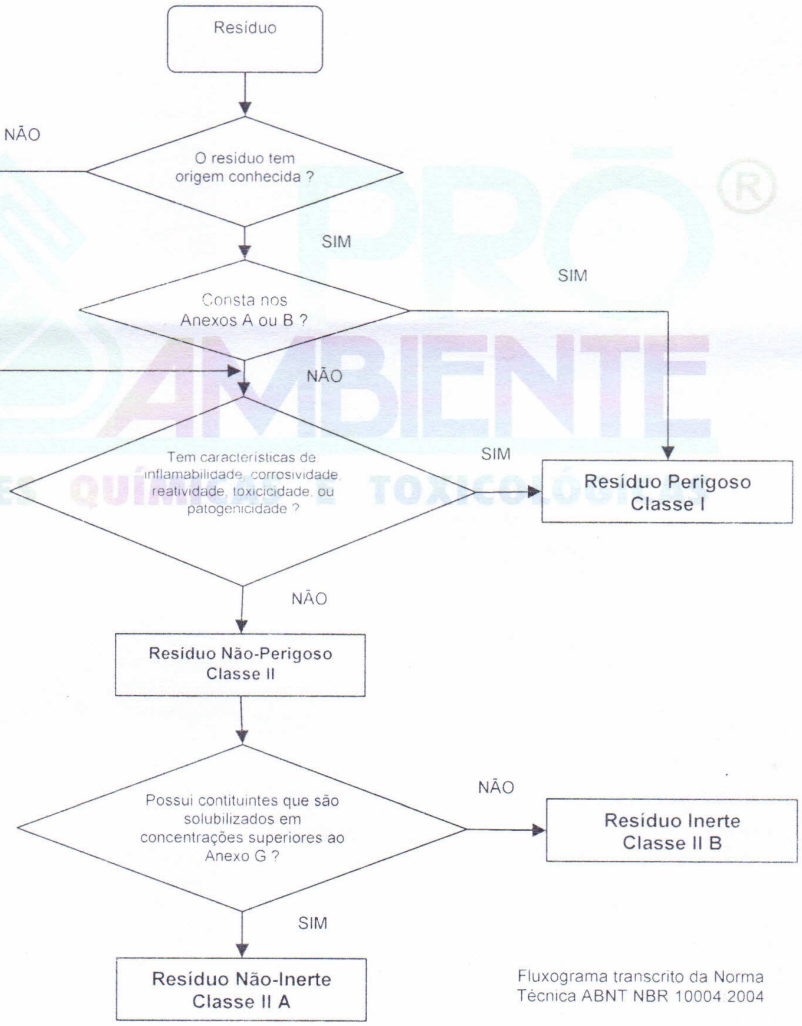
Porto Alegre, 3 de Fevereiro de 2015.

LAUDO TÉCNICO DE CLASSIFICAÇÃO DE RESIDUO SÓLIDO

1 Objetivo

Classificar resíduo sólido quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente, aplicando para tal a Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

2 Metodologia de Caracterização e Classificação de Resíduos



Fluxograma transcrito da Norma Técnica ABNT NBR 10004 2004

3 Informações sobre o Resíduo

3.1 Empresa Geradora e Dados Cadastrais

Razão Social: **LUCIANO MOISÉS S. SANTAREM**
Endereço: **Rua Dr. Barcelos, nº 97**
Município / Estado: **Canoas / RS**

3.2 Denominação do Resíduo

MISTURA COMPACTADA DE CINZA PESADA, CINZA LEVE E CIMENTO PORTLAND (MISTURA 16)

3.3 Processo Gerador, Matérias-Primas e Insumos Envolvidos

Trata-se de mistura de cinzas de combustão de carvão mineral pulverizado leves e pesadas, e cimento portland, após cura de 28 dias.

4 Enquadramento como Resíduo Perigoso de Fontes Específicas e Não-Específicas

De acordo com a natureza e a origem do resíduo, o mesmo não é enquadrável como Resíduo Perigoso pelos Anexos A e B da Norma Técnica ABNT NBR 10.004:2004.

5 Amostragem

5.1 Data da Coleta: Não informada pelo cliente.

5.2 Data do Registro da Amostra no Laboratório: 29.12.2014 (Registro 12274)

5.3 Segregação, Forma de Acondicionamento e Armazenamento do Resíduo no Gerador

Não aplicável.

5.4 Aspecto da Amostra

Sólido, seco, homogêneo, cinza e com odor característico.

5.5 Procedimento de Amostragem

Coletada amostra composta representativa de 3 meses de produção (cinzas), conforme prescrições da ANBT NBR 10007:2004.

5.6 Responsável Técnico pela Amostragem

Engº Químico Marcelo Garcia Sundstron – CREA RS 093181.

6 *Análises de Composição Química do Resíduo*

Parâmetros	Unidades	Resultados da Amostra
pH (mistura 1:1 em água)	-	*11,4*
Umidade	(%)	*25,3*
Matéria Orgânica	(%)	*16,4*
Cinzas	(%)	*58,3*
Extraiveis em Hexano (base seca)	(%)	*0,28*
Sulfeto (base seca)	(mg/kg)	*Não Detectado*
Cianeto (base seca)	(mg/kg)	*Não Detectado*
Cromo Total (base seca)	(mg/kg)	*Não Detectado*
Chumbo (base seca)	(mg/kg)	*Não Detectado*
Cádmio (base seca)	(mg/kg)	*Não Detectado*
Níquel (base seca)	(mg/kg)	*3,9*
Benzeno (base seca)	(mg/kg)	*Não Detectado*
Tolueno (base seca)	(mg/kg)	*Não Detectado*
Xilenos (base seca)	(mg/kg)	*Não Detectado*
Etilbenzeno (base seca)	(mg/kg)	*Não Detectado*
Estireno (base seca)	(mg/kg)	*Não Detectado*
Hidrocarbonetos Totais TPH (base seca)	(mg/kg)	*35,7*
Hidrocarbonetos Totais TPH-DRO (base seca)	(mg/kg)	*Não Detectado*

7 *Avaliação de Corrosividade*

A mistura da amostra de resíduo com água, na proporção de 1:1 em peso, apresentou pH igual a 11,4 , caracterizando caráter alcalino típico. O pH não se insere na faixa alcalina que indica corrosividade (pH superior a 12,5), conforme o item 4.2.1.2 da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

8 *Avaliação de Reatividade*

A amostra do resíduo não apresentou nenhuma das propriedades que conferem reatividade ao mesmo, conforme o item 4.2.1.3 da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

9 *Avaliação de Inflamabilidade*

A amostra do resíduo não apresentou nenhuma das propriedades que conferem inflamabilidade ao mesmo, conforme o item 4.2.1.1 da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

10 *Avaliação de Patogenicidade*

A amostra do resíduo não apresentou nenhuma das propriedades que conferem patogenicidade ao mesmo, conforme o item 4.2.1.5 da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

11 Avaliação de Toxicidade

11.1 Presença de Substâncias que Conferem Periculosidade ao Resíduo

A amostra do resíduo não apresentou concentração significativa de substâncias ou elementos que conferem periculosidade aos resíduos, listados no Anexo C da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

11.2 Presença de Substâncias Tóxicas e Agudamente Tóxicas

A amostra do resíduo não é constituída por restos de embalagens, nem por materiais resultantes de derramamentos, nem por produtos fora de especificação ou de validade. Assim, não é enquadrável como resíduo que contém substâncias agudamente tóxicas (Anexo D da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004) ou substâncias tóxicas (Anexo E da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004).

11.3 Resultados do Ensaio de Lixiviação (conforme a NBR 10.005:2004)

Parâmetros	Unidades	Resultados da Amostra	Limites Máximos (NBR-10.004)
Inorgânicos			
Arsênio	(mg/L)	*ND**	1,0
Bário	(mg/L)	*ND**	70,0
Cádmio	(mg/L)	*ND**	0,5
Chumbo	(mg/L)	*ND**	1,0
Cromo Total	(mg/L)	*ND**	5,0
Mercúrio	(mg/L)	*ND**	0,1
Fluoreto	(mg/L)	*1,0*	150,0
Prata	(mg/L)	*ND**	5,0
Selênio	(mg/L)	*ND**	1,0

ND* = *Não Detectado*

12 *Resultados do Ensaio de Solubilização (conforme a NBR 10.006:2004)*

Parâmetros	Unidades	Resultados da Amostra	Limites Máximos (NBR-10.004)
Fenóis Totais	(mg/L)	*ND**	0,001
Mercúrio	(mg/L)	*ND**	0,001
Arsênio	(mg/L)	*ND**	0,01
Bário	(mg/L)	*ND**	0,7
Cádmio	(mg/L)	*ND**	0,005
Chumbo	(mg/L)	*ND**	0,01
Cromo Total	(mg/L)	*ND**	0,05
Alumínio	(mg/L)	*ND**	0,2
Ferro	(mg/L)	*ND**	0,3
Manganês	(mg/L)	*0,1*	0,1
Sódio	(mg/L)	*16,3*	200,0
Zinco	(mg/L)	*ND**	5,0
Cobre	(mg/L)	*ND**	2,0
Prata	(mg/L)	*ND**	0,05
Selênio	(mg/L)	*ND**	0,01
Cianeto	(mg/L)	*ND**	0,07
Fluoreto	(mg/L)	*0,9*	1,5
Nitrato	(mg/L)	*0,1*	10,0
Cloreto	(mg/L)	*0,5*	250,0
Sulfato	(mg/L)	*158,5*	250,0
Surfactantes	(mg/L)	*ND**	0,5

ND* = *Não Detectado*

13 *Parecer Final de Classificação*

De acordo com as prescrições da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004, o resíduo objeto deste Laudo Técnico é classificado como RESÍDUO INERTE - CLASSE II-B (ver item 12).

Eng. Químico Marcos dos Santos Aidos
CREA RS 81632
CRQ 5ª Região 132091850

P.S.: O presente laudo é válido enquanto persistirem a origem, a natureza e a composição química do resíduo. Caso ocorram quaisquer alterações tecnológicas no processo de geração e/ou mudanças nas matérias-primas e insumos envolvidos no processo gerador, a classificação deverá ser repetida, de forma a garantir a sua confiabilidade técnica.