

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE QUÍMICA
CURSO DE BACHARELADO E LICENCIATURA EM QUÍMICA**

**ADRIANA CRISTINA GLUITZ
DAIANA MARAFÃO**

**UTILIZAÇÃO DA CINZA DA MADEIRA DE EUCALIPTO NA
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND EM
ARGAMASSA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2013

ADRIANA CRISTINA GLUITZ
DAIANA MARAFÃO

**UTILIZAÇÃO DA CINZA DA MADEIRA DE EUCALIPTO NA
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND EM
ARGAMASSA**

Projeto referente ao Trabalho de Conclusão de Curso como requisito parcial para a conclusão do Curso Bacharelado em Química Industrial – habilitação bacharelado da UTFPR – Campus Pato Branco.

Professor Orientador: Cristine Regina Budziak-Fukamachi
Professor Co-orientador: Caroline Angulski da Luz

Pato Branco, 2013

FOLHA DE APROVAÇÃO

O trabalho de diplomação intitulado **Utilização da Cinza da Madeira de Eucalipto na Substituição Parcial do Cimento Portland em Argamassa** foi considerado APROVADO de acordo com a ata da banca examinadora N° 1.9 de 2013.

Fizeram parte da banca os professores.

Profª Drª Cristiane Regina Budziak Fukamachi

Profª Drª Patrícia Teixeira Marques

Profª Drª Elídia Aparecida Vetter Ferri

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, primeiramente, as professoras Dr.^a Cristiane Regina Budziak Fukamachi e Dr.^a Caroline Angulski da Luz pela orientação e auxílio em todas as etapas do Trabalho de Conclusão de Curso.

Agradecemos a empresa que nos forneceu a cinza da madeira de eucalipto, possibilitando a realização do trabalho.

Agradecemos aos pesquisadores e professores da banca examinadora pela atenção e contribuição dedicadas a este estudo.

Agradecemos aos estagiários do laboratório de Química e de Materiais da UTFRPR, pelo auxílio na realização do trabalho.

Agradecemos à Central de Análises que possibilitou a realização da análise de infravermelho.

Agradecemos aos professores Dr.^o Fauze Jacó Anaissi e Dr.^o Vanderlei Aparecido de Lima pela realização da análise de raios X.

Agradecemos também, a nossas famílias e amigos, pelo apoio e suporte durante toda a graduação.

RESUMO

GLUITZ, Adriana C.; MARAFÃO, Daiana. Utilização da Cinza da Madeira de Eucalipto na Substituição Parcial do Cimento Portland em Argamassa. 2013. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso em Bacharelado em Química Industrial – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2013.

O Brasil é um dos principais produtores e fornecedores mundiais de alimentos, sendo o terceiro maior produtor mundial de milho. Cultivado em diferentes sistemas produtivos, a menor parte da produção atende ao consumo na mesa dos brasileiros, tendo como principal destino as indústrias de rações para animais. Para que esse produto seja de qualidade, as agroindústrias cerealistas são responsáveis pelo armazenamento e secagem desses grãos, onde a queima de lenha é utilizada como fonte de energia. A lenha mais utilizada nesse processo é a madeira de eucalipto provinda de reflorestamentos. O fortalecimento nessa atividade faz com que aumente também o volume de um resíduo que sobra nos processos de secagem desses grãos, a cinza da madeira de eucalipto (CME). A CME é uma biomassa retirada das caldeiras e consiste em uma mistura de minerais oxidados, sílica e carbono orgânico não totalmente queimado. As cinzas provenientes de atividades agroindustriais podem ser utilizadas como pozolanas. Estas possuem a capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio liberado durante o processo de hidratação do cimento, formando compostos estáveis de poder aglomerante, possuindo potencialidade para serem empregadas como adição mineral de modo a produzir novos materiais de construção econômicos e sustentáveis, atendendo à crescente demanda que atualmente exige esta área. Assim, no presente trabalho será utilizada a cinza da madeira de eucalipto, com avaliação da sua pozolanicidade e características físicas e químicas, na substituição parcial do cimento Portland em argamassa. Para tal moldaram-se corpos de prova de argamassa com adições de 0, 5, 10, 15 e 20% de CME na substituição do cimento Portland. Através das análises e ensaios realizados pode-se verificar que a utilização da cinza da madeira de eucalipto na substituição parcial do cimento Portland não é viável, visto que a resistência à compressão dos corpos de prova decresce à medida que aumenta a proporção de cinza no cimento. Todos os testes realizados corroboraram com a queda de resistência apresentada pelos corpos de prova.

Palavras-chave: Resíduo. CME. Argamassa.

ABSTRACT

GLUITZ, Adriana C.; MARAFÃO, Daiana. Use the Ash Eucalyptus Wood in Partial Substitution of Portland Cement in Mortar. 2013. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso em Bacharelado em Química Industrial – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2013.

Brazil is one of the leading manufacturers and suppliers of world foods, being the third largest producer of corn. Grown in different production systems, the smallest part of the production meets consumption in the tables of Brazilians, with the primary target industries of animal feed. For this product is quality, the agro-industries cereal are responsible for storing and drying of these grains, where burning wood is used as an energy source. The wood most used in this process is the wood stemmed Eucalyptus trees for reforestation. Strengthening this activity causes also increase the volume of waste that remains of the drying process of these grains, ash eucalyptus wood (AEW). AEW is a withdrawal of biomass boilers and comprise a mixture of oxidized minerals, silica and organic carbon burned completely. The ash from agribusiness can be used as pozzolans. These have the ability to react with the calcium hydroxide liberated during the hydration of cement, forming stable compounds power binder having the potential to be used as a mineral addition to yield new construction materials and sustainable economic given the increasing demand that currently requires this area. Thus, in this work will be used ash eucalyptus wood, with evaluation of its pozzolanic and physical and chemical characteristics, the partial replacement of Portland cement in mortar. To this was molded specimens of mortar with additions of 0, 5, 10, 15 and the MSC 20% replacement of Portland cement. Through analyzes and tests it can be seen that the use of eucalyptus wood ash in partial replacement of Portland cement is not feasible, since the compressive strength of the samples decreases with the increase in the proportion of gray the cement. All tests corroborate the fall of resistance displayed by specimens.

Keywords : Residue. AEW. Mortar.

LISTA DE ABREVIATURAS

CME	Cinza da Madeira de Eucalipto
DRX	Difratometria de Raios X
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
IAP	Índice de Atividade Pozolânica
CP	Corpos de Prova

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PRINCIPAIS ÓXIDOS DO CIMENTO PORTLAND E SUAS NOTAÇÕES ABREVIADAS	19
TABELA 2 - PRINCIPAIS COMPOSTOS DO CIMENTO PORTLAND.....	19
TABELA 3 – PROPORÇÕES UTILIZADAS PARA A CONFECÇÃO DA PASTA DE CIMENTO.....	29
TABELA 4 - PROPORÇÃO DE MATERIAIS UTILIZADOS PARA A MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS DE ARGAMASSA.	30
TABELA 5 - ANÁLISE DE MATÉRIA ORGÂNICA PRESENTE NA AMOSTRA DE CME.	34
TABELA 6: RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA DETERMINAÇÃO DO IAP	35
TABELA 7 – CONDUTIVIDADE ELÉTRICA ANTES A APÓS A ADIÇÃO DA CME.	36

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - (A) AMOSTRA DE CME ANTES DE PENEIRADA, (B) AMOSTRA DE CME APÓS SECAGEM EM ESTUFA E (C) AMOSTRA DE CME DEPOIS DE PENEIRADA.....	26
FIGURA 2 – FRASCO DE LE CHATELIER PARA A DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA.....	27
FIGURA 3 – CORPOS DE PROVA APÓS O DESMOLDE PARA A REALIZAÇÃO DO IAP.....	28
FIGURA 4 – MOLDE PRISMÁTICO.....	31
FIGURA 5 - MISTURADOR MECÂNICO UTILIZADO NA CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.	31
FIGURA 6 – CORPOS DE PROVA DESMOLDADOS APÓS 24 HORAS.	32
FIGURA 7 – MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAIOS ELETROMECÂNICA.....	33
FIGURA 8 – ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	33
FIGURA 9 – ESPECTRO DE INFRAVERMELHO DA CME.....	37
FIGURA 10 - ESPECTRO DE INFRAVERMELHO DA PASTA DE CIMENTO DE 3 DIAS.....	38
FIGURA 11 – ESPECTRO DE INFRAVERMELHO DA PASTA DE CIMENTO DE 7 DIAS.....	39
FIGURA 12 – DIFRATOGRAMA DE RAIOS X PARA A AMOSTRA DE CME.	40

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA DETERMINAÇÃO DO IAP..	35
GRÁFICO 2 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA AOS 3, 7 E 28 DIAS.....	42
GRÁFICO 3 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA AS ADIÇÕES DE CME.....	43
GRÁFICO 4 – RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO DOS CORPOS DE PROVAS AOS 3, 7 E 28 DIAS.	44
GRÁFICO 5 - RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA AS ADIÇÕES DE CME.....	45

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	OBJETIVOS	13
2.1.	OBJETIVO GERAL.....	13
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1.	CRISE AMBIENTEAL E AS FONTES DE ENERGIA	13
3.2.	BIOMASSA.....	15
3.3.	MADEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS.....	15
3.3.1.	Eucalipto	16
3.4.	AGROINDUSTRIAS CEREALISTAS.....	16
3.4.1.	Resíduos Agroindustriais	17
3.4.2.	Cinza da Madeira de Eucalipto (CME)	18
3.5.	CIMENTO PORTLAND	18
3.5.1.	Obtenção e Composição Química.....	19
3.5.2.	Hidratação do Cimento.....	20
3.6.	ARGAMASSA.....	21
3.7.	ADIÇÕES MINERAIS	22
3.7.1.	Pozolanas	22
3.7.2.	Aplicações.....	23
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
4.1.	PREPARO DA AMOSTRA	25
4.2.	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA	26
4.2.1.	Determinação da Massa Específica	26
4.3.	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA	27
4.3.1.	Análise de Cinzas	27
4.4.	POZOLANICIDADE	27
4.4.1.	Índice de Atividade Pozolânica - IAP.....	28
4.4.2.	Condutividade Elétrica	28
4.5.	PASTA DE CIMENTO	29
4.6.	ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER	29
4.7.	DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X.....	30

4.8.	CORPOS DE PROVA	30
4.8.1.	Moldagem dos Corpos de Prova	30
4.9.	CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA.....	32
4.9.1.	Resistência dos Corpos de Prova	32
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
5.1.	ANÁLISE DE CINZAS	34
5.2.	DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA.....	34
5.3.	POZOLANICIDADE.....	35
5.3.1.	Índice de Atividade Pozolânica – IAP.....	35
5.3.2.	Condutividade Elétrica	36
5.4.	ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER – FTIR	37
5.5.	DIFRATOMETRIA DE RAIOS X.....	40
5.6.	RESISTÊNCIA DOS CORPOS DE PROVA.....	41
5.6.1.	Resistência à Compressão	41
5.6.2.	Resistência à Tração na Flexão.....	43
6.	CONCLUSÃO.....	46
	REFERÊNCIAS.....	47

1. INTRODUÇÃO

Com terras férteis, vastas e clima propício para a agricultura, o Brasil é um dos principais produtores e fornecedores mundiais de alimentos, sendo o terceiro maior produtor mundial de milho, com um total de 53,2 milhões de toneladas na safra 2009/2010 e expectativa de alcançar 70,12 milhões de toneladas nos próximos dez anos (MINISTÉRIO..., 2013).

Cultivado em diferentes sistemas produtivos, o milho é plantado principalmente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul. Primordialmente, o cultivo deste grão atende ao consumo na mesa dos brasileiros, mas esta corresponde a menor parte da produção, consistindo o principal destino da safra as indústrias de rações para animais (MINISTÉRIO..., 2013).

Para que esse produto seja de qualidade, as agroindústrias cerealistas são responsáveis pelo armazenamento e secagem desses grãos, para tanto a queima de lenha é utilizada como fonte de energia. A lenha mais utilizada nesse processo é a madeira de eucalípto, tal qual é provinda de reflorestamentos (AFONSO; OLIVEIRA; COSTA, 2006).

O fortalecimento na atividade faz com que aumente também o volume de um resíduo que sobra nos processos de secagem desses grãos. Inúmeros estudos propõem uma destinação econômica e ecologicamente viável para esse resíduo, a cinza da madeira de eucalípto (CME).

A CME é uma biomassa retirada das caldeiras e consistem em uma mistura de minerais oxidados, sílica e carbono orgânico não totalmente queimado. Sua composição pode apresentar características pozolânicas (FOELKEL, 2011).

As cinzas provenientes de atividades agroindustriais podem ser utilizadas como pozolanas. Estas possuem a capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio liberado durante o processo de hidratação do cimento, formando compostos estáveis de poder aglomerante, possuindo potencialidade para serem empregadas como adição mineral em substituição parcial do cimento Portland em argamassas e concretos (ASSOCIAÇÃO..., 1992).

Deste modo, a utilização, pela indústria civil, dos resíduos gerados em outros setores, pode se tornar vantajosa devido à redução do emprego de matérias-primas não renováveis que são necessárias às atividades da construção civil. Grande parte desse resíduo gerado pode ser incorporada, de modo a produzir novos materiais de

construção econômicos e sustentáveis, atendendo à crescente demanda que atualmente exige esta área.

Assim, no presente trabalho será utilizada a cinza da madeira de eucalipto, com avaliação da sua pozolanicidade e características físicas e químicas, na substituição parcial do cimento Portland em argamassa, sendo testadas sua resistência mecânica e durabilidade após as adições.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Caracterizar e avaliar o desempenho da cinza da madeira de eucalipto na substituição parcial de cimento para a confecção de argamassa.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterização física e química da CME e da mistura cimento Portland/CME;
- Avaliação da atividade pozolânica da CME;
- Caracterização mecânica dos corpos de prova de argamassa;
- Avaliação da durabilidade dos corpos de prova de argamassa;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. CRISE AMBIENTEAL E AS FONTES DE ENERGIA

Com o crescimento populacional brasileiro, conseqüentemente houve um salto no consumo de energia, e para tentar suprir essa demanda de energia tem-se duas formas de obtenção: fontes renováveis e não renováveis.

As fontes renováveis são repostas prontamente pela natureza (fontes de energia eólica, hidráulica) e as não renováveis são aquelas que a natureza precisa de um tempo geológico para que ocorra sua reposição (fontes de energia fóssil e nuclear) (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

FONTES		ENERGIA PRIMÁRIA		ENERGIA SECUNDÁRIA
NÃO RENOVÁVEIS	Fósseis	Carvão mineral		Termoeletricidade, calor, combustível para transporte
		Petróleo e derivados		
		Gás natural		
	Nuclear	Materiais fósseis		Termoeletricidade, calor
RENOVÁVEIS	“Tradicionais”	Biomassa primitiva: lenha de desmatamento		Calor
	“Convencionais”	Potenciais hidráulicos de médio e grande porte		Hidroeletricidade
		Potenciais hidráulicos de pequeno porte		
	Novas	Biomassa “moderna”: lenha replantada, culturas energéticas (cana-de-açúcar, óleos vegetais)		Biocombustíveis (etanol, biodiesel), termoeletricidade, calor
		Outros	Energia solar	Calor, eletricidade fotovoltaica
			Geotermal	Calor e eletricidade
			Eólica	Eletricidade
Maremotriz de ondas				

Quadro 1 - Fontes de Obtenção de Energia

Fonte: Adaptado de GOLDEMBERG; LUCON, 2007, p. 10.

Atualmente as principais causas da crise ambiental são o crescimento populacional, a demanda de energia e de materiais e devido a grande geração de resíduos. Problemas que são causados para satisfazer a necessidade de desenvolvimento da humanidade (BRAGA, 2005). Este crescimento promove a busca por fontes de energia que sejam mais baratas, que gerem menos poluentes no meio ambiente e que se originem de fontes renováveis.

Pois existem várias cadeias produtivas dentro do agronegócio que geram resíduos e efluentes orgânicos em todas as suas fases de produção e industrialização, uma alternativa é utilizá-los como potencialidade energética, tendo

assim uma redução dos impactos negativos nos recursos hídricos, no solo e na atmosfera (BRAGA, 2005).

3.2. BIOMASSA

De acordo com Braga, et al (2005) “a biomassa é a matéria vegetal produzida pelo sol por meio da fotossíntese, ela pode ser queimada no estado sólido ou convertida para líquido ou gasoso” (BRAGA, 2005, p. 63), ou seja, é uma forma indireta de energia solar. A biomassa é uma matéria orgânica (de origem vegetal ou animal) que se processada pode ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica (AGÊNCIA..., 2002).

Segundo a ANEEL (2002) a biomassa:

“de acordo com a sua origem, pode ser: florestal (madeira, principalmente), agrícola (soja, arroz e cana-de-açúcar, entre outras) e rejeitos urbanos e industriais (sólidos ou líquidos, como o lixo). Os derivados obtidos dependem tanto da matéria-prima utilizada (cujo potencial energético varia de tipo para tipo) quanto da tecnologia de processamento para obtenção dos energéticos” (AGÊNCIA..., 2002, p. 67).

A geração de energia através da biomassa vem sendo um grande potencial energético e de grande utilização, devido a falta de recursos energéticos não renováveis e a crise ambiental causada pela demanda de energia e o alto número de geração de resíduos.

3.3. MADEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS

As florestas plantadas têm por objetivo reduzir os impactos ambientais e promover o desenvolvimento econômico e social das comunidades vizinhas (ASSOCIAÇÃO..., 2010) “trazendo uma série de benefícios indiretos, tais como a ocupação de solos não agricultáveis, proteção de nascentes e cursos d’água, recuperação do solo, entre outros”. (GALVÃO, 2000)

As florestas plantadas são utilizadas nas indústrias de papel e celulose, como madeira, lenha, carvão para uso energético e outros produtos de largo consumo. Desta maneira, essas florestas destinadas a indústria, suprem toda a necessidade da população, sem necessidade de esgotar os recursos naturais. (ASSOCIAÇÃO, 2010).

Com tudo os setores industriais com base florestal são considerados com uma agroindústria que usa recursos provenientes de fontes renováveis (ASSOCIAÇÃO..., 2012)

Segundo o anuário estatístico 2013 (ano base 2012) da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas – ABRAF, o Brasil possui cerca de 6,66 milhões de hectares do seu território em florestas plantadas, sendo que 76,6 % correspondem a florestas de eucalipto e 23,4% de pinus (ASSOCIAÇÃO..., 2013).

Neste mesmo ano foi estimada a utilização de toda a madeira de floresta plantada, na qual 38,7 % foram destinadas a produção de carvão vegetal e lenha, 35,2% foram utilizadas para a produção de celulose, 16,4% na produção de serrados, 7,1% para a produção de painéis de madeira industrializada e 2,7% na produção de compensados (ASSOCIAÇÃO...,2013).

A utilização da madeira como lenha é o “uso mais antigo que se tem conhecimento” (GALVÃO, 2000). A lenha como combustível sólido pode ser utilizada para uso doméstico, em fornos industriais ou em caldeiras industriais, tendo como finalidade a geração de energia e calor. (GALVÃO, 2000)

3.3.1. Eucalipto

O eucalipto é o gênero mais plantado devido ao seu ciclo de cultivo ser menor que o do pinus, “o eucalipto leva aproximadamente 7 anos e o pinus leva em média 14 anos” (ASSOCIAÇÃO..., 2010).

Segundo a ABRAF, o eucalipto tem como seus principais usos: celulose, carvão vegetal para siderurgia, painéis de aglomerados de madeira e compensados, madeira serrada, lenha e biomassa como fontes de energia, óleos essenciais e postes e mourões (ASSOCIAÇÃO..., 2012)

3.4. AGROINDUSTRIAS CEREALISTAS

As agroindústrias cerealistas se preocupam primordialmente com a qualidade do seu produto, para isso devem ater-se aos fatores que influenciam na preservação da qualidade desses produtos. O principal fator é o teor de água presente no produto, pois este se armazenado com altos teores de umidade pode sofrer perdas

significativas tanto quantitativas quanto qualitativas (AFONSO; OLIVEIRA; COSTA, 2006).

Para que o produto atinja um teor de água adequado é realizada a retirada parcial da água através da secagem, sendo que esta varia de acordo com o produto e os teores iniciais e finais de água. A energia requerida para este processo é fornecida através da queima de lenha de diversos tipos de madeira, mas para a escolha do tipo de fonte de energia deve ser levado em conta “os seguintes aspectos: minimização do impacto ambiental e a escassez de recursos não-renováveis” (AFONSO; OLIVEIRA; COSTA, 2006), procurando assim diferentes alternativas de fontes de energia e que sejam renováveis.

Uma fonte que vem sendo muito utilizada é a madeira de eucalipto, tal qual é originada de reflorestamentos (AFONSO; OLIVEIRA; COSTA, 2006).

3.4.1. Resíduos Agroindustriais

Os processos realizados nas indústrias e agroindústrias têm como objetivo final a geração de um produto de interesse, mas para que isso ocorra não há como não gerar resíduos durante o processo (LIMA, 2008)

Existem vários estudos que visam identificar a viabilidade em transformar os resíduos gerados em fonte de matéria prima para novos produtos, contribuindo ainda com a “preservação do ambiente, redução de custos e do consumo de energia” (LIMA, 2008).

As agroindústrias são fontes geradoras de muitos resíduos e segundo Silva e Souza (1995) os resíduos agroindustriais são mais utilizados na construção civil, devido ao grande volume físico de materiais que são incorporados, sendo assim o mercado mais propício para transformação e a adição desses resíduos em novos produtos (SILVA; SOUZA, 1995).

O resíduo que tem mais destaque no âmbito da utilização de resíduos agroindustriais, segundo Cincotto (1988), são as cinzas geradas por processos de incineração para geração de energia e para secagem e, além disso, as cinzas geram problemas de armazenamento e impacto ambiental (CINCOTTO, 1988).

3.4.2. Cinza da Madeira de Eucalipto (CME)

Segundo Foelkel (2011) a cinza é classificada como um resíduo sólido mineral que sobra da queima de biomassa. A cinza de madeira de eucalipto é

“um material residual e muito variável em qualidade, recolhido tanto do fundo como do precipitador de coleta de particulados dos gases de exaustão da caldeira de força alimentada em base de biomassa energética (madeira e/ou casca de árvores)” (FOELKEL, 2011)

A madeira e a casca dos eucaliptos que são queimadas possuem certo teor de minerais em sua composição. O teor de cinzas da madeira é bastante baixo (entre 0,3 a 0,6% base seu peso seco). Por outro lado, os teores de cinzas da casca das árvores dos eucaliptos já são bem mais altos (entre 3 a 8% base peso seco). Além desses minerais da constituição, também possui contaminações de terra/areia e pedras. Isso acaba por elevar seu teor de cinzas de forma variável, muito em função dessas contaminações e das proporções de casca e madeira sendo queimadas (FOELKEL, 2011).

Em geral, as cinzas das caldeiras de biomassa consistem em uma mistura de elementos minerais oxidados, areia e carbono orgânico não totalmente queimado (FOELKEL, 2011).

A composição das cinzas é muito variada, pois depende desde a qualidade da madeira até as condições operacionais da caldeira, mas é possível verificar características pozolânicas, o que explica a utilização de resíduos sólidos minerais na construção civil (FOELKEL, 2011).

3.5. CIMENTO PORTLAND

O cimento é um produto constituído principalmente de material calcário, sílica e alumina, que quando hidratados funcionam como uma cola que irá ligar as partículas de agregado entre si.

Segundo Neville (1997) cimento “pode ser considerado todo material com propriedades adesivas e coesivas capaz de unir fragmentos de minerais entre si de modo a formar um todo compacto” (NEVILLE, 1997, p.23).

Os cimentos utilizados no preparo de concretos, mesmo dentro d’água, possuem a propriedade de endurecer, sendo chamados cimentos hidráulicos.

A designação “cimento Portland” foi dada originalmente pela semelhança, de cor e qualidade, com a pedra de Portland (NEVILLE, 1997).

3.5.1. Obtenção e Composição Química

As matérias primas utilizadas na fabricação do cimento Portland são principalmente calcário, sílica, alumina e óxido de ferro, que sofrem interação no forno “formando uma série de produtos mais complexos e, com exceção de um pequeno resíduo de cal que não teve tempo suficiente para reagir, é atingido um estado de equilíbrio químico” (NEVILLE, 1997, p.28).

O cimento é obtido pela mistura de calcário e argila. Essa mistura é colocada em um forno onde é aquecida, produzindo, após o resfriamento rápido, um material denominado clínquer. O clínquer é moído juntamente com gesso, resultando no cimento Portland.

Em decorrência do seu processo de obtenção, o cimento é um produto constituído por vários óxidos combinados, formando compostos complexos que apresentam a propriedade de se combinarem com água. “O resultado é um material cristalino com características de resistência e aderência aos agregados e ao aço da armadura” (GIAMUSSO, 1992, p.37).

Os principais óxidos e suas representações simplificadas (cada óxido por uma letra), usadas pelos químicos do cimento, estão representados na tabela 1:

Tabela 1 - Principais óxidos do cimento Portland e suas notações abreviadas

Composto	Notação Abreviada
CaO - Óxido de cálcio (cal)	C
SiO ₂ – Óxido de silício (sílica)	S
Al ₂ O ₃ – Óxido de alumínio (alumina)	A
Fe ₂ O ₃ – Óxido de ferro	F

Fonte: GIAMUSSO, 1992.

Quatro compostos são habitualmente considerados como os principais constituintes do cimento (Tabela 2). Os principais óxidos e suas representações simplificadas:

Tabela 2 - Principais compostos do cimento Portland

Nome do composto	Composição em óxidos	Abreviação
Silicato tricálcico	3CaO.SiO ₂	C ₃ S
Silicato dicálcico	2CaO.SiO ₂	C ₂ S

Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C ₃ A
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C ₄ AF

Fonte: NEVILLE, 1997.

Além dos compostos principais há compostos secundários, em pequenas porcentagens, como MgO, TiO₂, MnO₂, K₂O e Na₂O, com particular interesse nos dois últimos, óxido de potássio e óxido de sódio, respectivamente, que são conhecidos como os álcalis. Estes “reagem com alguns agregados, de modo que os produtos dessa reação provocam a desintegração do concreto e influenciam a velocidade de aumento de resistência do cimento” (NEVILLE, 1997, p. 29).

3.5.2. Hidratação do Cimento

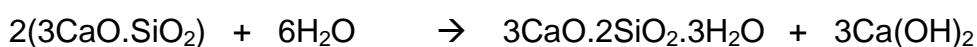
As reações que fazem com que o cimento se torne um agente ligante ocorrem na pasta de água e cimento. “O cimento Portland anidro não aglomera areia e agregado graúdo, ele só adquire a propriedade adesiva quando misturado à água” (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 198).

Entrando em contato com a água (hidratação do cimento), os aluminatos e silicatos formam produtos de hidratação, que com o decorrer do tempo geram produtos com características de pega e endurecimento, já que o cimento em si não é um material cimentante.

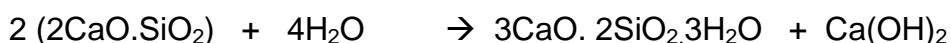
Segundo Neville (1997), há dois modos pelos quais “os compostos existentes no cimento reagem com a água. Na primeira, ocorre uma incorporação direta de algumas moléculas de água, sendo assim uma verdadeira hidratação. O segundo tipo de reação é uma hidrólise” (NEVILLE, 1997, p. 33). No entanto é adequado o uso do termo hidratação para todas as reações.

O processo de hidratação consiste na ocorrência de reações dos compostos anidros com a água. Cada composto do cimento reage com a água formando um cristal:

a) Silicato tricálcico



b) Silicato dicálcico



c) Aluminato tricálcico



d) Ferroaluminato tetracálcico



Contudo, os compostos não hidratam à mesma velocidade. De acordo com Mehta e Monteiro (1994):

Os aluminatos são conhecidos por hidratarem muito mais rapidamente que os silicatos. O enrijecimento (perda de consistência) e a pega (solidificação) características da pasta do cimento Portland, são amplamente determinados por reações de hidratação envolvendo os aluminatos. (MEHTA, MONTEIRO, 1994, p. 200)

Ainda, segundo Mehta e Monteiro (1994):

Os silicatos, que compõem aproximadamente 75% do cimento Portland comum, têm um importante papel na determinação das características de endurecimento (taxa de desenvolvimento da resistência). (MEHTA, MONTEIRO, 1994, p. 201)

3.6. ARGAMASSA

Segundo a NBR 7200, argamassa é uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes e água, podendo ou não possuir aditivos ou adições, com propriedade de aderência e endurecimento.

Inicialmente, a argamassa é mole, servindo para o assentamento das pedras, tijolos e blocos, deixando-as em posição firme até seu endurecimento. Quando endurecida serve para distribuir os esforços na superfície de uma pedra, tijolo ou bloco, sobre o outro, e estabelecendo uma aderência de modo a formar um conjunto maciço. Essa aderência faz com que o maciço resista a esforços de flexão, compressão, choques, e até mesmo pequenos esforços de tração (MOLITERNO, 1995).

As argamassas utilizadas em obras são comumente compostas de areia natural lavada e de aglomerantes, que são em geral o cimento e a cal hidratada, porém a destinação da argamassa é que irá determinar o tipo de aglomerante ou a mistura de tipos diferentes de aglomerantes (FIORITO, 1994).

As argamassas de cimento são utilizadas em alvenarias de alicerces pela resistência exigível e especialmente pela condição favorável de endurecimento. São também utilizadas para chapisco pela sua resistência em curto prazo; nos

revestimentos onde as condições de impermeabilidade são exigidas; ou em pisos cimentados onde se exige resistência mecânica e ao desgaste (FIORITO, 1994).

As proporções entre aglomerante e agregado, componentes da argamassa, também devem ser determinadas. A indicação dessas proporções é chamada traço, que é tradicionalmente indicado em volumes (FIORITO, 1994).

Além do traço, fatores como granulometria do agregado, compactação da massa e modo de lançamento, condições de temperatura e umidade e quantidade de água, fazem com que a resistência aos esforços mecânicos da argamassa varie (FIORITO, 1994) (MOLITERNO, 1995).

3.7. ADIÇÕES MINERAIS

Muitos subprodutos industriais podem ser incorporados ao concreto na forma de adições minerais, podendo ser um substituto parcial do cimento Portland, resultando em uma economia expressiva de energia e custo.

Segundo Mehta e Monteiro (1994) as adições minerais são “materiais silicosos finamente moídos adicionados ao concreto” (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 290).

As adições minerais são frequentemente acrescentadas em grande quantidade ao concreto, uma vez que melhoram a resistência à fissuração térmica devido ao calor de hidratação mais baixo, aumentam a impermeabilidade por refinamento dos poros, e trazem uma durabilidade maior á agentes químicos, tais como a expansão álcali-agregado e ataque por sulfato como resultado da redução da alcalinidade, além de reduzir o custo e melhorar a sua trabalhabilidade quando fresco (Mehta; Monteiro, 1994).

Adicionam-se ao cimento Portland materiais, também chamados de adições ativas, como escória de alto-forno, pozolanas e calcário, que participam das reações de hidratação do cimento (GIAMMUSSO, 1992).

3.7.1. Pozolanas

Segundo a NBR 12653, pozolanas são “materiais silicosos ou silicoaluminosos, que por si só, possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, quando finamente divididos e na presença de água, reagem com o

hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos com propriedades aglomerantes” (ASSOCIAÇÃO..., 1992).

Para formar silicatos estáveis que têm propriedades cimentícias, é essencial que a pozolana esteja finamente subdividida, pois somente assim a sílica pode combinar com o hidróxido de cálcio na presença de água. Também é essencial que a sílica esteja em seu estado amorfo, isto é vítreo, pois quando em estado cristalino sua reatividade é muito pequena (NEVILLE, 1997).

Em geral, os materiais pozolânicos podem ter origem natural ou artificial, e são constituídas, em sua maior parte, por sílica não cristalizada que reage com a cal liberada pela hidratação do clínquer, tornando a pasta muito compacta com melhores características de resistência a certos agentes agressivos.

A reação entre a pozolana e o hidróxido de cálcio é chamada reação pozolânica. Segundo Mehta e Monteiro (1994) “a importância técnica dos cimentos pozolânicos deriva principalmente de três aspectos da reação pozolânica”:

- 1) A reação é lenta, assim a taxa de liberação de calor e de desenvolvimento da resistência será lenta.
- 2) A reação não produz óxido de cálcio e sim consome-o, representando uma contribuição importante para a durabilidade da pasta endurecida de cimento frente a meios ácidos.
- 3) Os produtos da reação são bastante eficientes no preenchimento dos espaços capilares grandes, melhorando assim a resistência e a impermeabilidade do sistema.

3.7.2. Aplicações

3.7.2.1. Melhoria da trabalhabilidade

A incorporação de partículas finamente divididas geralmente melhora a trabalhabilidade de concretos frescos, por reduzir o tamanho e o volume de vazios. “Quanto mais fino o aditivo mineral, menor a quantidade que será necessária para aumentar a coesão e, conseqüentemente, a trabalhabilidade de um concreto recentemente misturado” (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 301)

3.7.2.2. Durabilidade à fissuração térmica

Em condições normais, as adições minerais não reagem em um nível significativo por vários dias. O emprego de um aditivo mineral oferece a possibilidade de diminuir a elevação de temperatura quase em proporção direta com a quantidade de cimento Portland substituído pelo aditivo (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Devido ao micro fissuramento no esfriamento, os concretos de cimento Portland sem aditivos minerais, sofrem uma perda de resistência. Ao contrário, concretos contendo aditivos minerais apresentam comumente ganho de resistência. Enquanto exposições a altas temperaturas podem ser prejudiciais a concretos sem adições minerais, os concretos que possuem essas adições podem ser beneficiados pela aceleração da reação pozolânica (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

3.7.2.3. Durabilidade a ataques químicos

Dependendo das características do aditivo mineral juntamente com o cimento Portland rico em teor de álcalis, tem-se mostrado eficazes em limitar a expansão álcali- agregado a níveis aceitáveis (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

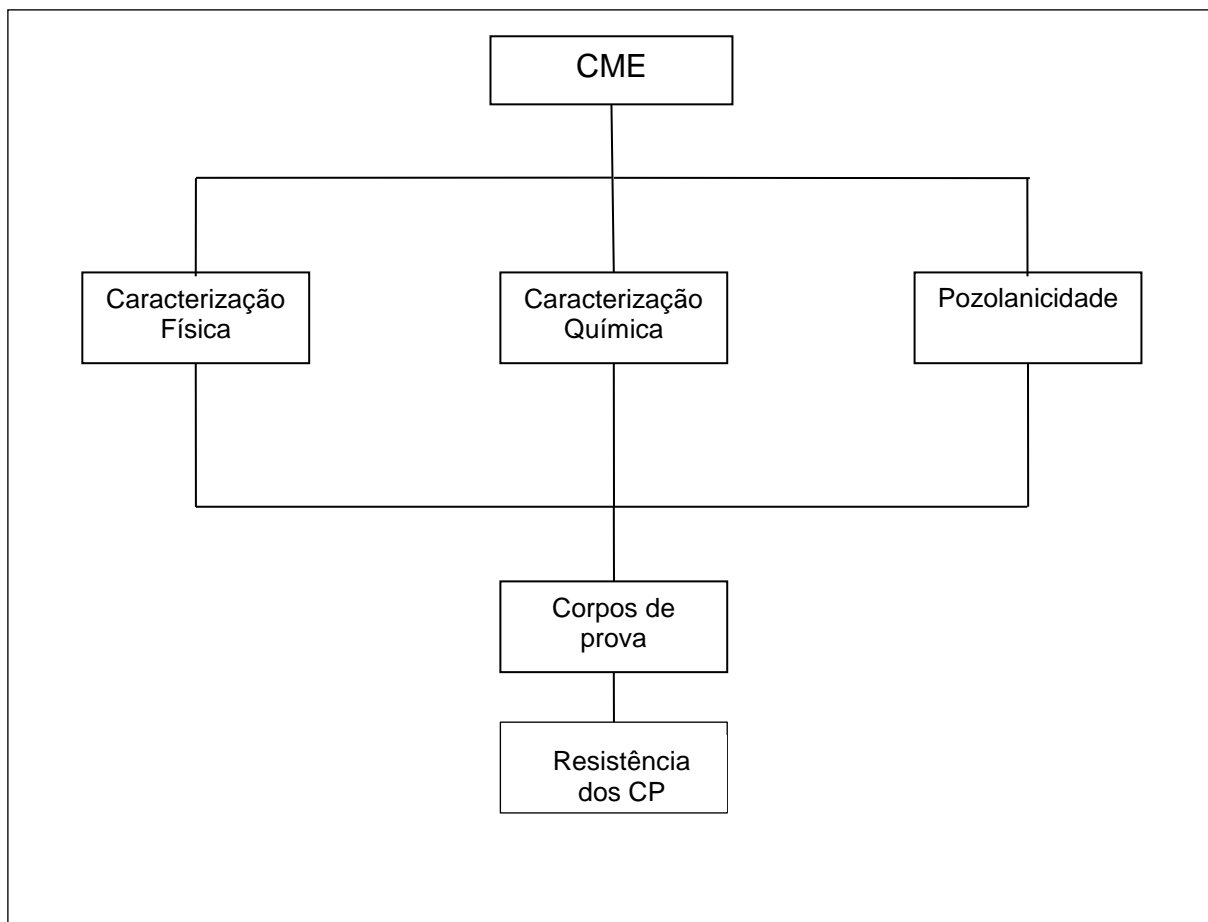
As pozolanas altamente reativas, mesmo que em pequenas quantidades, são capazes de consumir quase que completamente o hidróxido de cálcio presente na pasta de cimento sendo capazes não só de melhorar a resistência ao ataque ácido como também ao ataque por sulfatos (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

A reação pozolânica é acompanhada por uma redução na permeabilidade bem como no teor de hidróxido de cálcio do produto hidratado, assim, a incorporação de aditivos minerais ao concreto melhora a resistência do material a água ácidas, sulfatadas e de mar (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A CME utilizada é originária de uma indústria de secagem e armazenamento de grãos localizada na cidade de Francisco Beltrão-PR.

O procedimento experimental foi desenvolvido conforme o fluxograma que segue:



Fluxograma 1: Procedimento experimental desenvolvido.

4.1. PREPARO DA AMOSTRA

Para a remoção da umidade presente, submeteu-se a amostra de CME ao aquecimento em estufa a 60 °C por 2 horas.

Na sequência, peneirou-se a amostra em peneira de 28 Mesh para a obtenção de uma amostra mais homogênea, com a granulometria pretendida e retirada de resíduos indesejados como grãos e carvão remanescentes do processo de secagem, como mostra a **Figura 1**:

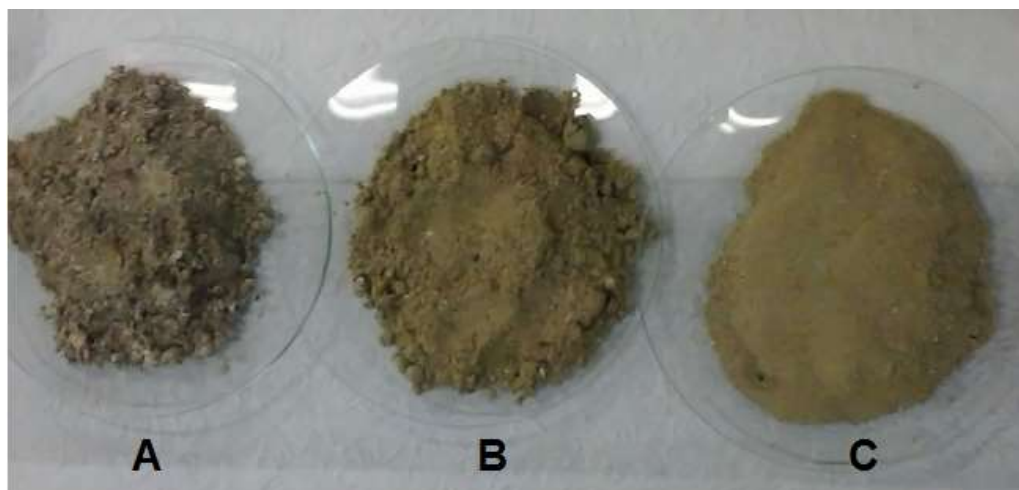


Figura 1 - (a) amostra de CME antes de peneirada, (b) amostra de CME após secagem em estufa e (c) amostra de CME depois de peneirada.

4.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

4.2.1. Determinação da Massa Específica

Realizou-se a análise de massa específica das cinzas por meio de frasco volumétrico de Le Chatelier (**Figura 2**) seguindo o procedimento descrito pela NBR NM 23, no qual foi medido o deslocamento do volume de um líquido provocado pela adição da amostra a ser analisada (ASSOCIAÇÃO..., 2001).

Encheu-se o frasco volumétrico de Le Chatelier, com o auxílio de um funil de haste longa, com água, até que o volume atingisse 1cm^3 , sendo esta a primeira leitura (V_1).

Adicionou-se a CME em pequenas porções no frasco até que o volume do líquido deslocou-se entre as marcas de 18cm^3 e 24cm^3 da escala graduada do frasco. Tampou-se e girou-se o frasco. Registrou-se o volume deslocado, sendo este compreendido como V_2 .

A massa específica do material foi calculada pela seguinte fórmula:

$$\rho = \frac{m (g)}{V (cm^3)}$$

Em que:

ρ = massa específica do material ensaiado.

m = massa do material ensaiado.

V = volume deslocado pela massa do material ensaiado ($V_2 - V_1$).



Figura 2 – Frasco de Le Chatelier para a Determinação da Massa Específica.

4.3. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

4.3.1. Análise de Cinzas

Analisou-se o teor de matéria orgânica presente na amostra de CME tendo em vista o teor de cinzas presente na mesma. Assim, submeteu-se a amostra a mufla a 550 °C por 2 horas, fundamentando-se na perda de peso que ocorre quando a amostra é incinerada com destruição da matéria orgânica e sem decomposição significativa do resíduo mineral presente.

4.4. POZOLANICIDADE

A pozolanicidade da cinza foi avaliada por intermédio de dois métodos, sendo um realizado pelo Índice de Atividade Pozolânica – IAP conforme descrito na NBR 5752 (ASSOCIAÇÃO..., 1992 a) e o outro por intermédio da condutividade elétrica de acordo com o método proposto por Luxán *et al* (1989).

4.4.1. Índice de Atividade Pozolânica - IAP

O IAP foi determinado por intermédio da comparação entre a resistência à compressão aos 28 dias, da argamassa produzida apenas com cimento Portland e da argamassa com a adição de 35% do seu volume absoluto de cimento substituído por material pozolânico (**Figura 3**), conforme descrito na NBR 5752 (ASSOCIAÇÃO..., 1992).

Através da média da resistência à compressão obteve-se o IAP dividindo-se a resistência à compressão do corpo de prova de cimento + 35% de cinza pela resistência a compressão do corpo de prova de referência.



Figura 3 – Corpos de prova após o desmolde para a realização do IAP.

4.4.2. Condutividade Elétrica

O método de Luxán, et al. (1989) consiste na mensuração da variação de condutividade de uma solução saturada de hidróxido de cálcio com e sem adição da CME. A solução saturada foi preparada diluindo-se 2 gramas de hidróxido de cálcio em 1000 mL de água, sob agitação e a uma temperatura de 40°C, filtrou-se 200 mL da solução e colocou-se novamente sob agitação e temperatura de 40°C. Após a estabilização da temperatura foi medido a condutividade da solução saturada com um sensor de condutividade (AAKER, modelo mCA-150) , posteriormente foi adicionado 5 gramas da CME e aguardou-se 2 minutos para a realização da nova medida de condutividade. A pozolanicidade da CME foi calculada por intermédio da subtração da condutividade elétrica antes e após a adição da cinza, conforme propôs Luxán et al. (1989).

4.5. PASTA DE CIMENTO

Para a realização das análises de Espectroscopia de Infravermelho e Difratoômetro de raios X necessitou-se confeccionar pasta de cimento. As proporções utilizadas de cinza para o preparo da pasta de cimento estão descritas na **Tabela 3**.

As pastas foram preparadas de modo que a proporção de água/cimento fosse 0,38.

Tabela 3 – Proporções utilizadas para a confecção da pasta de cimento.

	Adição de Cinza (g)	Cimento (g)	Água (g)
Referência	0,00	35,70	13,87
5%	1,79	33,90	13,87
10%	3,57	32,13	13,87
15%	5,36	30,345	13,87
20%	7,14	28,56	13,87

Interrompeu-se a hidratação das pastas com 3 e 7 dias de idade por intermédio da imersão das pastas em acetona por 2 horas. Posteriormente filtrou-se com o auxílio de bomba á vácuo e levou-se a dessecador. Triturou-se as pastas e peneirou-se em peneira de 100 Mesh.

4.6. ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER

A análise de infravermelho foi realizada para as amostras de cinza de madeira de eucalipto e para a pasta de cimento aos 3 e 7 dias de idade.

As amostras foram analisadas através de FTIR, em um espectrofotômetro Perkin Elmer FT-IR Spectrometer Frontier.

As análises foram realizadas através de pastilhas das amostras e KBr nas proporções de 1,5 : 150 mg, respectivamente, em duplicatas.

Os espectros foram obtidos a partir de 32 varreduras no intervalo de 4000 a 400 cm^{-1} com resolução espectral de 4 cm^{-1} .

4.7. DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X

As análises de Difractometria de raios X foram realizadas pela UNICENTRO, campus Guarapuava, realizadas pelos professores Fauze Jacó Anaissi e Vanderlei Aparecido de Lima.

Analizou-se a CME através de um difratômetro Bruker, modelo D2 Phaser, com radiação $\text{Cu K}\alpha$, tubos de raios X alimentados com 40 kV e corrente elétrica de 30 mA em ângulos de varredura entre 3 e 70° e passo de 0,5°, através de amostras em pó em porta amostra circular com 25 mm de diâmetro.

4.8. CORPOS DE PROVA

4.8.1. Moldagem dos Corpos de Prova

Moldaram-se corpos de prova de argamassa com adições de 0, 5, 10, 15 e 20% de CME na substituição do cimento Portland, seguindo a NBR 7215 (ASSOCIAÇÃO..., 2003) que define os procedimentos para a mistura e cura de corpos de prova.

As proporções de materiais utilizados estão mostradas na **Tabela 4**:

Tabela 4 - Proporção de materiais utilizados para a moldagem dos corpos de prova prismáticos de argamassa.

SUBSTITUIÇÃO (%)	CIMENTO (g)	AREIA (g)	ÁGUA (g)	CINZA (g)
0	624	1872	299,5	0
5	592,8	1872	299,5	31,2
10	561,6	1872	299,5	62,4
15	530,4	1872	299,5	93,6
20	499,2	1872	299,5	124,8

Utilizando-se um misturador mecânico (**Figura 5**) moldaram-se, para cada proporção e idade, 3 corpos de prova. Também foram moldados 3 corpos de prova com adição de 35% de cinza e 3 corpos de prova de referência, para a realização do teste de pozolanicidade. Totalizou-se assim, 51 corpos de prova prismáticos moldados através do molde mostrado na **Figura 4**.



Figura 4 – Molde prismático.

Para tal, utilizou-se cimento CPV ARI e areia normal, sendo esta composta por quatro frações distintas: fração grossa (nº 16), fração média grossa (nº 30), fração média fina (nº 50) e fração fina (nº 100).



Figura 5 - Misturador mecânico utilizado na confecção dos corpos de prova.

Executou-se a mistura mecânica colocando-se primeiramente na cuba toda a quantidade de água e adicionando, na velocidade baixa e gradualmente durante o tempo de 30 s cada, o cimento e as frações de areia previamente misturadas. Misturou-se, ainda em velocidade baixa, a massa por mais 30s. Desligou-se o misturador durante 1min e 30 s, e durante este tempo retirou-se, com auxílio de uma

espátula, a argamassa que ficou aderida às paredes da cuba e à pá e deixou-se em repouso pelo tempo restante coberto com pano limpo e úmido. Imediatamente após este intervalo, ligou-se o misturador na velocidade alta, por mais 1 min.

A moldagem foi realizada imediatamente após a mistura mecânica, colocando-se a argamassa em duas camadas aproximadamente iguais, recebendo cada camada 30 golpes com soquete para o adensamento. Terminou-se a operação rasando o topo dos corpos de prova com régua.

Logo após a moldagem os corpos de prova foram colocados em câmara úmida por 24 horas e desmoldados após esse período (**Figura 6**). Os mesmos foram imersos em água saturada de cal (3g/L) onde permaneceram até o momento do ensaio de resistência.



Figura 6 – Corpos de prova desmoldados após 24 horas.

4.9. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

4.9.1. Resistência dos Corpos de Prova

A análise da resistência à compressão foi realizada de acordo com a normatização brasileira NBR 7215 (ASSOCIAÇÃO..., 1994), com ruptura dos corpos de prova aos 3, 7 e 28 dias de idade.

Colocaram-se os corpos-de-prova diretamente sobre o prato inferior da prensa (**Figura 7**), fazendo com que ficasse centrado em relação ao eixo de carregamento (ASSOCIAÇÃO..., 1994).

Também realizaram-se testes de resistência à tração na flexão para os corpos de prova aos 3, 7 e 28 dias.



Figura 7 – Máquina universal de ensaios eletromecânica.



Figura 8 – Ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. ANÁLISE DE CINZAS

Os resultados da análise de cinzas realizada podem ser visualizados na Tabela 4:

Tabela 5 - Análise de matéria orgânica presente na amostra de CME.

CADINHO	MASSA CADINHO (g)	MASSA AMOSTRA (g)	CADINHO + AMOSTRA (g)	MASSA CINZAS (g)	CINZA %	MO %
C1	46,8466	5,0000	51,0510	4,2044	84,09	15,91
C2	51,2037	5,0007	55,4211	4,2174	84,34	15,66
C3	39,5449	5,0003	43,7302	4,1853	83,70	16,30

Observou-se, após triplicata, que o teor de cinzas médio encontrado na amostra é de 84,04%, deparando-se assim, com um teor de matéria orgânica médio presente na amostra de CME na ordem de 15,96%.

Levando-se em consideração que a presença de carbono influencia negativamente a resistência á compressão do material, COOK (1985 apud DE PAULA, 2008, p.3) destaca que cerca de 20% de carbono na cinza não afeta de maneira significativa a resistência à compressão, porém, devido à diminuição de sílica na amostra, percebe-se um decréscimo na resistência quando os teores são elevados.

5.2. DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA

Através do método do frasco de Le Chatelier, determinou-se a massa específica substituindo na fórmula os valores de massa e volume. A massa de cinza adicionada no frasco de Le Chatelier foi 49 g, deslocando um volume de 18,7 cm^3 . Desta forma, a massa específica da CME é 2,62 g/cm^3 .

Contudo Pogialli (2010), afirma que a massa específica do cimento Portland é aproximadamente 3,15 g/cm^3 . Como esperado, verifica-se que a densidade da cinza é inferior a densidade do cimento (POGIALLI, 2010).

5.3. POZOLANICIDADE

5.3.1. Índice de Atividade Pozolânica – IAP

Após a realização dos ensaios de resistência a compressão nos corpos de prova, em triplicata, de referência e com adição de 35% de cinza foi determinado o IAP.

A **Tabela 6** apresenta os valores de resistência à compressão, seguido de sua média e desvio padrão.

Tabela 6: Resistência a Compressão dos Corpos de Prova para determinação do IAP

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)		
CORPO DE PROVA	REFERÊNCIA	35%
CP1	39,85	9,14
CP2	44,22	12,3
CP3	41,2	11,24
MÉDIA	41,76	10,89
D.PADRÃO	2,24	1,61

Obteve-se assim, um IAP equivalente a 0,2609, sendo este representado em porcentagem, tem-se um Índice de Atividade Pozolânica de 26,09%.

Os valores de compressão dos corpos de prova podem ser comparados no **Gráfico 1**.

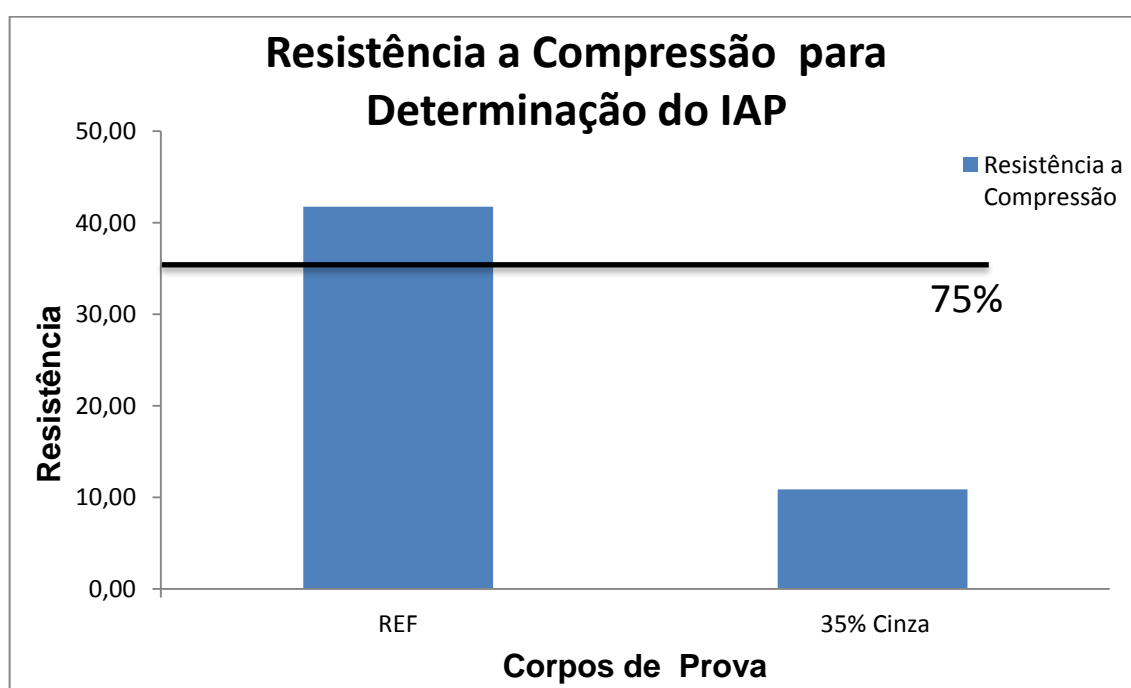


Gráfico 1: Resistência à Compressão para Determinação do IAP

Observa-se no **Gráfico 1** e no IAP calculado, que a resistência a compressão da média dos corpos de prova com 35% de cinza, não atingiu 75% da resistência da média dos corpos de prova de referência, sendo esta a porcentagem mínima exigida pela NBR 12653, para que seja um material pozolânico (ASSOCIAÇÃO..., 1992)

Segundo Metha e Monteiro (2008) a CME analisada pode não ter desenvolvido a atividade pozolânica devido a sua granulometria, tal qual não se apresentava suficientemente fina para que ocorresse o efeito filler (preenchimento de vazios), acarretando um possível aumento da porosidade e permeabilidade e diminuição da resistência mecânica e durabilidade.

5.3.2. Condutividade Elétrica

Os valores de condutividade obtidos na avaliação da atividade pozolânica são apresentados na tabela 7:

Tabela 7 – Condutividade elétrica antes e após a adição da CME.

Condutividade Solução Saturada	Condutividade Solução saturada + CME	Variação da Condutividade
4,43 $\mu\text{S/cm}$	8,27 $\mu\text{S/cm}$	3,84 $\mu\text{S/cm}$

Segundo o método proposto por Luxán *et al* (1989) com os valores obtidos através da variação de condutividade pode-se classificar o material analisado como um material sem atividade pozolânica ($< 0,4 \text{ mS/cm}$), com atividade pozolânica moderada ($< 1,2 \text{ mS/cm}$) ou com boa atividade pozolânica ($> 1,2 \text{ mS/cm}$). Luxán *et al* (1989) descreve que se a amostra for uma pozolana a condutividade da solução saturada de hidróxido de cálcio deve ser inferior que a condutividade da solução com a adição da amostra, decorrente da menor quantidade de íons Ca^{+2} e $(\text{OH})^-$ presentes na solução com a amostra.

Analisando a variação de condutividade apresentado na tabela 5, observa-se que a CME, de acordo com o método proposto por Luxán *et al* (1989), não apresenta atividade pozolânica.

Segundo Poggiali (2010) a granulometria das cinzas influencia diretamente na sua pozolanicidade, constatando-se que as cinzas *in natura* não apresentam atividade pozolânica, mas se passadas por um processo de moagem, diminuído

assim sua granulometria, estas apresentam atividade pozolânica. Cordeiro *et al.* (2009 apud Poggiali, 2010, p. 113) confirma que partículas com granulometria abaixo de 60 μm fornecem atividade pozolânica aos produtos, afirmando que as “cinzas mais finas são as mais reativas”.

5.4. ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER – FTIR

Realizaram-se análises de FTIR para a CME e para as pastas de cimento em 3 e 7 dias de cura.

Apresenta-se na **Figura 9** o espectro de infravermelho para a CME.

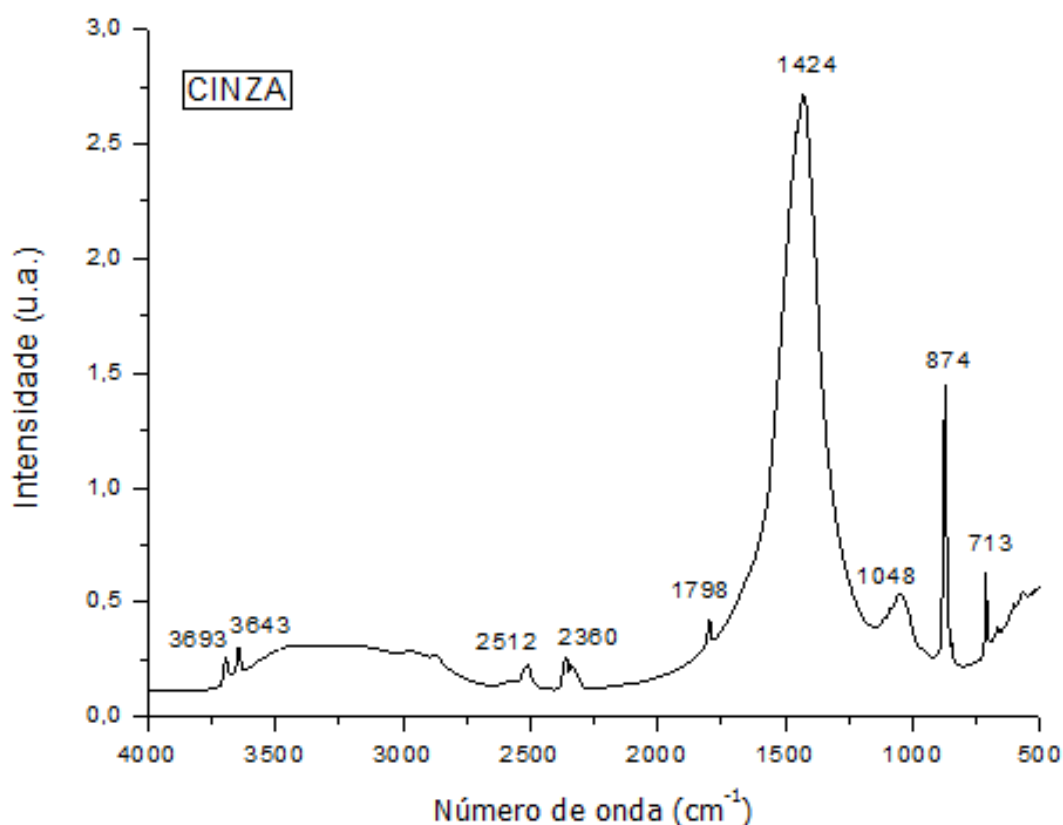


Figura 9 – Espectro de Infravermelho da CME.

Conforme Cerqueira e Teixeira (2009) o aparecimento de uma banda em 713 cm^{-1} indica a presença de calcita, um dos polimorfos do carbonato de cálcio (CERQUEIRA; TEIXEIRA, 2009). Bessler e Rodrigues (2008) destacam a presença da calcita também em 874 e 1424 cm^{-1} , sendo o maior pico referente à simetria E' e ao estiramento antissimétrico (CO) da calcita.

A banda de absorção localizada em 1048 cm^{-1} refere-se, segundo Souto (2009), ao estiramento da ligação SiO_2 , já as bandas situadas nas regiões de 2512 e 2360 cm^{-1} são decorrentes de matéria orgânica. Já na região de 3000 cm^{-1} encontram-se duas absorções, sendo que a banda de absorção em 3693 cm^{-1} é referente a presença de caulinita (LIMA et al, 2011) e a banda em 3643 cm^{-1} , de acordo com Souto (2009), correspondem ao estiramento de OH (SOUTO, 2009).

Nas **Figuras 10 e 11** são apresentados os espectros de FTIR para as pastas de cimento aos 3 e 7 dias de idade.

A partir dos espectros pode se observar que as pastas de cimento analisadas independem da adição de cinza ou idade, pois apresentam os picos nos mesmos comprimentos de onda, com variações somente nas intensidades.

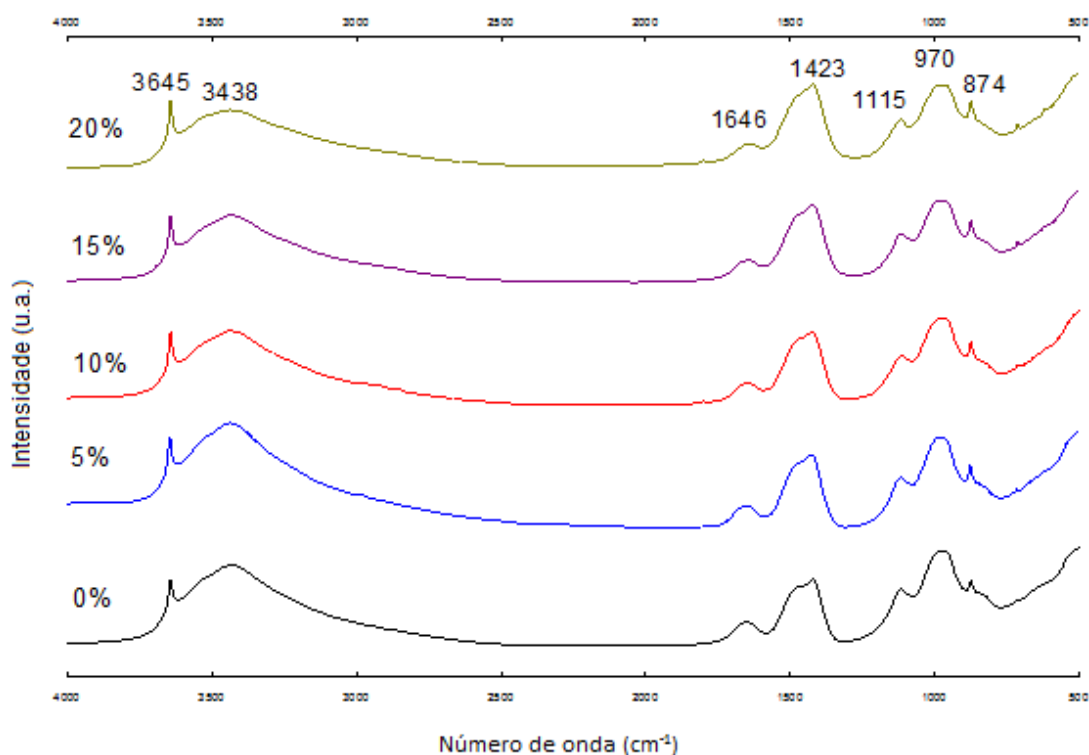


Figura 10 - Espectro de Infravermelho da pasta de cimento de 3 dias

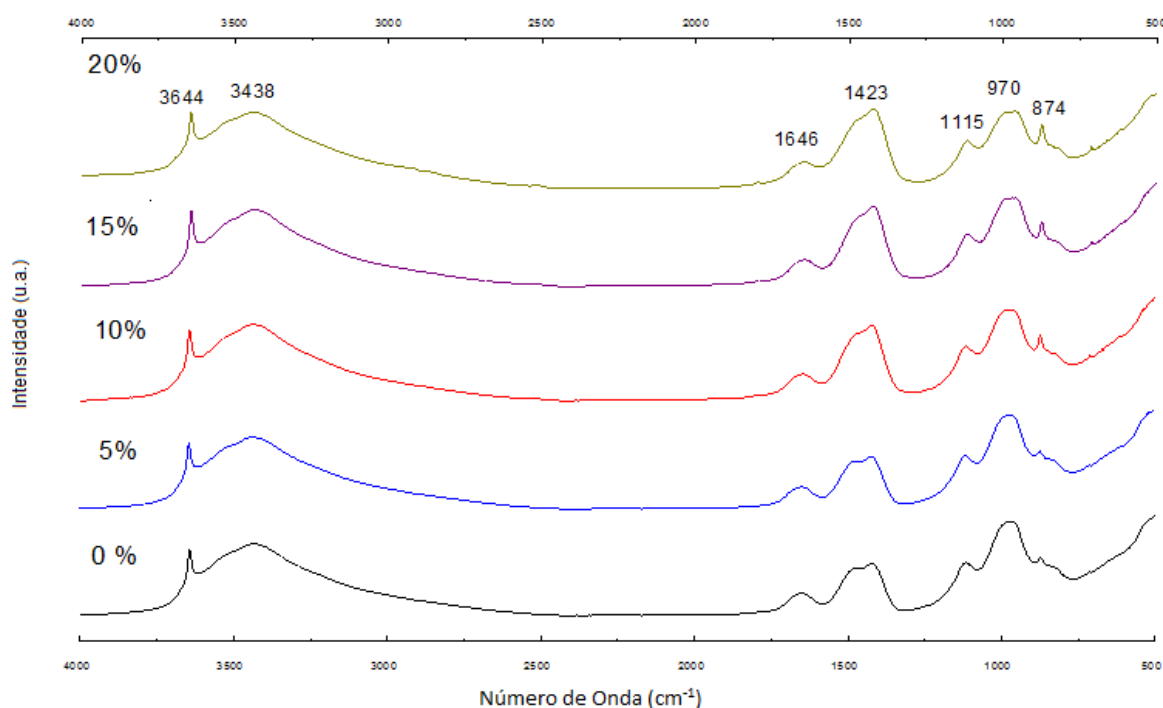


Figura 11 – Espectro de Infravermelho da pasta de cimento de 7 dias.

Nos espectros de infravermelho pode-se verificar a presença de uma banda larga na região de 3400 cm^{-1} e 969 cm^{-1} referente aos silicatos de cálcio hidratados (PRIYANKA; DEBNATH, 2011).

Próximo dessa região, em 3600 cm^{-1} , constata-se a presença de hidróxido de cálcio (portlandita) (PANZERA et al, 2010).

Pode-se verificar se o cimento Portland hidratou, através das bandas referentes à água constituinte e absorvida pelos silicatos e sulfoaluminatos de cálcio (banda larga centrada em 3400 cm^{-1}), e referente à hidroxila (OH^-) constituinte da portlandita (3600 cm^{-1}) (PANZERA et al, 2010).

Segundo Panzera et al (2010), os principais produtos de hidratação do cimento Portland são os silicatos de cálcio hidratados e o hidróxido de cálcio (PANZERA et al, 2010). Sabendo que os silicatos tem um papel importante na determinação das características de endurecimento e, portanto no desenvolvimento da resistência do material, verifica-se que os picos de 3438 e 3644 cm^{-1} diminuem a medida que a adição de cinza aumenta. Fato este que corrobora com os testes de resistência realizados.

Nas regiões de 874 e 1100 cm^{-1} verificam-se atribuições referentes à ligação Si – O (MARTIN et al, 2007; MANIQUE, 2011). Sabendo que a CME apresenta óxido

de silício em sua composição, por intermédio da análise de DRX, observa-se que conforme diminui a adição de cinza, a intensidade dos picos dessa região também diminui, contudo a referência apresenta picos nessa região por ser o óxido de silício um dos principais constituintes do cimento Portland.

5.5. DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

O estudo dos picos apresentados no difratograma de raios X por comparação das análises realizadas por Borlini et al (2005) e Vaske (2012) permitem a identificação dos compostos presentes na CME.

Os resultados da análise de difração de raios X obtidos da CME estão apresentados na **Figura 12**, onde estão destacados os picos encontrados.

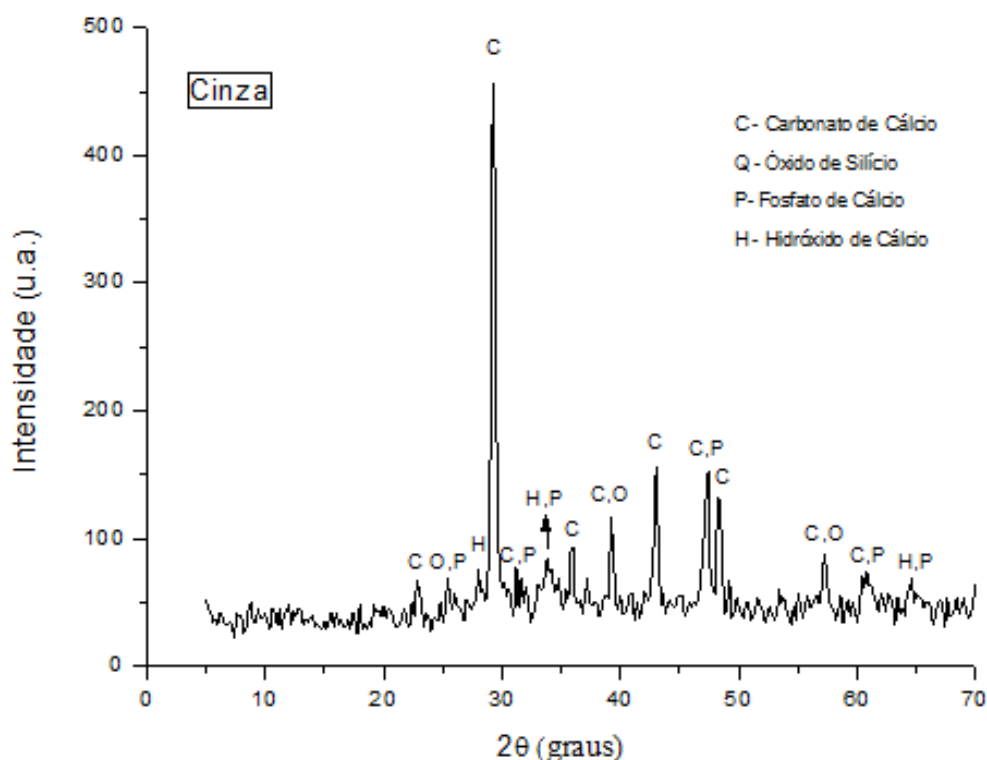


Figura 12 – Difratograma de raios X para a amostra de CME.

Por intermédio do difratograma, pode-se identificar a presença apenas da fase cristalina, caracterizada pela intensa quantidade de picos apresentados, não sendo verificada a presença de fase amorfa, caracterizada por curvas com forma abauladas com ausência de picos.

Analisando assim os picos, observa-se que, a principal fase cristalina presente na cinza de madeira de eucalipto é a do carbonato de cálcio, cujo pico 100% é encontrado na região 2θ de 29° . Detectou-se, também, o carbonato de cálcio nas regiões 2θ de 23, 34, 31, 36, 39, 43; 47, 48, 57 e 61° .

Observa-se também a presença de hidróxido de cálcio nas regiões 2θ de 28, 34 e 60° , fosfato de cálcio nas regiões 2θ de 25, 31, 34, 47, 57 e 61° e óxido de silício nas regiões 2θ de 25, 39 e 57° .

Segundo Borlini et al. (2005) a alta quantidade de carbonato e hidróxido de cálcio está relacionada com a presença de óxido de cálcio. Já o óxido de silício está associado à fase cristalina de quartzo (BORLINI et al, 2005)

Conforme Moura et al. (2012), para que a cinza apresente atividade pozolânica esta deve, necessariamente, estar na fase amorfa. Como a sílica presente na amostra de CME se apresenta na fase cristalina, reduz-se essa possibilidade (MOURA et al., 2012).

5.6. RESISTÊNCIA DOS CORPOS DE PROVA

5.6.1. Resistência à Compressão

As resistências à compressão dos corpos de prova aos 3, 7 e 28 dias, com as devidas adições de CME, estão representadas nos gráficos que seguem. As médias, desvios padrão e coeficientes de variação referentes as resistências encontram-se no **Apêndice A**.

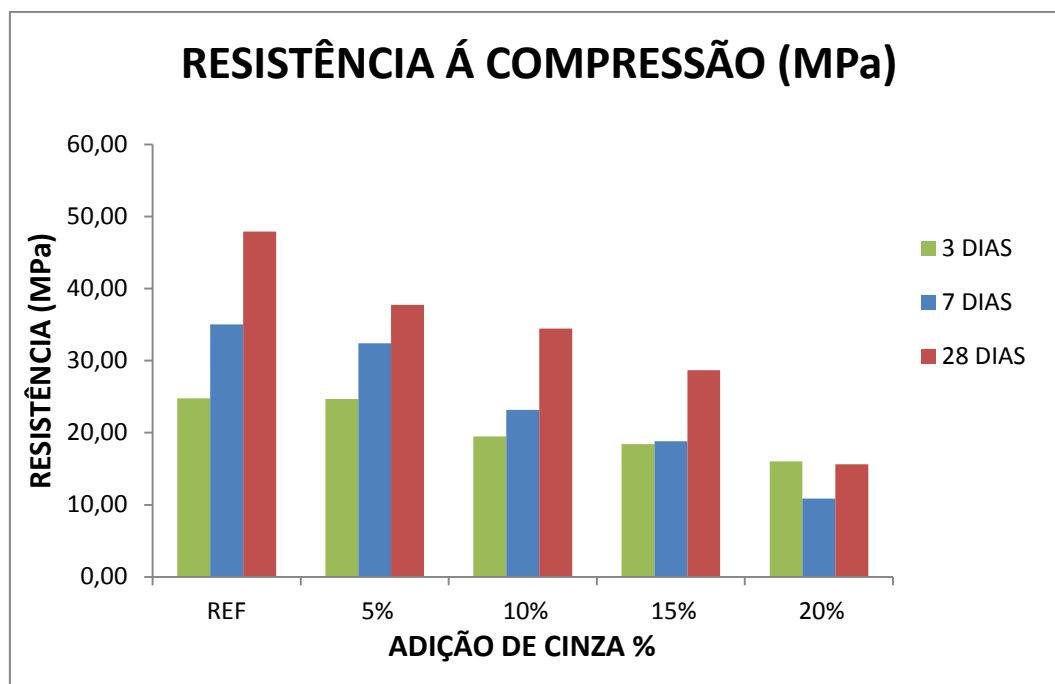


Gráfico 2 – Resistência à compressão dos corpos de prova aos 3, 7 e 28 dias.

Através do **Gráfico 2** pode-se observar que para os corpos de prova com adição de 20% de CME a resistência apresentou-se maior aos 3 dias quando relacionado aos 7 e 28 dias. Já a resistência das demais adições, conforme previsto, aumentaram segundo os dias de cura.

Visto que os silicatos, segundo Mehta e Monteiro (1994), que são responsáveis pelo desenvolvimento da resistência do material, hidratam muito mais lentamente que os aluminatos, ressalta-se que quanto maior o período de cura maior será a resistência adquirida, já que os produtos de hidratação formados gerarão características de pega e endurecimento com o decorrer do tempo (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Por intermédio do **Gráfico 3** pode-se comparar a resistência à compressão com as adições de cinza.

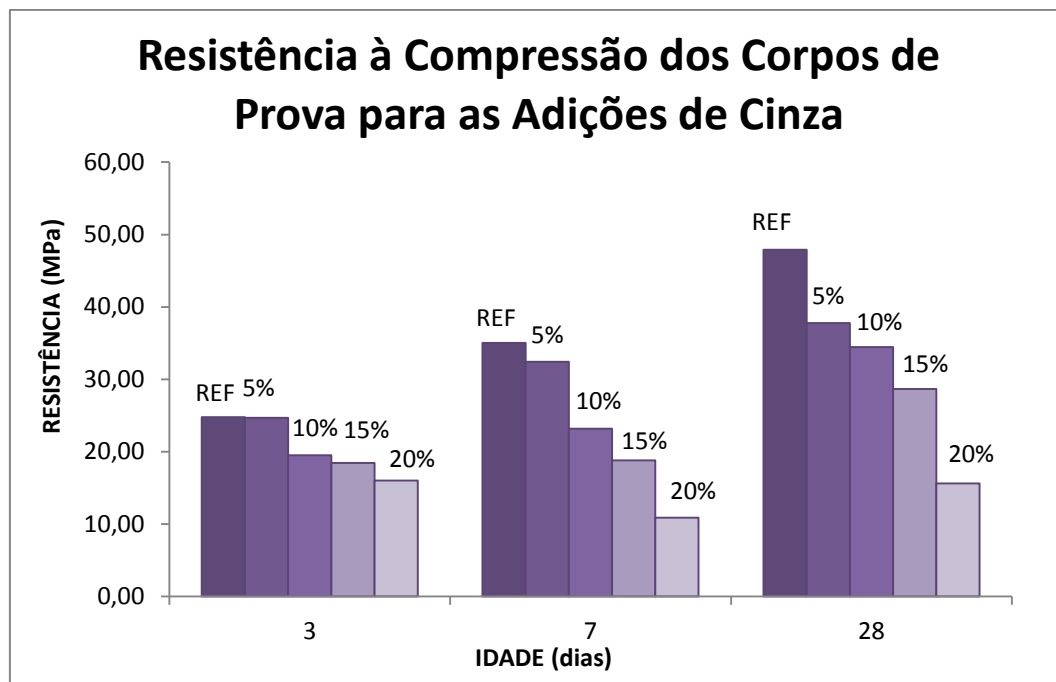


Gráfico 3 – Resistência à compressão dos corpos de prova para as adições de CME.

Nota-se que a resistência à compressão dos corpos de prova decresce à medida que aumenta-se a proporção de cinza no cimento.

Visto que somente o corpo de prova com adição de 5% de CME em 3 dias de cura não apontou perda significativa de resistência à compressão, nenhuma das outras adições ou idades atribuiu resistência aos corpos de prova.

No entanto, para as menores adições de CME em 7 e 28 dias houve um decréscimo significativo de 7,5 e 21,2% respectivamente nas resistências quando em relação a referência.

Percebe-se que as resistências da maior adição de CME (20%) independem dos dias de cura para 7 e 28 dias, uma vez que os dois apresentaram uma queda na resistência de aproximadamente 70% em relação a referência. Já para 3 dias de cura a queda é de 36% menos que a resistência da referência.

5.6.2. Resistência à Tração na Flexão

As resistências à tração na flexão dos corpos de prova aos 3, 7 e 28 dias, com as devidas adições de CME, estão representadas nos gráficos que seguem:

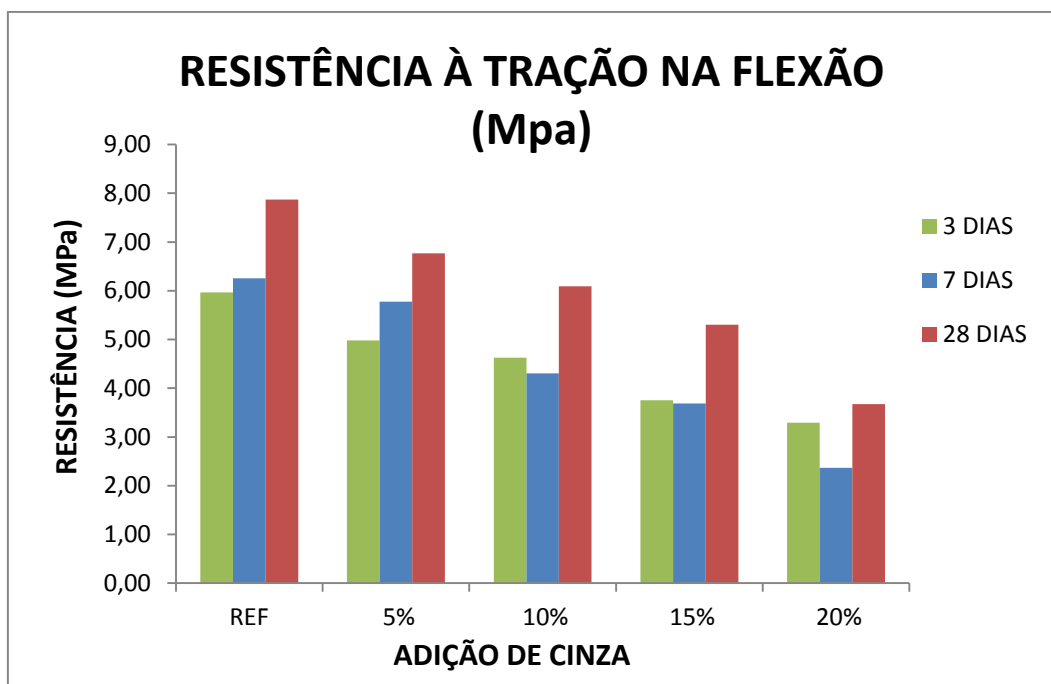


Gráfico 4 – Resistência à tração na flexão dos corpos de provas aos 3, 7 e 28 dias.

Segundo Moliterno (1995) e Fiorito (1994) fatores como granulometria do agregado, compactação da massa, condições de temperatura e umidade e quantidade de água, fazem com que a resistência aos esforços mecânicos da argamassa varie (FIORITO, 1994) (MOLITERNO, 1995).

Uma vez que, a resistência aumenta segundo os dias de cura, fatores como estes podem ter influenciado na determinação à tração na flexão, visto que através do gráfico obtido percebe-se que para as adições de 10, 15 e 20% a tração na flexão dos corpos de prova mostrou-se maior para os 3 dias de cura quando em relação aos 7 dias.

Nota-se que a resistência à tração na flexão da referência aumenta proporcionalmente aos dias de cura, já a adição de 5% de CME possui um aumento constante, cerca de 14%, para cada idade

O **Gráfico 5** possibilita a comparação da resistência à tração na flexão com as adições de cinza.

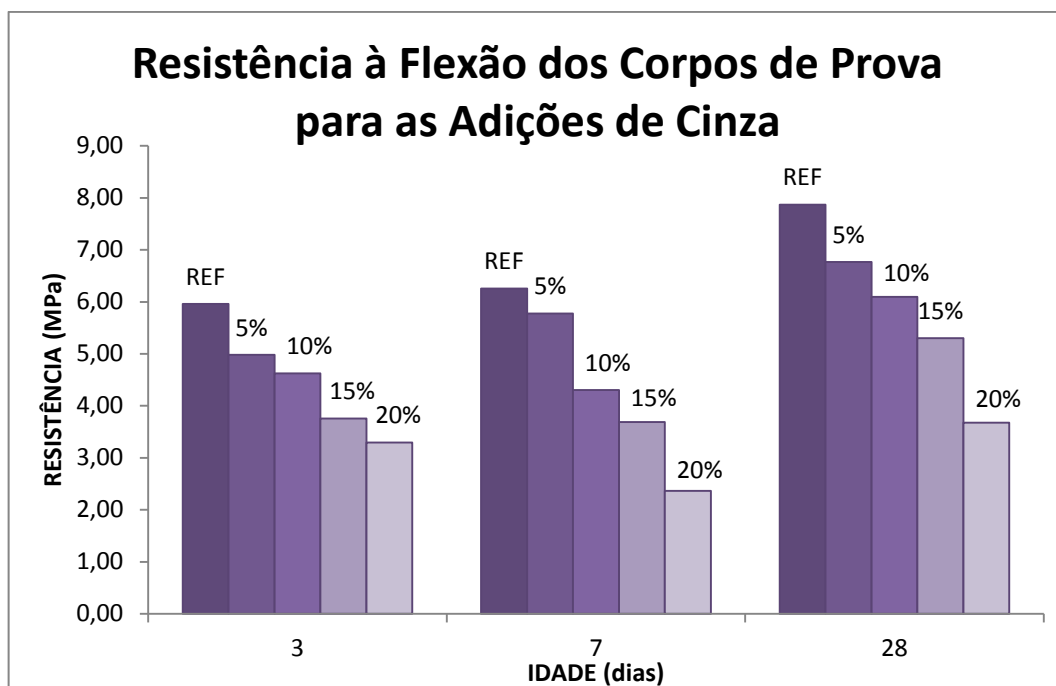


Gráfico 5 - Resistência à tração na flexão dos corpos de prova para as adições de CME.

Percebe-se que, igualmente à resistência à compressão, na resistência à tensão na flexão, nenhuma das adições ou idades atribuiu resistência aos corpos de prova.

Diferentemente ao constatado para a resistência à compressão, a resistência à tensão na flexão não mostrou nenhuma diferença insignificativa na queda de resistência para as adições de CME. Assim, nota-se que a menor separação entre referência e adição de CME se dá aos 7 dias de idade com a adição de 5% de CME, com um decréscimo de 7,8% de resistência à tração na flexão.

Sendo também aos 7 dias de cura onde há a maior diferença de resistências entre referência e adição de 20% de CME, perfazendo 62% de queda.

6. CONCLUSÃO

Por intermédio da realização deste trabalho, pode-se observar que quanto maior a adição de cinza, menor será a quantidade de silicatos de cálcio hidratados e hidróxido de cálcio, que possuem um papel importante no desenvolvimento da resistência do material, nota-se que a resistência à compressão dos corpos de prova decresce à medida que aumenta-se a proporção de cinza no cimento.

Todos os testes corroboram com a queda de resistência apresentada pelos corpos de prova. Essa queda é prevista através do teste de atividade pozolânica para a cinza, que não apresentou potencial pozolânico esperado em função do silicato não apresentar-se em fase amorfa.

Por intermédio das análises e ensaios realizados, conclui-se que a utilização da cinza da madeira de eucalipto na substituição parcial do cimento Portland não é viável, contudo esta pode ser utilizada como adição inerte, já que não sofrerá transformação química por estar em fase cristalina.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico 2013 ano base 2012**. Brasília: ABRAF, 2013. Disponível em: <http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF13/ABRAF13_BR.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2013.

_____. **Por dentro do Eucalipto: Aspectos sociais, ambientais e econômicos do seu cultivo**. Brasília: ABRAF, 2012. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/duvidas/cartilha.asp#11>>. Acesso em: 02 ago. 2013.

AFONSO, Paulo C.; OLIVEIRA, Delly F.; COSTA, Douglas R. Viabilidade Econômica de Produção de Lenha de Eucalipto para Secagem de Produtos Agrícolas. **SciELO**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, jan/abr 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v26n1/30093.pdf>>. Acesso em 20 jul. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Florestas Plantadas**. São Paulo: BRACELPA, 2010. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/?q=node/191>>. Acesso em 02 ago. 2013.

_____. **Relatório Florestal**. São Paulo: BRACELPA, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília: ANEL, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro: 1987.

_____. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: 1994

_____. **NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência a compressão**. Rio de Janeiro: 1996

_____. **NBR 5752: Materiais Pozolânicos – Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland – Índice de atividade pozolânica com cimento**. Rio de Janeiro: 1992

_____. **NBR 12653: Concreto – Materiais Pozolânicos**. Rio de Janeiro: 1992

_____. **NBR 5738: Concreto- Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro: 2003

_____. **NBR NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro: 2001

_____. **NBR NM 25: Materiais Pozolânicos – Determinação do teor de álcalis disponíveis**. Rio de Janeiro: 2002

_____. **NBR 7200: Execução de Revestimentos de Paredes e Tetos de Argamassas Inorgânicas - Procedimento.** Rio de Janeiro: 1998.

_____. **NBR 12653: Materiais pozolânicos.** Rio de Janeiro: 1992 a.

BAUER, Luiz A. F. **Materiais de Construção 1.** Rio de Janeiro: LTC, 1987.

BESSLER, Karl E.; RODRIGUES, Laécio C. Os polimorfos de carbonato de cálcio – uma síntese fácil de aragonita. **SciELO.** São Paulo, v. 31, n 1, dez. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422008000100032> Acesso em: 02 set. 2013.

BORLINI M. C. et al. Cinza da Lenha para Aplicação em Cerâmica Vermelha – Características da Cinza. **SciELO.** São Paulo, v. 51, n. 319, jul./set. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v51n319/26791.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2013.

BRAGA, Benedito et al. **Introdução a Engenharia Ambiental: O Desafio do Desenvolvimento Sustentável.** 2ª ed. São Paulo: Person Prentice Hall, 2005.

CERQUEIRA, Wildson V.; TEIXEIRA, Ana Maria R. F. Avaliação da formação de polimorfos de carbonato de cálcio por termogravimetria e por espectroscopia do Infravermelho. In: Reunião Anual Sociedade Brasileira de Química, 32, 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBQ, 2009. CD-ROM.

CINCOTTO, M. A. **Utilização de Subprodutos e Resíduos na Indústria da Construção Civil.** In: Tecnologia de Edificações. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1988. p.71-74.

FEDERAÇÃO DAS INDUSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Ampliação da Oferta de Energia através da Biomassa.** Set. 2001. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/ampliao-da-oferta-de-energia-atraves-de-biomassa/>> acesso em 22 mar de 2013.

FIORITO, Antônio J. S. I. **Manual de Argamassas e Revestimentos.** São Paulo: Pini, 1994.

FOELKEL, Celso. Resíduos Sólidos Industriais do Processo de Fabricação de Celulose Kraft de Eucalipto: Resíduos Minerais. **Eucalyptus Online Book.** São Paulo, v. 25, n. 5, out. 2011. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT25_ResiduosMinerais.pdf>. Acesso em 29 jul. 2013.

FREIRE, W. P. et al. Desenvolvimento e Caracterização Microestrutural e Mecânica de Cimentos de Ionômeros de Vidro. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos.** Campina Grande, v.8, n. 2, jun. 2013. Disponível em: <<http://www.dema.ufcg.edu.br/revista/index.php/REMAP/article/viewFile/337/296>>. Acesso em: 30 ago. 2013

GALINKIN, Maurício. **Agroenergia da Biomassa Residual: perspectivas energéticas socioeconômicas e ambientais**. Brasília: Techno Politik, 2009.

GALVÃO, Antônio P. M. **Reflorestamento de Propriedades Rurais para fins Produtivos e Ambientais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000.

GIAMMUSSO, Salvador E. **Manual do Concreto**. São Paulo: Pini, 1992.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. Energias renováveis: um futuro sustentável. **Revista USP**, n. 72, São Paulo/SP, 2007. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/13564/15382>> acesso em: 19 mar. 2013.

LIMA, Luis G. Caracterização Geoquímica, Mineralógica, Termogravimétrica, e por Espectrometria de Infravermelho de Argilominerais Representativos da Porção Central da Província Borborema. **Geochimica Brasiliensis**. v. 25, n. 1, 2011. Disponível em: <<http://www.geobrasiliensis.org.br/ojs/index.php/geobrasiliensis/issue/view/48>>. Acesso em: 02 ago. 2013.

LIMA, Sofia A. **Análise da Viabilidade do Uso de Cinzas Agroindustriais em Matrizes Cimentícias**. 2008. 160 f. Tese Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

LUXÁN, M. P.; MADRUGA, F.; SAAVEDRA, J. Rapide evaluation of pozzolanic activity of natural products by conductivity measurement. **Cement and Concrete Research**. Madrid, vol. 19, p. 63 – 68, jan, 1989.

MARTIN C. S. et al. Análise via Espectroscopia no Infravermelho da Sílica proveniente da Pirólise do Bagaço de Cana-de-açúcar. In: Reunião Anual Sociedade Brasileira de Química, 30, 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBQ, 2007. CD-ROM.

MEHTA, Povindar K.; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MEHTA, Povindar K.; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Agroenergia**. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/agroenergia>> Acesso em: 21 de mar de 2013.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Cultura do Milho**. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/milho>> Acesso em: 22 de Jun de 2013.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Mercado Interno**. Disponível em < <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/mercado-interno>> Acesso em: 22 de Jun. de 2013.

MOLITERNO, Antônio. **Caderno de Estruturas em Alvenaria e Concreto Simples**. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 1995.

MOURA, L. S. Caracterização da Atividade Pozolânica das Cinzas de Algaroba Produzidas sob Diferentes Temperaturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 20., 2012, Joinville. **Anais Eletrônicos...** Joinville, 2012. Disponível em: < <http://cbecimat.com.br/trabalhos-completos-cbecimat.php>>. Acesso em: 31 ago. 2013.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. São Paulo: Pini, 1997.

PANZERA, T. H. et al. Propriedades Mecânicas de Materiais Compósitos a Base de Cimento Portland e Resina Epóxi. **SciELO**. São Paulo, v. 56, n. 337, jan./mar. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132010000100013&lang=pt>. Acesso em: 30 ago. 2013.

POGGIALI, Flávia Spitale Jacques. **Desempenho de Microconcretos Fabricados com Cimento Portland com Adições de Cinza de Bagaço de Cana-de-açúcar**. 2010. 149 f. Tese Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia da UFMT, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

PRIYANKA, A. B.; DEBNATH, N. C. Theoretical and Experimental Study of Structures and Properties of Cement Paste: The Nanostructural Aspects of C–S–H. **Science Direct**. Mumbai, v. 72, n. 8, ago. 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022369711001181?np=y>>. Acesso em: 3 set. 2013.

RODRIGUES, Laécio C.; SANTANA, Marcos A. E. Metodologia para Determinação do Teor de Sílica em Materiais Lignocelulósicos via Espectrometria no Ultravioleta – Visível. **Revista Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, nov. 2005. Disponível em: < <http://www.floram.org/articles/view/id/4fede7241ef1faeb5b000004>>. Acesso em: 26 mar. 2013.

SILVA, M.G.; SOUZA, F.L.S. Proposta de utilização de resíduos da indústria de celulose e papel e entulho de obra em componentes de construção. In: VI ENCONTRO DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1995 Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro, 1995. p. 749 - 754.

SOUTO, Flávio A. F. **Avaliação das Características Físicas, Químicas e Mineralógicas da Matéria-Prima Utilizada na Indústria de Cerâmica Vermelha nos municípios de Macapá e Santana-ap**. 2009. 103 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Programa de Pós Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém, 2009. Disponível em: < http://www.iepa.ap.gov.br/arquivopdf/monografia_caracteristicas_fisicas_quimicas_e_mineralogicas.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2013.

VASCONCELOS, Yuri. Cinzas de Valor - Produtos com alto valor agregado utilizam resíduo da queima do bagaço de cana. **Revista Pesquisa FAPESP**, São Paulo, v. 174, n. 1, ago. 2010. Disponível em: <<http://revistapesquisa2.fapesp.br/?art=4208&bd=1&pg=1&lg=>>>. Acesso em 21 mar. 2013.

VASKE, R. N. **Estudo Preliminar da Viabilidade do Aproveitamento da Cinza proveniente de Filtro Multiciclone pela Combustão de Lenha de Eucalipto em Caldeira Fumotubular como Adição ao Concreto**. 2012. 325 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/75712>>. Acesso em: 02 ago. 2013.

APÊNDICE A – Tabelas das Médias, Desvios Padrão e Coeficientes de Variação dos Ensaios de Resistência à Compressão aos 3, 7 e 28 dias, respectivamente.

CORPO DE PROVA	SUBSTITUIÇÃO DE CINZA				
	REFERÊNCIA	5%	10%	15%	20%
CP1	24,96	26,32	18,43	19,25	15,58
CP2	23,6	20,25	18,3	17,74	17,41
CP3	25,75	27,46	21,73	18,3	15,07
MÉDIA	24,77	24,68	19,49	18,43	16,02
DESVIO PADRÃO	1,088	3,876	1,944	0,763	1,230
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	0,044	0,157	0,099	0,041	0,077

CORPO DE PROVA	SUBSTITUIÇÃO DE CINZA				
	REFERÊNCIA	5%	10%	15%	20%
CP1	36,27	31,21	23,85	16,72	11,31
CP2	34,41	33,29	21,79	20,15	10,42
CP3	34,44	32,74	23,89	19,59	10,88
MÉDIA	35,04	32,41	23,18	18,82	10,87
DESVIO PADRÃO	1,065	1,078	1,201	1,840	0,445
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	0,030	0,033	0,052	0,098	0,041

CORPO DE PROVA	SUBSTITUIÇÃO DE CINZA				
	REFERÊNCIA	5%	10%	15%	20%
CP1	50,38	38,43	34,95	28,44	15,19
CP2	47,43	39,49	33,14	30,13	14,39
CP3	45,9	35,33	35,33	27,44	17,22
MÉDIA	47,90	37,75	34,47	28,67	15,60
DESVIO PADRÃO	2,277	2,162	1,170	1,360	1,459
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	0,048	0,057	0,034	0,047	0,094