



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM MEIO AMBIENTE E
DESENVOLVIMENTO REGIONAL**

**CINZA DE FORNO DE OLARIA E CINZA DA PALHA DE BAMBU:
CARACTERIZAÇÃO PARA USO COMO ADIÇÃO MINERAL ATIVA COM
CIMENTO PORTLAND**

LUCAS HENRIQUE PEREIRA SILVA

Presidente Prudente – SP

2019

**CINZA DE FORNO DE OLARIA E CINZA DA PALHA DE BAMBU:
CARACTERIZAÇÃO PARA USO COMO ADIÇÃO MINERAL ATIVA COM
CIMENTO PORTLAND**

LUCAS HENRIQUE PEREIRA SILVA

Dissertação de Mestrado apresentada à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional (MMADRE).
Área de Concentração: Avaliação e Análise de Impacto Ambiental.

Orientador:
Prof. Dr. Danillo Roberto Pereira

Coorientadora:
Profa. Dra. Patrícia Alexandra Antunes

624.189
S586

Silva, Lucas Henrique Pereira.

Cinza de forno de olaria e cinza da palha de bambu: Caracterização para uso como adição mineral com cimento Portland / Lucas Henrique Pereira Silva. – Presidente Prudente, 2019.
59 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional) - Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente Prudente, SP, 2019.

Bibliografia.

Orientador: Danilo Roberto Pereira

Coorientadora: Patrícia Alexandra Antunes

1. Argamassa. 2. Material pozolânico. 3. Caracterização. 4. Resíduo. I. Pereira, Danilo Roberto. II. Antunes, Patrícia Alexandra. III Título.

LUCAS HENRIQUE PEREIRA SILVA

**CINZA DE FORNO DE OLARIA E CINZA DA PALHA DE BAMBU:
CARACTERIZAÇÃO PARA USO COMO ADIÇÃO MINERAL COM CIMENTO
PORTLAND**

Dissertação de Mestrado apresentada à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional (MMADRE).
Área de Concentração: Avaliação e Análise de Impacto Ambiental.

Presidente Prudente, 15 de março de 2019

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Orientador Danillo Roberto Pereira
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste
Presidente Prudente – SP

Prof. Dr. Marcelo Rodrigo Alves
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste
Presidente Prudente – SP

Prof. Dr. Cesar Fabiano Fioriti
Universidade Estadual Paulista – Unesp
Presidente Prudente – SP

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a minha família pelo
apoio prestado e pelo
amor incondicional.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por essa conquista. Agradeço por sempre planejar muito a frente e ter me oferecido as oportunidades certas que me trouxeram a este momento.

À minha família por ter me proporcionado condições de desenvolvimento pessoal e profissional que me conduziram pelo caminho que trilhei. Ao Aloísio Antônio Grandi de Oliveira pelo suporte e motivação em todas as fases difíceis.

Agradeço aos meus orientadores, Prof. Dr. Danillo Roberto Pereira e Profa. Dra. Patrícia Alexandra Antunes, por sua dedicação na orientação deste trabalho.

Aos meus amigos Andryos da Silva Lemes e Fabrícia Mitiko Ikuta que foram os grandes motivadores e responsáveis por me fazerem encarar este desafio. Além de todo apoio, inspiração e referência de profissionais e pesquisadores que são.

A minha amiga e companheira de pesquisa Jacqueline Roberta Tamashiro por estar presente em todos os momentos desta empreitada, dividindo todas as angústias e sucessos alcançados.

As amigas que o IFSP trouxe e que levarei para sempre comigo Nayra Yume Tsutsumoto e Natália Gerlack Guerrer.

Agradeço a todos os técnicos do Laboratório de Engenharia Civil da UNOESTE, Wellington Caldeira, Isac M. da Silva, Adriana T. S. Alecrim e Luiz Eduardo Monzani por sua disponibilidade e constante desejo de ajudar.

Ao prof. Dr. Silvio R. Teixeira e ao Wagner D. Macedo Jr. (LAMAC) pela colaboração, acolhida e, por estarem dispostos a ensinar.

Agradeço aos Professores Dr. Jorge Luís Akasaki e Dr. Mauro Mitsuuchi Tashima por terem sido os primeiros a acreditar que eu era capaz e pelos ensinamentos valiosos transmitidos.

Agradeço a Glenda G. de Souza e ao LabMMEV – FCT/UNESP pela disponibilidade de utilização do Microscópio Eletrônico de Varredura.

Ao Instituto Federal de São Paulo por acreditar que um futuro melhor para nosso país se constrói a partir da educação / capacitação. Nessa base permitiu-me dedicação exclusiva a pesquisa.

A todos que me acompanharam e contribuíram de alguma forma para a realização dos estudos.

À CAPES pelo subsídio à pesquisa.

*“Nunca haverá em nosso planeta suficientes flautas
de prata para dar a todos, mas facilmente haverá
bambu o suficiente para que cada um faça
sua própria flauta e toque”.*

(Farrelly)

RESUMO

Cinza de forno de olaria e cinza da palha de bambu: caracterização para uso como adição mineral com cimento Portland

A exploração de recursos naturais não renováveis e a destinação de resíduos são preocupações ambientais muito presentes em todos os setores da sociedade e da indústria. A fim de mitigar impactos provenientes da produção de cimento a indústria vem incorporando resíduos em quantidades significativas a estes cimentos. Para que estes resíduos sejam utilizados com cimento Portland, no Brasil, devem atender aos requisitos da ABNT NBR 12653 (2015). As olarias estão muito presentes no setor econômico de Presidente Epitácio e a cinza é o principal resíduo sólido gerado. O bambu tem emergido como um excelente material para substituir a madeira, com crescimento rápido e ainda excelente sequestrador de carbono. Assim este trabalho busca caracterizar a cinza de forno de olaria (CFO) e a cinza da palha do bambu (CPB) e verificar se estes materiais apresentam as características necessárias para uso como material pozolânico com cimento Portland. O processo metalúrgico contempla a produção das cinzas que passa pelos processos de queima, peneiramento e moagem. Após este processo é realizado ensaios de caracterização química, granulométrica e mineralógica onde são realizados os ensaios de fluorescência de raios-X, granulometria a laser e difração de raios-x, respectivamente. Por fim a avaliação indireta da pozolanicidade é realizada com a produção de argamassas. Entre as argamassas temos com substituições de 10%, 20% e 30% da massa de cimento por cinza. A CFO não apresentou as características necessárias nos testes de caracterização e levou a grandes déficits de resistência à compressão nas argamassas produzidas. A CPB apresenta as características buscadas nos materiais pozolânicos inclusive levando ao ganho de resistência nos ensaios com maior quantidade de substituição, aos 91 dias, sendo possível a sua utilização como material pozolânico com cimento Portland.

Palavras-chave: Material Pozolânico. Argamassas. Resistência a compressão. Resíduos.

ABSTRACT

Pottery kilns ash and bamboo straw ash: Characterization for use as a mineral addition with Portland cement

The exploitation of non-renewable natural resources and the disposal of residues are environmental concerns very present in all sectors of society and industry. Trying to mitigate impacts from cement production the factories has been incorporating residues in significant quantities into these cements. The use of that residues, in Brazil, are normalized by ABNT NBR 12653. The potteries are very present in the economic sector of Presidente Epitácio and the ash is the main solid residue generated. Bamboo has emerged as an excellent material to replace wood, with rapid growth and still excellent carbon sequestrator. This work aims to characterize the pottery kilns ash (PKA) and bamboo straw ash (BSA) and verify if these materials have the necessary characteristics for use as a pozzolanic material with Portland cement. The methodological process contemplates the production of the ashes that goes through the processes of firing, sieving and grinding. After this process, chemical, granulometric and mineralogical characterization tests are carried out where X-ray fluorescence, laser granulometry and x-ray diffraction tests are performed, respectively. Finally, the indirect evaluation of pozzolanicity is carried out with the production of mortars. Among the mortars we have with substitutions of 10%, 20% and 30% of the mass of cement by ash. The PKA did not present the necessary characteristics in the characterization tests and led to large compressive strength deficits in the mortars produced. The BSA presents the characteristics sought in the pozzolanic materials including leading to the gain of resistance in the tests with greater quantity of substitution, at 91 days, being possible to use it as pozzolánico material with Portland cement.

Keywords: Pozzolanic Material. Mortars. Compressive strength. Residue.

LISTA DE SIGLAS

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials
ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMN - Asociación Mercosur de Normalización
ASTM - American Society for Testing and Materials
CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CPB - Cinza da Palha de Bambu
CFO - Cinza de Forno de Olaria
CP - Corpo de Prova
CP-II-F - Cimento Portland composto com fíler
CP-V ARI - Cimento Portland V Alta Resistência Inicial
DRX - Difração de Raios-X
DSC - Calorimetria Exploratória Diferencial
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
FRX - Fluorescência de Raios-X
IAP – Índice de Atividade Pozolânica
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFSP - Instituto Federal de São Paulo
INBAR - International Network For Bamboo And Rattan
MMADRE - Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional
NBR - Norma Brasileira
NM - Norma Mercosul
PF - Perda ao fogo
PROINTER - Programa de Pesquisa Interdisciplinar
TGA - Análise Termogravimétrica
UGRHI-22 - Unidade Hidrográfica de Gestão dos Recursos Hídricos do Pontal do Paranapanema
UNESP - Universidade Estadual Paulista
UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista
WBCSD - World Business Council For Sustainable Development

LISTA DE SÍMBOLOS

cm	-	Centímetro
°	-	Graus
°C	-	Graus Celsius
MPa	-	Megapascal
m	-	Metro
µm	-	Micrômetro
mm	-	Milímetro
%	-	Porcentagem
kg	-	Quilograma
km	-	Quilômetro
ton	-	Tonelada
W/g	-	Watt por grama

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do processo produtivo da cerâmica vermelha	19
Figura 2 – Fluxograma de realização da pesquisa	24

LISTA DE FIGURAS DO ARTIGO – CARACTERIZAÇÃO DA CINZA DE FORNO DE OLARIA PARA APLICAÇÃO EM CIMENTO POZOLÂNICO

Figura 1 – Distribuição granulométrica a laser da CFO.....	19
Figura 2 – Curva de calorimetria exploratória diferencial e termogravimétrica da CFO	39
Figura 3 – Difratoograma da CFO	19
Figura 4 – Resistência a compressão das argamassas com cimento Portland e diferentes porcentagens de adição	41

LISTA DE FIGURAS DO ARTIGO – AVALIAÇÃO DO POTENCIAL POZOLÂNICO DA CINZA DA FOLHA DE BAMBU

Figura 1 – Distribuição dos tamanhos das partículas da amostra da CFB.....	48
Figura 2 – a) MEV do cimento CP-V-ARI b) MEV da cinza da folha do bambu	48
Figura 3 – Cinza da folha de bambu	19
Figura 4 – Difratoograma de raios X da CFB	19
Figura 5 – Variação da resistência a compressão com o tempo de cura	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exigências Químicas.....	16
Tabela 2 - Exigências Físicas.....	17
Tabela 3 - Espécies prioritárias de bambu de acordo com o INBAR.....	23

LISTA DE TABELAS DO ARTIGO – CARACTERIZAÇÃO DA CINZA DE FORNO DE OLARIA PARA APLICAÇÃO EM CIMENTO POZOLÂNICO

Tabela 1 – Proporção das mistura de argamassas (NBR5751, 2015)	17
Tabela 2 – Proporção da mistura de argamassas (NBR5752, 2014)	17
Tabela 3 – Composição química da CFO, obtida por FRX	23
Tabela 4 – Resistência a compressão de argamassas com cal, conforme ABNT NBR5751, 2015.....	17
Tabela 5 – Resistência a compressão das argamassas, conforme ABNT NBR 5752 (2014).....	17

LISTA DE TABELAS DO ARTIGO – AVALIAÇÃO DO POTENCIAL POZOLÂNICO DA CINZA DA FOLHA DE BAMBU

Tabela I – Composição química da CFB (% peso).....	16
Tabela II – Perda ao fogo da CFB.....	50
Tabela III – Resistência a compressão para argamassas conforme ABNT NBR 5751 (2015).....	50
Tabela IV – Resistência a compressão para argamassas conforme ABNT NBR5752 (2014).....	516

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Materiais Pozolânicos	16
2.2 A indústria da cerâmica vermelha.....	18
2.3 O bambu.....	21
2.4 Técnicas de caracterização das cinzas.....	24
2.4.1 Composição química	25
2.4.2 Granulometria	25
2.4.3 Análises térmicas	25
2.4.4 Termogravimetria (TGA) e Calorimetria exploratória diferencial (DSC).....	26
2.4.5 Perda de Massa em Relação ao fogo.....	26
2.4.6 ABNT NBR 5751 - Materiais pozolânicos - Determinação da atividade pozolânica com cal aos sete dias	26
2.4.7 ABNT NBR 5752 - Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias	27
2.4.8 Análise Mineralógica	28
2.4.9 Análise Morfológica	28
2.4.10 Ensaio de resistência a compressão	28
REFERÊNCIAS	30
3 ARTIGO – Caracterização da Cinza de Forno de Olaria para aplicação em cimento pozolânico	36
4 ARTIGO - Avaliação do Potencial Pozolânico da Cinza da Folha de Bambu	45
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
ANEXO A – INSTRUÇÕES PARA AUTORES	56
ANEXO B – INSTRUÇÕES PARA AUTORES	58

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento econômico ligado ao aumento da produção industrial levou o mundo a explorar, ainda mais, os recursos naturais não renováveis para atender as demandas de produção solicitadas por uma superpopulação vivendo principalmente em áreas urbanas que crescem de maneira desorganizada. Como consequência surgem outras problemáticas atreladas a esta. O maior exemplo é a destinação dos resíduos produzidos em todas as fases de produção, uso e posteriormente no descarte dos produtos que muitas vezes se tornam obsoletos tão precocemente na sociedade contemporânea.

A indústria da construção é apontada por Tamashiro (2018) como sendo um dos ramos da atividade humana que mais utiliza recursos naturais. Parte destes recursos é utilizada para produção de cimento. No ano de 2013 quando a produção nacional de cimento Portland foi de 70,2 milhões de toneladas, 86% do cimento produzido continham adições minerais em diferentes teores (HOPPE FILHO, 2017). Moraes *et al.* (2015) trazem que materiais que inicialmente são classificados como descartáveis podem ser economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis quando utilizados como adições minerais. A avaliação da atividade pozolânica dos materiais de substituição de cimento está se tornando cada vez mais importante devido à necessidade de produtos de cimentação mais sustentáveis (ASHA; SALMAN; KUMAR, 2014). Cociña *et al.* (2016) afirmam que nos últimos anos as pesquisas têm focado no uso de resíduos agrícolas como pozolanas para fabricação de concretos e argamassas o que pode nos aproximar de uma sociedade mais sustentável. John (2000) aponta que nenhuma sociedade poderá atingir o desenvolvimento sustentável sem que a construção civil passe por profundas transformações.

Esta pesquisa nasceu embasada no Programa de Pesquisa Interdisciplinar – PROINTER que tem como objetivo analisar os resíduos e seus impactos uma vez que os resíduos fazem parte da problemática atual e tem desafiado pesquisadores no mundo todo na busca de alternativas mais sustentáveis. Dada a complexidade, integralidade e abrangência das análises envolvendo o meio ambiente e os resíduos ambientais procura-se discutir de maneira interdisciplinar e refletir sobre sustentabilidade e desenvolvimento econômico regional na Unidade Hidrográfica de Gestão dos Recursos Hídricos do Pontal do Paranapanema (UGRHI-22). No sentido

de contribuir com a problemática dos resíduos sólidos e ultrapassar a abordagem disciplinar o trabalho “Cinza de forno de olaria e cinza da palha de bambu: caracterização para uso como adição mineral ativa com cimento Portland” foi concebido.

Desta forma o capítulo 2 traz uma revisão bibliográfica em que na seção 2.1 é abordada a necessidade de pesquisas que envolvam a busca de materiais cimentícios mais sustentáveis. A seção 2.2 foi estruturada de maneira a contextualizar esta pesquisa no cenário atual das investigações de resíduos agroindustriais com potencial pozolânico. Nas seções 2.3 e 2.4 são descritos e apresentados dados que encorajam a investigação da cinza produzida em olarias e da cinza produzida a partir da calcinação da palha de bambu para aplicação em concretos, argamassas e pastas produzidas a partir de cimentos compostos. Na seção 2.5 são detalhadas as técnicas de caracterização e ensaios realizados com as cinzas a fim de testar seu potencial pozolânico. Por fim os capítulos 3 e 4 trazem manuscritos a serem submetidos a revistas científicas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Materiais Pozolânicos

O emprego de pozolanas como material construtivo para a produção de concretos e argamassas não é assunto recente. Os primeiros indícios da sua utilização foram observados em construções Gregas e Romanas, aproximadamente 2000 anos a.C. quando as cinzas vulcânicas da região de Pozzuoli foram utilizadas para reagir com a cal e gerar um material resistente (FIRDOUS; STEPHAN; DJOBO, 2018).

Materiais pozolânicos são compostos silicosos ou silicoaluminosos que por si sós, possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, quando finamente divididos e na presença da água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos com propriedades cimentícias. Estes compostos são semelhantes aos que se formam na hidratação dos cimentos hidráulicos. Pozolanas reativas são compostas essencialmente de SiO_2 e Al_2O_3 . O restante de sua composição é formada por Fe_2O_3 e outros óxidos (HEWLETT, 2008).

A ABNT NBR 12653 (ABNT, 2015b) apresenta a classificação dos materiais pozolânicos em função de suas características químicas e físicas em três classes, Classe C, Classe N e Classe E. A Tabela 1 traz as classes e os requisitos químicos estabelecidos pela referida norma para que um resíduo seja considerado pozolânico.

Tabela 1 - Exigências Químicas

Propriedades	Classes de material pozolânico		
	N	C	E
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, % mín.	70	70	50
SO_3 , % máx.	4	5	5
Teor de umidade, % máx.	3	3	3
Perda ao fogo, % máx.	10	6	6
Alcalis disponíveis em Na_2O , % máx.	1,5	1,5	1,5

Fonte: ABNT (2015b)

Serão enquadradas na classe N tanto as pozolanas naturais quanto as artificiais desde que obedeçam às exigências normativas. As da Classe C são as

cinzas volantes produzidas pela queima do carvão mineral em usinas termoelétricas. Finalmente os de classe E são quaisquer pozolanas que cujos requisitos diferem das classes anteriores (ABNT, 2015b).

A Tabela 2 apresenta as exigências físicas para os materiais serem classificados como pozolânicos de acordo com a classe a que pertencem. Um dos pontos a se destacar é granulometria que deve assemelhar-se a do cimento a fim de trazer um material finamente dividido e com maior capacidade de reação.

Tabela 2 - Exigências Físicas

Propriedades	Classes de material pozolânico		
	N	C	E
Material retido na peneira 45µm, % máx.	20	20	20
Índice de atividade pozolânica			
Com cimento aos 28 dias, em relação ao controle, % mín.	90	90	90
Com o cal aos 7 dias, em MPa	6	6	6

Fonte: ABNT (2015b)

De acordo com Hewlett (2008) e a ABNT NBR 12653 (ABNT, 2015b), entre outras classificações as pozolanas podem ser divididas, quanto sua origem, em naturais ou artificiais. Pozolanas naturais são geralmente substâncias de origem em rochas sedimentares ou vulcânica com química e mineralogia adequadas. A grande desvantagem deste material é que são matérias-primas não renováveis (MORAES, 2015).

Pozolanas artificiais, também chamadas de industriais, são pozolanas tratadas e ativadas termicamente. Estas incluem uma ampla gama de materiais desde as argilas tratadas termicamente até as cinzas provenientes da queima da casca de arroz, cana de açúcar e possivelmente as duas cinzas objetos de estudo desta pesquisa, bem como escórias de várias indústrias de processamento de metais não-ferrosos (DWIVEDI *et al.*, 2006). Em comum com pozolanas naturais, é desejável que estas contenham sílica reativa.

2.2 A indústria da cerâmica vermelha

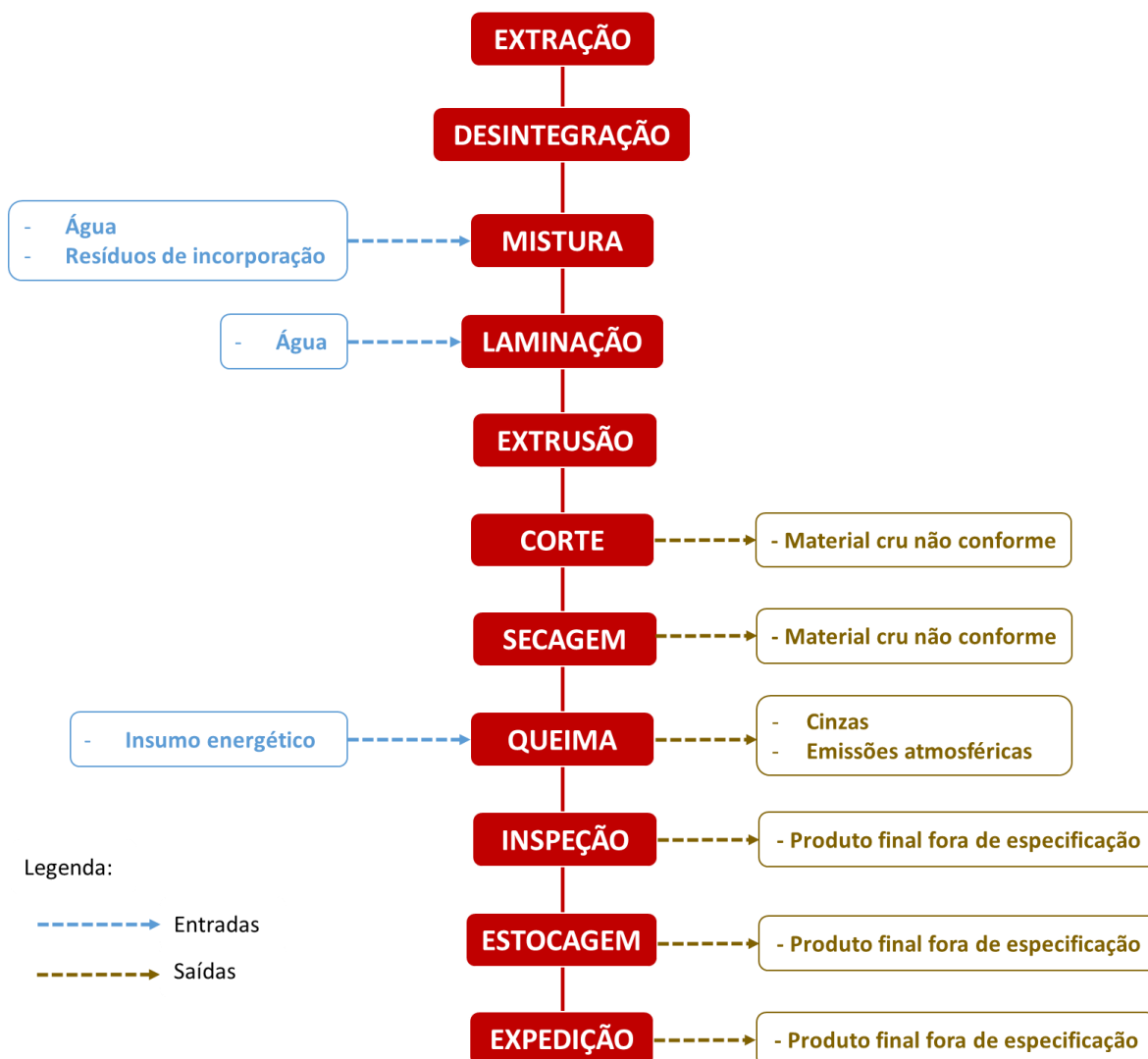
Existem divergências nos dados relativos a produção de cerâmica no Brasil. Estas variações podem ser fruto da diversidade de produtos oriundos destas empresas e do alto grau de informalidade ainda presente na cadeia da construção civil (ABDI, 2016). De acordo com o MME (BRASIL, 2011), no Brasil, em 2010 existiam 7400 cerâmicas e olarias gerando 293 mil empregos diretos cuja produção é concentrada em blocos e tijolos (70%) e telhas (30%).

O consumo e a produção de argila para fins cerâmicos no Brasil são um dos maiores do mundo, ficando atrás apenas da China e da Índia (CABRAL *et al.*, 2012). A produção de cerâmica vermelha está concentrada principalmente nas regiões sudeste e sul. O Estado de São Paulo é o maior produtor, apesar de nos últimos anos ter se observado um aumento considerável da produção na região nordeste (GARCIA *et al.*, 2015). A concentração nesta região pode ser associada a maior densidade demográfica, maior atividade industrial e agropecuária e melhor infraestrutura associado ainda as facilidades de centros de pesquisa, universidades e escolas técnicas.

A comercialização dos produtos da indústria da cerâmica vermelha, em razão do relativo baixo custo do produto, tende a acontecer próximos aos locais de produção. A logística para possibilitar a venda do produto em grandes distâncias encarece o preço final inviabilizando o negócio. Por esse motivo é que, de acordo com a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI (2016), os produtores de tijolos costumam ter raio de atuação de 250 km enquanto os produtores de telhas alcançam no máximo 500 km.

Para a produção dos artefatos cerâmicos a Figura 1 apresenta o fluxograma do processo produtivo ilustrando as entradas e saídas de insumos. Após a conformação (extrusão), corte e secagem das peças é necessário que elas sigam para a queima em fornos que podem basicamente ser divididos em três tipos: Intermitentes, semicontínuos e contínuos (FIEMG, 2013; GALDINO; JUDAS; GILKSANA, 2014; ABDI, 2016).

Figura 1 - Fluxograma do processo produtivo da cerâmica vermelha



Fonte: FIEMG (2013)

De acordo com a ABDI (2016) os fornos intermitentes representam a grande maioria dos fornos utilizados nas cerâmicas e olarias brasileiras (70%). Eles podem ser do tipo abóbada, plataforma, chama reversível – circulares e paulistinha, campanha ou caieira. Estes fornos estão presentes em pequenas empresas com produção até 500 milheiros/mês de tijolos (SCHWOB, 2007). Apresentam como desvantagem o alto consumo de lenha, por terem uma elevada perda térmica, e a dificuldade em homogeneizar a temperatura dentro do forno, podendo ocorrer variações de até 500°C (GALDINO; JUDAS; GILKSANA 2014).

Os fornos semicontínuos estão mais presentes em empresas de médio e grande porte. São eficientes energeticamente e possuem um custo operacional

baixo, porém tem alto custo de construção e por isso representam cerca de 28% dos fornos utilizados por empresas do ramo no Brasil (ABDI, 2016).

Os fornos contínuos apresentam a desvantagem de necessitar de mão de obra qualificada para a operação e elevado custo de construção. Como vantagens apresentam o aquecimento e a queima uniforme, menor consumo de combustível e a maior capacidade de produção. Porém as características deste mercado, com restrito raio de atuação torna este tipo de forno adequado apenas para regiões próximas a grandes centros o que faz com que se torne pouco usado, representando somente 2% (ABDI, 2016).

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2017) em 2016 a indústria cerâmica consumiu 9,00% da produção de lenha nacional. Na realidade brasileira, de predominância de fornos pouco eficientes, muita lenha é queimada e isso não se traduz em produção, mas em perda energética. Sebrae (2008) cita que até 30% da produção é perdida em função do baixo rendimento energético que afeta a qualidade da produção.

Após a queima alguns resíduos são gerados sendo que a maior parte é lançada na atmosfera, na forma de dióxido de carbono (CO_2), óxido de enxofre e óxidos de nitrogênio sem nenhum tipo de tratamento. O CO_2 é o principal causador do efeito estufa que contribui para o aquecimento global e tem causado grande preocupação mundial. Porém não é só resíduo gasoso que é formado, as cinzas produzidas nos fornos também apresentam grande volume e podem causar graves problemas respiratórios, podendo inclusive conter metais (BORLINI, 2005).

A partir dos dados da EPE (2017) e sabendo que 3% da massa da lenha queimada vira cinza podemos calcular que em 2016, no Brasil, a produção de cinza de lenha em fornos de olaria foi maior que 200 mil toneladas. A Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais – FIEMG (2013), alerta para não haver nenhum tipo de especificação quanto a armazenagem deste resíduo podendo ocorrer diretamente sob o solo. Algumas pesquisas com cinza de lenha indicam bom desempenho e potencial deste material em ser incorporado em concretos ou até mesmo na massa para produção de tijolos de solo cimento e cerâmica vermelha (BORLINI, 2005; VASKE, 2012; BORGES *et al.*, 2017; RIBEIRO, 2017).

2.3 O bambu

O bambu é uma planta predominantemente tropical, fibrosa que como o trigo e o milho pertence à família das gramíneas. De acordo com o Bamboo Phylogeny Group (2012), existem aproximadamente 116 gêneros e 1439 espécies de bambu no mundo inteiro, porém se encontram em maior abundância nos trópicos e subtropicais. No Brasil é possível encontrarmos 258 espécies de bambu em que 175 são endêmicas (MENDONÇA, 2018). O bambu é nativo em todos os continentes exceto na Europa. Possui crescimento mais rápido que de qualquer outra planta do planeta necessitando entre 3 e 6 meses para atingir sua altura máxima, de 30 metros, nas espécies denominadas gigantes.

O bambu é muito utilizado em diversos setores a nível mundial tendo uma produção anual estimada em 20 milhões de toneladas em todo o mundo, principalmente na Ásia. Na América Latina, o Brasil tem a maior biodiversidade de bambu e é um dos principais produtores, entretanto sua exploração ainda é pequena quando comparamos com países como Colômbia e Equador que empregam este material na construção civil e em agroindústrias. (GROMBONE-GUARATINI; NASCIMENTO; SANTOS-GONCALVES, 2011; MENDONÇA, 2018).

No Brasil, de acordo com Pereira e Beraldo (2008), industrialmente, o uso do bambu está restrito a produção de celulose. Só a produção de papel consome cerca de 500 mil ton/ano gerando um grande volume de folhas (190 mil ton/ano) com propriedades adequadas para uso em novas aplicações (COCIÑA *et al.*, 2011). Artesanalmente o uso se dá em pequena escala para a produção de móveis, varas-de-pescar e brotos comestíveis. ABDI (2016) cita o bambu como sendo um dos resíduos do agronegócio já utilizados como combustível para produção de cerâmica vermelha.

Manhães (2008) aponta para o bambu como sendo uma alternativa a madeira já que os gigantescos maciços florestais plantados não são suficientes para atender os setores de papel, móveis, construção e energia. Desta forma se evitaria o corte predatório de florestas tropicais colaborando com os movimentos ambientalistas que vem pressionando o mundo pela busca de soluções mais sustentáveis. Tiburtino *et al.* (2016) menciona que após a intensa exploração da madeira nativa brasileira aquelas de boa durabilidade natural se tornaram escassas e na busca por materiais com potencial para substituição o bambu se destaca.

Neste sentido, o bambu é apontado como um recurso de crescimento rápido, podendo ainda ser utilizado em reflorestamentos e também como um protetor e regenerador de matas ciliares (TIBURTINO *et al.*, 2015; CAIRO *et al.*, 2018). Algumas iniciativas de sucesso podem ser elencadas quando tratamos da utilização do bambu enquanto biomassa: Em Coelho Neto (MA), o grupo João Santos possui, a décadas, 16 mil hectares plantados, da espécie *bambusa vulgaris*. Outro exemplo é o grupo Penha que utiliza a biomassa do bambu para alimentar caldeiras e reciclar papel. O grupo possui 3 mil hectares plantados, em Santo Amaro (BA), da mesma espécie que o grupo anterior (GUARNETTI, 2013).

De acordo com Pereira e Beraldo (2008), órgãos internacionais ligados a cultura do bambu recomendam a introdução e a experimentação de 19 espécies da planta, 14 delas já foram introduzidas no Brasil e encontram-se adaptadas as condições climáticas e de solo local.

A Tabela 3, adaptado de International Network For Bamboo And Rattan – INBAR (1994), apresenta outras informações sobre estas espécies.

A cinza utilizada neste trabalho é proveniente da espécie *Bambusa vulgaris*, uma das mais comuns no Brasil (VALE; MOREIRA; MARTINS, 2017). Segundo Guiselini, Silva e Piedade (1999) a referida espécie pode atingir até 15 m de altura, a folha 25 cm de comprimento e 4 cm de largura em média. A espessura da parede é de 1 cm a 1,5 cm, gomos verdes e cilíndricos. Segundo Graça (1988), a característica mais marcante é o seu crescimento, que se dá por meio de entouceiramento (cespitoso). Ela geralmente é encontrada em regiões de clima tropical, sendo uma das 19 espécies, presentes na Tabela 3 e recomendadas pelo INBAR por apresentar propriedades mecânicas que permitem seu emprego na construção civil (PEREIRA; BERALDO, 2008).

Cociña *et al.* (2011) apresentaram um estudo e a caracterização do comportamento pozolânico da cinza do bambu e os resultados mostram uma cinza formada por sílica com uma natureza completamente amorfa e de elevada atividade pozolânica.

Singh, Singh e Rai (2000) também realizaram estudos com relação a hidratação da cinza da cinza de folhas de bambu e concluiu que a mesma é um material pozolânico eficaz. As argamassas produzidas com 20% de substituição do cimento por cinza apresentavam resistência muito próxima das argamassas controle.

Tabela 3 - Espécies prioritárias de bambu de acordo com o INBAR

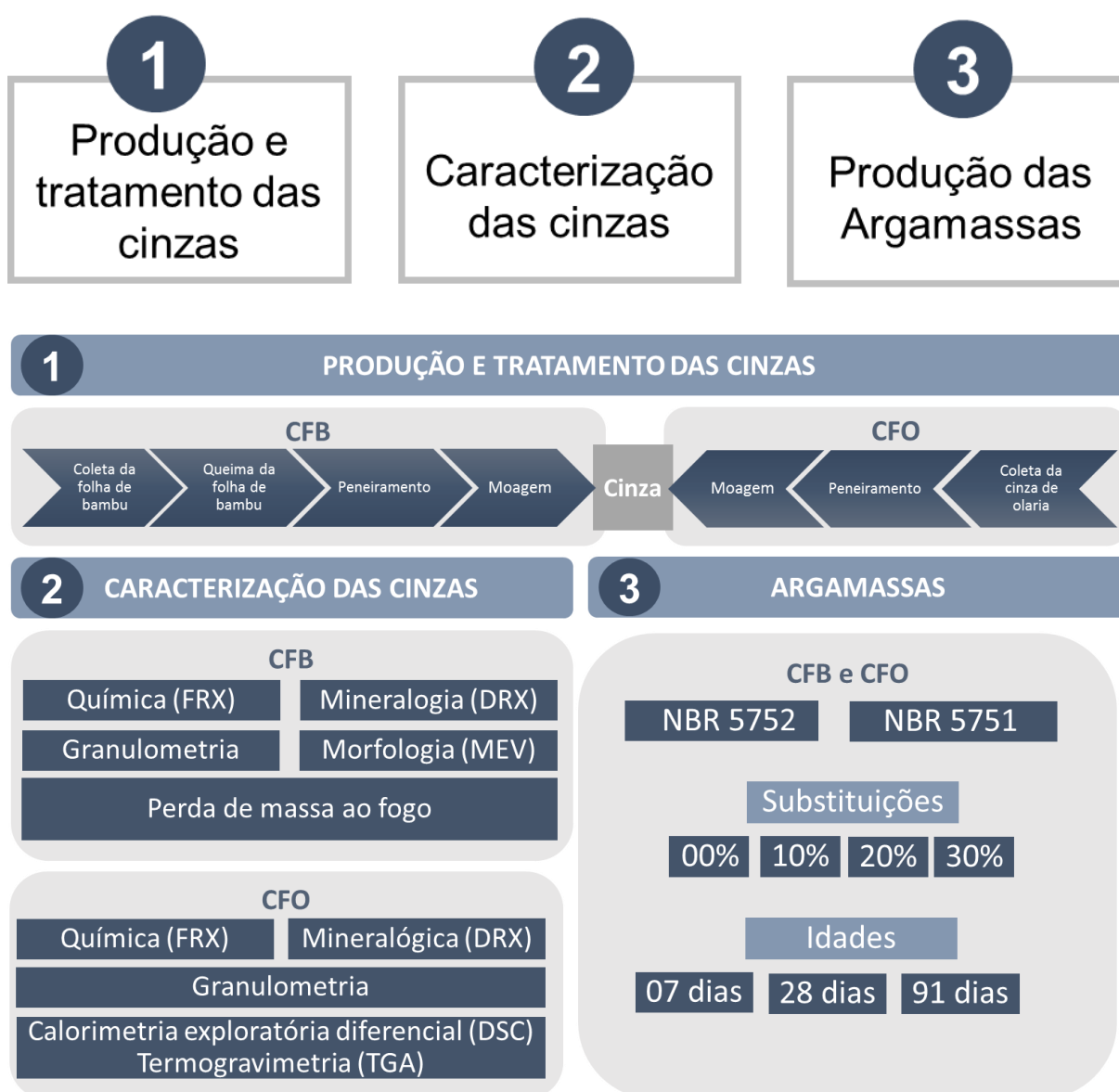
Espécie	Valor		Clima e Ecologia	
	Indústria rural	Potencial para comercialização	Clima	Solo
<i>Bambusa bambos</i>	Alto	Alto	H,D,S	R,M,P
<i>B. blumeana</i> *	Alto	Alto	H,D,S	R,M,P
<i>B. polymorpha</i>	Médio	Baixo	H,D	R,M
<i>B. textilis</i> *	Alto	Médio	ST	R,M
<i>B.tulda</i> *	Alto	Alto	H,D	R,M
<i>B. vulgaris</i> *	Baixo	Alto	H,D,S	R,M,P
<i>Cephalostachyum pergracile</i>	Alto	Médio	H,D	M
<i>Dendrocalamus asper</i> *	Médio	Alto	H,D	R
<i>D. giganteus</i> *	Médio	Médio	H	R
<i>D. latiflorus</i> *	Médio	Médio	H	R
<i>D. strictus</i> *	Médio	Alto	D,S	M,P
<i>Gigantochloa apus</i> *	Alto	Médio	H	R
<i>G. levis</i> *	Alto	Alto	H	R
<i>G. pseudoarundinaria</i>	Médio	Médio	H,D	R
<i>Guadua angustifolia</i> *	Alto	Alto	H	R,M
<i>Melocanna baccifera</i> *	Alto	Médio	H	R
<i>Ochilandra</i>	Médio	Médio	H	R
<i>Phyllostachys pubescens</i> *	Alto	Alto	T	R,M
<i>Thyrsostachys siamensis</i> *	Alto	Alto	D,(H)	W.(R)
Clima e Ecologia:	Clima:	H (Trópicos Úmidos); D (Trópicos Secos); ST (Subtropical); S (Semiárido); T (Temperado);		
	Solos:	R (Rico); M (Médio); P (Pobre);		

Fonte: Adaptado de INBAR (1994)

2.4 Técnicas de caracterização das cinzas

A Figura 2 apresenta a metodologia empregada em todo o processo de produção e caracterização das Cinza de Fornos de Olaria – CFO e Cinza da Palha de Bambu – CPB e análise da resistência a compressão das argamassas produzidas.

Figura 2 – Fluxograma de realização da pesquisa



Fonte: O autor (2019).

2.4.1 Composição química

De acordo com Pereira (2014) a Fluorescência de Raios-X (FRX) é um ensaio quantitativo que possibilita a determinação da composição química. É importante que nesta análise o material apresente quantidades mínimas de SiO_2 ou $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ para que atendam às exigências químicas da ABNT NBR 12563 (ABNT, 2015b), o que também pode indicar potencial para ser um material pozolânico e formar produtos hidratados. As quantidades mínimas e máximas dos compostos presentes na composição química dos materiais são apresentados também na Tabela 1.

Conforme Tashima (2012), a radiação incidente, ou primária, expulsa elétrons de camadas internas do átomo, os elétrons das camadas mais externas, por sua vez, ocupam os lugares vagos nas camadas internas. O excesso de energia dissipado nesse salto quântico é liberado na forma de fótons. Esta energia, também chamada de radiação secundária, é característica de cada átomo permitindo que na FRX se obtenha a composição química do material.

2.4.2 Granulometria

A granulometria por difração a laser funciona a partir da incidência de um feixe de laser que colide e atravessa as partículas da amostra. O feixe interage com as partículas dispersas da amostra e são espalhados. Partículas grandes dispersam a luz em pequenos ângulos em relação ao feixe de laser e partículas pequenas dispersam a luz em ângulos grandes. Na sequência, lentes com placas de detecção captam e processam o sinal e a partir da variação angular determinam o tamanho das partículas (TASHIMA, 2012).

2.4.3 Análises térmicas

De acordo com Lever *et al.* (2014) as análises térmicas são estudos da relação entre uma propriedade da amostra e a sua temperatura que é elevada ou diminuída, de maneira controlada. As análises térmicas têm sido cada vez mais utilizadas para caracterização de materiais dadas as possibilidades de uso em diversos tipos deles (DENARI; CAVALHEIRO, 2012). Existem diferentes técnicas que podem ser aplicadas para caracterizar o comportamento térmico dos materiais,

algumas delas são: - Análise térmica diferencial (DTA), calorimetria exploratória diferencial (DSC), termogravimetria (TGA), análise mecânica dinâmica (DMA), análise térmica dielétrica (DEA), termoluminescência (TL), entre outras.

2.4.4 Termogravimetria (TGA) e Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

Na análise termogravimétrica ocorre um monitoramento da variação de massa da amostra em função do aumento da temperatura. Esta relação é expressa em um gráfico que expressa a massa ensaiada em percentual.

A calorimetria exploratória diferencial é uma técnica que mede a diferença entre as taxas de fluxo de calor na amostra e um material de referência, quantificando a energia envolvida nas reações (LEVER *et al.* 2014).

2.4.5 Perda de Massa em Relação ao fogo

Segundo Netto (2006), em materiais previamente calcinados é recomendado o uso da perda ao fogo por ser tratar de um ensaio mais simples, que necessita de equipamentos menos sofisticados e de fácil realização. A perda ao fogo foi o ensaio realizado para análise térmica da CPB.

O ensaio de perda ao fogo em materiais com função cimentante tem seus procedimentos normatizados pela AMN NM 18 (AMN, 2012). Assim como qualquer material industrializado os materiais pozolânicos devem estar dentro de algumas especificações e no caso da perda ao fogo trata-se de um indicativo do grau de pureza do material testado (ROCHA, 2005). Algumas normas de materiais como a AASHTO M295 (2011) e a ASTM C618 (2017) fixam valores máximos para a perda ao fogo em materiais pozolânicos. No Brasil este valor é fixado pela ABNT NBR 12653 (ABNT, 2015b) e está expresso na Tabela 1.

2.4.6 ABNT NBR 5751 - Materiais pozolânicos - Determinação da atividade pozolânica com cal aos sete dias

A ABNT NBR 5751 (ABNT, 2015a) traz o método de ensaio para determinação da atividade pozolânica através do índice de atividade com cal. Este ensaio é uma medida indireta do grau de atividade pozolânica por meio da determinação da resistência à compressão de corpos-de-prova de argamassas

preparadas com o material em estudo, cal, areia e água. A cura acontece dentro dos moldes, para evitar a perda de umidade e nos 6 últimos dias deve acontecer a 55°C. A pozolanicidade é dada pela média de resistência à compressão, em MPa, de três CP's, sendo que a norma (ABNT, 2015a) exige valores iguais ou superiores a 6 MPa aos 7 dias.

2.4.7 ABNT NBR 5752 - Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias

O índice de atividade pozolânica é calculado pela relação entre as resistências médias à compressão, aos 28 dias, de corpos de prova cilindros de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura moldados com duas argamassas distintas. A primeira traz uma argamassa moldada com traço 1:3 cimento:areia, além de 300g de água. Na segunda argamassa 25% do cimento é substituído pelo material pozolânico investigado e além da quantidade de água, que permanece a mesma pode-se adicionar aditivo superplastificante em quantidade necessária para manter a consistência igual da primeira argamassa.

Após o preparo das argamassas, moldagem, cura e ruptura dos corpos de prova a norma traz diretrizes para o cálculo do índice de desempenho pozolânico que deve ser feito utilizando a equação abaixo com resultado positivo atribuído a valores maiores que 90%.

$$I_{\text{cimento}} = \frac{f_c B}{f_c A} \cdot 100 \quad (1)$$

Em que:

- I é o índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. O resultado, expresso em porcentagem (%);
- $f_c B$ é a resistência média aos 28 dias dos corpos de prova moldados com cimento CP II-F-32 e 25% de material pozolânico, em megapascals (MPa);
- $f_c A$ é a resistência média aos 28 dias dos corpos de prova moldados apenas com cimento CP II-F-32, expressa em megapascals (MPa);

2.4.8 Análise Mineralógica

Para que os resíduos agroindustriais possam ser utilizados como material pozolânico precisam passar por um processo de ativação térmica. A temperatura de queima do material influencia diretamente na pozolanicidade que é, entre outros fatores, maior nos materiais amorfos (COCIÑA *et al.*, 2016).

Segundo Albers *et al.* (2002), dentre as várias técnicas de caracterização mineralógica de materiais, a técnica de difração de raios X é a mais indicada para determinação das fases cristalinas presentes em materiais cerâmicos.

A técnica consiste em medir o feixe de fótons difratados pela amostra, os ângulos de difração estão relacionados com a distância entre os planos dos materiais cristalinos presentes na amostra (MORAES, 2015).

2.4.9 Análise Morfológica

Durante a fase de produção de novos materiais é importante a análise da microestrutura a fim de estabelecer relações entre as propriedades do material e sua morfologia.

A técnica utilizada para caracterização microestrutural buscou respostas na microscopia eletrônica uma vez que, segundo Maliska (1998), na microscopia ótica somente a superfície pode ser observada e apresenta limitações de aumento em torno de 2.000 vezes. No caso do microscópio eletrônico de varredura a área ou o microvolume a ser analisado é irradiado por um fino feixe de elétrons ao invés da radiação da luz e o aumento pode atingir 900.000 vezes.

2.4.10 Ensaio de resistência a compressão

A avaliação da qualidade de concretos e argamassas deve ser realizada tanto no estado fresco quanto endurecido. Uma das propriedades mecânicas mais importantes no estado endurecido é a resistência a compressão, está diretamente ligada a estabilidade das estruturas e o direcionamento do campo de utilização (PACHECO; HELENE, 2013). O ensaio de resistência a compressão é capaz de indicar variações na qualidade do produto gerado, seja em relação a dosagem ou a qualidade dos insumos utilizados. Tutikian e Helene (2011); Helene e Terzian (1992)

afirmam também que a resistência a compressão é o principal parâmetro para dosagem e indicação de alterações nas misturas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. **Estudo técnico setorial da cerâmica vermelha**. Brasília – DF: ABDI, 2016.

ALBERS, A. P. F. *et al.* Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X. **Cerâmica**, [s.l.], n. 48305, p.34-37, 2002.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM M 295: Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. Philadelphia, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 618: Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw Calcined Natural Pozzolan For Use in Concrete. Philadelphia, 2008.

ASHA, P.; SALMAN, A.; KUMAR, R. Arun. Experimental Study on Concrete with Bamboo Leaf Ash. **International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)**, [s.l.], v. 3, n. 6, p.46-51, ago. 2014. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.675.2772&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 02 jul. 2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5751**: Materiais pozolânicos - Determinação da atividade pozolânica com cal aos sete dias. Rio de Janeiro: ABNT, 2015a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5752**: Materiais Pozolânicos – Determinação do Índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS — ABNT. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015b.

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NM 18**: Cimento Portland - Análise química - Determinação de perda ao fogo. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

BAMBOO PHYLOGENY GROUP. An updated tribal and subtribal classification of the Bamboos (Poaceae: Bambusoideae). **The Journal of the American Bamboo Society**, v.24, n.1, p.1-10, 2012.

BORGES, D. *et al.* Uso de cinza de madeira de eucalipto em compostos cimentícios, uma alternativa sustentável. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, v. 5, n. 11, p.89-103, set. 2017. DOI: 10.17271/231786045112017 Disponível em: https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/cidades_verdes/issue/view/149. Acesso em: 09 abr. 2019.

BORLINI, M. C. *et al.* Cinza da lenha para aplicação em cerâmica vermelha. parte I: características da cinza. **Cerâmica**, v. 51, n. 319, p.192-196, set. 2005. DOI: 10.1590/s0366-69132005000300004. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132005000300004&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 09 abr. 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). **Anuário Estatístico: Setor de Transformação de Não metálicos / Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**. Brasília: SGM, 2011.

CABRAL, M. *et al.* A Indústria de Cerâmica Vermelha e o Suprimento Mineral no Brasil: Desafios para o Aprimoramento da Competitividade. **Cerâmica Industrial**, [s.l.], v. 17, n. 1, p.36-42, 2012. DOI: 10.4322/cerind.2014.005. Disponível em: <http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v17n1/v17n1a05.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2019.

CAIRO, P. *et al.* La biomasa de Bambusa vulgaris como alternativa para la recuperación de suelos degradados. **Ctro. Agr.**, Santa Clara, v. 45, n. 3, p. 51-58, set. 2018. Disponível em: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852018000300051&lng=es&nrm=iso. Acesso em: 24 nov. 2018.

COCIÑA, E. V. *et al.* Pozzolanic behavior of bamboo leaf ash: Characterization and determination of the kinetic parameters. **Cement And Concrete Composites**, v. 33, n. 1, p.68-73, jan. 2011. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2010.09.003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946510001332?via%3Dihub>. Acesso em: 09 abr. 2019.

COCIÑA, E. V. *et al.* Pozzolanic Characterization of Cuban Bamboo Leaf Ash: Calcining Temperature and Kinetic Parameters. **Waste And Biomass Valorization**, [s.l.], v. 9, n. 4, p.691-699, 15 out. 2016. Springer Nature. DOI: 10.1007/s12649-016-9741-8. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12649-016-9741-8>. Acesso em: 09 abr. 2019.

DENARI, G. B.; CAVALHEIRO, Eder Tadeu Gomes. **Princípios e Aplicações de Análise Térmica**. Organizado por Gabriela Bueno Denari e Eder Tadeu Gomes Cavalheiro. Material de Apoio Teórico/Prático. São Carlos: IQSC, 2012.

DWIVEDI, V. N. *et al.* A new pozzolanic material for cement industry: Bamboo leaf ash. **International Journal Of Physical Sciences**, v. 1, n. 3, p.106-111, nov. 2006. Disponível em: <http://www.academicjournals.org/IJPS>. Acesso em: 01 dez. 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Brazilian Energy Balance 2018 Year 2017**. Rio de Janeiro: EPE, 2018

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS – FIEMG. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmica vermelha**. Belo Horizonte: FIEMG, 2013. Disponível em: <https://goo.gl/deAxsN>. Acesso em: 18 jan. 2018.

FIRDOUS, R.; STEPHAN, D.; DJOBO, J. N. Y. Natural pozzolan based geopolymers: A review on mechanical, microstructural and durability characteristics. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 190, p.1251-1263, nov. 2018. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.09.191. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818323791?via%3Dihub>. Acesso em: 09 abr. 2019.

GARCIA, E. *et al.* **Avaliação da atividade pozolânica dos resíduos de cerâmica vermelha produzidos nos principais polos ceramistas do Estado de S. Paulo.** *Cerâmica*, v. 61, n. 358, p.251-258, jun. 2015. DOI: 10.1590/0366-69132015613581847. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132015000200251&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 09 abr. 2019.

GALDINO, J. N. JUDAS, T. GILKSANA, A. **Estudo dos Principais Fornos do Setor de Cerâmica Vermelha do Estado do Rio Grande do Norte.** Natal: CTGAS-ER, 2014.

GRAÇA, V. L. **Bambu: técnicas para o cultivo e suas aplicações.** São Paulo: Ícone, 1988.

GROMBONE-GUARATINI, M.T.; NASCIMENTO, A.A.; SANTOS-GONCALVES, A.P. Flowering and fruiting of *Aulonemia aristulata*: a gynomonocious woody bamboo species from Atlantic Forest in Brazil. **Revista Brasil. Bot.**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 135-140, mar. 2011. DOI: 10.1590/S0100-84042011000100012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-84042011000100012&lng=en&nrm=iso&tlng=en . Acesso em: 24 Nov. 2018

GUARNETTI, R. L. **Cogeração de eletricidade utilizando bambu no Brasil: aspectos técnicos, econômicos e ambientais.** 2013. Tese (Doutorado em Energia) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-13062014-133458/publico/GuarnettiCorrigida.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2019.

GUISELINI, C.; SILVA, I. J. O.; PIEDADE, S. M. Avaliação da qualidade do sombreamento arbóreo no meio rural. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p.380-384, 1999.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto.** Brasília: Pini, 1992.

HEWLETT, P. C. **Lea's chemistry of cement and concrete.** 4. ed. London: ELSEVIER, 2008.

HOPPE FILHO, J. *et al.* **Pozzolanic activity of mineral additions to Portland cement (Part I):** Pozzolanic activity index with lime (PAI), X-ray diffraction (XRD), thermogravimetry (TG/DTG) and modified Chapelle. *Matéria*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 3, e11872, 2017. DOI: 10.1590/s1517-707620170003.0206. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762017000300422&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 09 abr. 2019.

INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN - INBAR. **Priority species of bamboo and rattan.** New Delhi, India: INBAR IDRC, 1994.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 113 f. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

LEVER, T. *et al.* ICTAC nomenclature of thermal analysis (IUPAC Recommendations 2014). **Pure And Applied Chemistry**, [s.l.], v. 86, n. 4, p.545-553, abr. 2014. DOI: 10.1515/pac-2012-0609. Disponível em: <https://www.degruyter.com/view/j/pac.2014.86.issue-4/pac-2012-0609/pac-2012-0609.xml>. Acesso em: 09 abr. 2019.

MALISKA, A. M. Relatório técnico: **Microscopia Eletrônica de Varredura e microanálise**. Universidade Federal de Santa Catarina- Departamento de engenharia Mecânica- Laboratório de Materiais- Laboratório de caracterização microestrutural e análise de imagens. 1998. Disponível em: www.materiais.ufsc.br/lcm/web-MEV/MEV_Apostila.pdf. Acesso em: 09 abr. 2019.

MANHÃES, A. P. **Caracterização da cadeia produtiva do bambu no brasil: ABORDAGEM PRELIMINAR**. 2008. 32 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008. Disponível em: <http://www.if.ufrj.br/inst/monografia/2007II/Adriana%20Pellegrini%20Manhaes.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2018.

MENDONÇA, M. F. **Substituição parcial do cimento Portland por cinzas de bambu (Bambusa Vulgaris)**. 2018. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018. Disponível em: <http://ppgec.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2018/marcelly.pdf.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2019.

MORAES, J. C. B. **Utilização da cinza de folha de cana-de-açúcar como material pozolânico em matrizes cimentantes**. 2015. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2015.

MORAES, M. J. B *et al.* Análise da cinza de cana-de-açúcar e da cinza de casca de arroz como adição mineral em argamassas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 56, 2015, Bonito. **Anais** [...]. Bonito: IBRACON, 2015. p. 1-11

NETTO, R. M. **Materiais pozolânicos**. 2006. 147 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

PACHECO, J.; HELENE, P. **Controle da resistência do concreto**. 9. ed. Mérida, México: Alconpat, 2013.

PEREIRA, M. A. R.; BERARDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru: Canal 6, 2008.

PEREIRA, A. M. **Análise da viabilidade da utilização da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como aglomerante para a produção de matrizes**

cimentantes. 2014. 202 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2014.

RIBEIRO, S. V. **Reutilização de resíduo de cinza de madeira na produção de tijolo solo-cimento: Formulação, propriedades e microestrutura**. 2017. 105 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia e Ciências dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2017. Disponível em: <http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/tese-final.compressed.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2019.

ROCHA, G. G. N. **Caracterização microestrutural do metacaulim de alta reatividade**. 2005. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

SCHWOB, M. R. V. **Perspectivas de difusão do gás natural na indústria brasileira de cerâmica vermelha**. 2007. 352 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://antigo.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/mscschwobmrv.pdf> Acesso em: 17 jan. 2018.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – SEBRAE. **Cerâmica Vermelha para Construção**: Telhas, Tijolos e Tubos. Estudos de Mercado Sebrae/ESPM. São Paulo: SEBRAE, 2008.

SINGH, N. B.; SINGH, V. D.; RAI, S. Hydration of bagasse ash-blended portland cement. **Cement And Concrete Research**, [s.l.], v. 30, n. 9, p.1485-1488, set. 2000. DOI: 10.1016/s0008-8846(00)00324-0. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884600003240?via%3Dihub>. Acesso em: 09 abr. 2019.

TAMASHIRO, J. R. **Resíduos de concreto da construção civil: estudo da viabilidade de fabricação de placas pré-moldadas com vinhaça para potencial utilização em habitações populares**. 2018. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional, Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2018.

TASHIMA, M. M. **Producción y caracterización de materiales cementantes a partir del silicoaluminato cálcico vítreo (VCAS)**. 2012. 454 f. Tese (Doutorado) – Universitat Politècnica de València, València, 2012.

TIBURTINO, R. F. *et al.* Resistência de duas espécies de bambu tratadas contra fungos xilófagos. **Revista Árvore**, [s.l.], v. 39, n. 3, p.567-574, jun. 2015. DOI: 10.1590/0100-67622015000300018. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622015000300567&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 09 abr. 2019.

TIBURTINO, R. F. *et al.* Influência do diafragma no tratamento preservativo de duas espécies de bambu por substituição de seiva. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.26, n.3, p.925-938, Set. 2016. DOI: 10.5902/1980509824221. Disponível em:

<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/24221>. Acesso em 24 Nov. 2018.

TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. **Concreto**: ciência e tecnologia: dosagem dos concretos de cimento portland. [s.l.]: IBRACON, 2011.

VALE, A. T.; MOREIRA, A. C. O.; MARTINS, I. S.. Avaliação do Potencial Energético de *Bambusa vulgaris* em Função da Idade. **Floresta e Ambiente**, [s.l.], p.1-9, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/floram/v24/2179-8087-floram-24-e00123314.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2019.

VASKE, N. R. **Estudo Preliminar da Viabilidade do Aproveitamento da Cinza proveniente de Filtro Multiciclone pela Combunção de Lenha de Eucalipto em Caldeira Fumotubular como Adição ao Concreto**. 2012. 325 p. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <https://goo.gl/pstcL5>. Acesso em: 18 jan. 2018.

3 ARTIGO – Caracterização da Cinza de Forno de Olaria para aplicação em cimento pozolânico

Periódico: Matéria (UFRJ)

ISSN: 1517-7076

Qualis Ciências Ambientais: B2

Caracterização da cinza de forno de olaria para aplicação em cimento pozolânico

Characterization of pottery kilns ash for application on pozzolanic cement

Lucas Henrique Pereira Silva ¹, Jacqueline Roberta Tamashiro ²,
Patrícia Alexandra Antunes³, Danillo Roberto Pereira³

¹ Univ do Oeste Paulista, Mestrando em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional, Presidente Prudente – SP.

e-mail: lucashpsilva@ifsp.edu.br

²Univ do Oeste Paulista, Mestra em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional, Presidente Prudente – SP.

e-mail: arquiteta.jtamashiro@hotmail.com

³ Univ do Oeste Paulista, Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional. Campus II, Rodovia Raposo Tavares, Km 572, Bairro Limoeiro, 19067-175, Presidente Prudente – SP, Brasil.

antunes@unoeste.br; danilopereira@unoeste.br

RESUMO

A caracterização de materiais com potencial para substituição do cimento representa um grande avanço no que diz respeito a mitigação de impactos ambientais provocados pela indústria da construção civil. Além disso os materiais pozolânicos podem melhorar as propriedades dos concretos no estado endurecido. Entretanto para que estas propriedades estejam ativas nos materiais eles precisam atender requisitos, no Brasil normatizados pela ABNT NBR 12653 (2015), apresentando características físicas, químicas e mineralógicas específicas. A cinza de forno de olaria é o principal resíduo sólido produzido pelas indústrias produtoras de cerâmica vermelha. A cidade de Presidente Epitácio, no Pontal do Paranapanema, tem estas indústrias como destaque na sua economia por isso este trabalho realizou ensaios de fluorescência e difração de raios-X para caracterização química e mineralógica. Para caracterização física foi feito granulometria a laser e ensaios normatizados pelas ABNT NBR 5751 (2015) e ABNT NBR 5752 (2014). Também foram ensaiadas a compressão argamassas com substituição de 10, 20 e 30% da massa de cimento por cinza, curadas durante 7, 28 e 91 dias. Os resultados dos ensaios realizados mostraram um material que não atende a todas as demandas normatizadas, tendo resultados positivos somente no ensaio granulométrico e naquele normatizado pela ABNT NBR 5752 (2014). Os resultados sugerem a necessidade de novos testes para ativação térmica do material e possibilitar a sua incorporação na produção de cimentos compostos com potencial uso em pastas, argamassas e concretos.

Palavras-chave: Argamassa, resíduos, resistência a compressão, material pozolânico.

ABSTRACT

The characterization of materials with potential for cement replacement its is important mitigation of environmental impacts caused by the construction industry. Pozzolanic materials can improve the properties of concretes in the hardened state. However, in order for these properties to be active in the materials, they must meet the requirements, in Brazil, regulated by ABNT NBR 12653 (2015), presenting specific physical, chemical and mineralogical characteristics. Pottery kiln ash is the main solid residue produced by the industries producing red ceramics. Presidente Epitácio City, in the Pontal do Paranapanema, has these industries as a highlight in its economy. This work maked tests of fluorescence and X-ray diffraction for chemical and mineralogical characterization. For physical characterization, laser granulometry and standardized tests were performed by ABNT NBR 5751 (2015) and ABNT NBR 5752 (2014). Mortars with 10%, 20% and 30% of the mass of cement replaced by ash were also tested for compression, cured for 7, 28 and 91 days. The results of the tests showed a material that does not meet all the normative demands suggesting the need for new tests for thermal activation of the material and to allow its incorporation into the production of composite cements with potential use in pastes, mortars and concretes.

Keywords: Mortars, residue, compressive strength, pozzolanic materials.

1. INTRODUÇÃO

A análise e caracterização de materiais com potencial para substituição, ainda que parcial, do cimento Portland tornou-se uma atividade importante para mitigar impactos ambientais da produção deste material que é consumido em quantidades recorde ano após ano. As pozolanas, como são chamados os materiais com propriedades aglomerantes adequadas, podem ser incorporadas ao cimento Portland durante sua fase de produção originando os Cimentos CP II ou CPIII ou ainda durante as fases de produção das pastas, argamassas e concretos [1].

Os resíduos com propriedades pozolânicas quando incorporados a ligantes hidráulicos são citados para além de uma boa técnica de estabilização e destinação do resíduo, mas também como excelentes na melhora de propriedades dos compósitos. Entre as propriedades comumente melhoradas pelas pozolanas podemos citar a resistência a compressão, durabilidade e a retração [2].

Entretanto as pozolanas apresentam grande complexidade de avaliação de suas características físico-químicas e mineralógicas uma vez que não existe padronização. Por esse motivo Bernal *et al.* [3] ressalta a importância de se realizar estudos de caracterização quando se utiliza um precursor particular. Existem diversas metodologias para avaliação do potencial pozolânico de materiais e no Brasil a ABNT NBR 12653 [4] determina que a avaliação deve ser realizada a partir de dois métodos indiretos de quantificação do poder reativo: Índice de atividade pozolânica (IAP) com cal hidratada [5] e com cimento Portland [6]. Além disso os materiais devem atender à requisitos químicos e físicos impostos.

No processo produtivo da cerâmica vermelha uma grande quantidade de recursos naturais e energéticos é empregada, e resíduos são gerados, incluindo a cinza resultante da queima da lenha para produção da cerâmica. A combustão de lenha no Brasil gera grande quantidade de cinza sem destinação específica. De acordo com Borlini *et al.* [7], a produção de cinza é em torno de 3% da massa da madeira queimada o que resulta em torno de 2,55 milhões de toneladas de cinzas [8]. A indústria da cerâmica vermelha tem um raio de abrangência relativamente baixo [9], estando presente em quase todas as regiões do país e podendo fornecer a cinza residual para empresas produtoras de cimento independentemente da localização de sua implantação.

A cidade de Presidente Epitácio fica localizada na região do Pontal do Paranapanema, no extremo Oeste do Estado de São Paulo, fazendo divisa a Oeste com o Reservatório da Usina Hidrelétrica Engenheiro Sergio Motta e após com o Estado do Mato Grosso do Sul. No perfil econômico setorial destaca-se, entre outras atividades, as olarias. O Plano diretor de desenvolvimento turístico de Presidente Epitácio [10] cita as indústrias cerâmicas presentes no município como sendo um recurso turístico de negócios que contribui para o fluxo de até 5000 pessoas na cidade, por evento. A cidade de Presidente Epitácio passou por uma intensificação dos problemas ambientais, em 1998, causado pela formação do reservatório da usina Hidrelétrica instalada no município de Rosana. Um destes problemas foi a inundação dos depósitos de argila que afetou a indústria local [11].

Sendo a cinza da queima da lenha um dos principais resíduos sólidos gerados pela produção de cerâmicas este artigo tem como objetivo caracterizar este material e observar suas características enquanto material pozolânico.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Cinza de forno de olaria

A cinza de forno de olaria (CFO) foi obtida diretamente em uma Cerâmica localizada na cidade de Presidente Epitácio, SP. A produção da CFO aconteceu em fornos intermitentes, do tipo abóboda. Lenha de eucalipto e casca de pinus foram utilizadas como combustível para gerar calor nos fornos. Termômetros instalados no interior dos fornos marcaram temperaturas que variavam entre 600°C e 800°C. Após a coleta da cinza esta foi peneirada em malha de 1,20mm e a parte passante moída, em moinho de bolas da marca Solab, modelo SL-34/2-DT, composto por esferas cerâmicas, por um período de 40 minutos cada 2 kg de material.

2.2 Caracterização da CFO

A fim de responder se a CFO atende os requisitos físico-químicos determinados pela ABNT NBR 12653 [4] os seguintes ensaios foram realizados: - A composição química foi determinada pelo espectrômetro de fluorescência de raios X Shimadzu, modelo XRF 180. - A distribuição do tamanho das partículas foi analisada no granulômetro a laser modelo LS 100Q da Beckman Coulter. - A análise térmica foi realizada pelas técnicas de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) e Termogravimetria (TG), com razão de aquecimento de 10°C/min até 1200°C sob vazão de ar sintético em cadinho de alumina no equipamento da TA Instruments, modelo SDT

Q600.

Além dos ensaios de caracterização da cinza, necessários para verificação dos requisitos normatizados [4] foi realizada a análise mineralógica da CFO uma vez que é sabido que materiais pozolânicos reativos estão presentes em materiais amorfos. A determinação mineralógica foi realizada com o equipamento XRD-6000, LabX, e a identificação das fases cristalinas foi feita utilizando o software crystallographica search-match®.

2.3 Argamassas – Índice de atividade pozolânica com cal (NBR 5751, 2015)

A Tabela 1 apresenta a proporção de mistura e as relações água/aglomerantes e cal/CFO. As quantidades de hidróxido de sódio e areia são fixadas pela norma [5]. A massa de material pozolânico foi calculada em função da massa específica da cal hidratada e da CFO. A massa específica de ambos materiais foi obtida a partir da realização do ensaio descrito pela AMN NM 23 [12]. Por fim a quantidade de água é variada em função da consistência de $22,5 \pm 0,5$ cm, exigida pela norma.

Tabela 1: Proporção da mistura da argamassa [5].

AREIA	MASSA DOS MATERIAIS (g)			ÁGUA/AGLOMERANTE	CAL/CFO
	CAL	CFO	ÁGUA		
936,00	104,00	205,76	184,76	0,59	0,50

2.4 Argamassas – Índice de atividade pozolânica com cimento Portland (ABNT NBR 5752, 2014)

A ABNT NBR 5752 [6] estabelece o método para determinação do índice de atividade de materiais pozolânicos com cimento Portland aos 28 dias. A Tabela 2 traz as proporções utilizadas nas misturas das duas argamassas necessárias para o cálculo do IAP. A “argamassa A” não apresenta adição enquanto que na “argamassa B” 25% da massa de cimento Portland foi substituído por CFO.

Tabela 2: Proporção das misturas das argamassas [6].

MATERIAL	MASSA (g)	
	ARGAMASSA A	ARGAMASSA B
Cimento CP II-F-32	624,00	468,00
Material pozolânico	-	156
Areia normal	1872,00	1872,00
Água	300,00	300,00
Aditivo superplastificante	-	1,25

2.5 Argamassas – Com substituição de cimento Portland por CFO

Além das argamassas preconizadas pela ABNT NBR 12653 [4] foram produzidas argamassas cuja massa de cimento Portland de alta resistência inicial (CP-V-ARI) fosse substituída em 10%, 20% e 30% por CFO. O cimento CP-V-ARI foi escolhido por apresentar baixo teor de adição, sendo composto basicamente por clínquer e gipsita [13]. As argamassas, com relação aglomerante/areia de 1:2,5 e fator água/cimento de 0,50, foram usadas para moldar corpos de prova cilíndricos (5x10cm). As mesmas proporções foram utilizadas para analisar argamassas com cimentos compostos com cinza do bagaço da cana de açúcar [14, 15]. Os corpos de prova foram curados em câmara úmida e ensaiados a compressão axial em 7, 28 e 91 dias de cura, após o capeamento com enxofre dos corpos de prova, na Máquina Universal EMIC®, Modelo DL3000.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização da CFO

3.1.1 Análise química

A Tabela 3 apresenta o resultado do ensaio de fluorescência de raios X (FRX) onde buscava-se que a CFO tivesse sua composição química predominantemente formada por SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃. [4] fixa em 50% o mínimo para soma destes compostos em um material pozolânico.

Tabela 3: Composição química da CFO, obtida por FRX

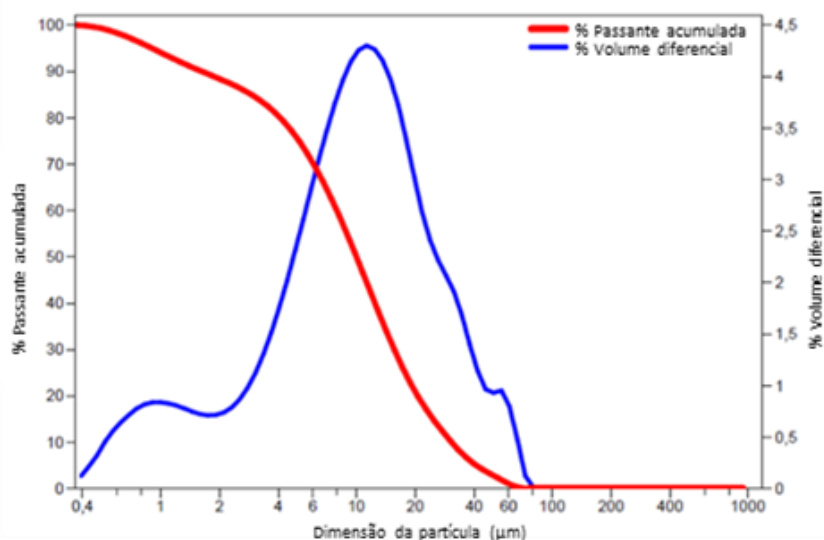
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅	Cl	TiO ₂	MnO	PF
25,13	1,68	1,29	39,35	4,77	2,5	0,00	2,09	0,00	0,29	1,30	21,56

A FRX da CFO trouxe como resultado uma grande quantidade de óxido de cálcio (39,35%), seguido da sílica com 25,13%. Em comparação a exigência normativa – soma de SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ mínima 50% - obtivemos somente de 28,10%. A referida norma prevê ainda a quantidade máxima de SO₃ (4%) e neste sentido a CFO não apresentou nenhuma quantidade do composto.

Borlini *et al.* [7] caracterizando quimicamente cinza de eucalipto também encontraram maior porcentagem de CaO, 32,6%. As cascas de eucalipto são riquíssimas em cálcio, armazenando até 55% de todo cálcio da planta [8].

3.1.2 Análise granulométrica

A Figura 1 apresenta a distribuição granulométrica da CFO. Após passar pelo processo de moagem por 40 minutos era esperado que no máximo 20% da cinza fosse maior que 45 µm.

**Figura 1:** Distribuição granulométrica a laser da CFO

A CFO apresenta tamanho de partículas entre 0,4 e 60 µm e tamanho médio observado de 10,02 µm. Menos de 5% tem tamanho de partículas acima de 45 µm, atendendo a exigência normativa. Borlini [7] também estudou cinza de olaria e na caracterização do seu material de pesquisa observou que a cinza tinha tamanho médio de partículas de 0,15mm. A cinza de eucalipto estudada por Vaske [8], após os devidos tratamentos, tinha tamanho médio de 32,59 µm.

3.1.3 Análise térmica

A Figura 2 mostra as curvas de TG, com linha contínua e DSC, linha tracejada, da CFO.

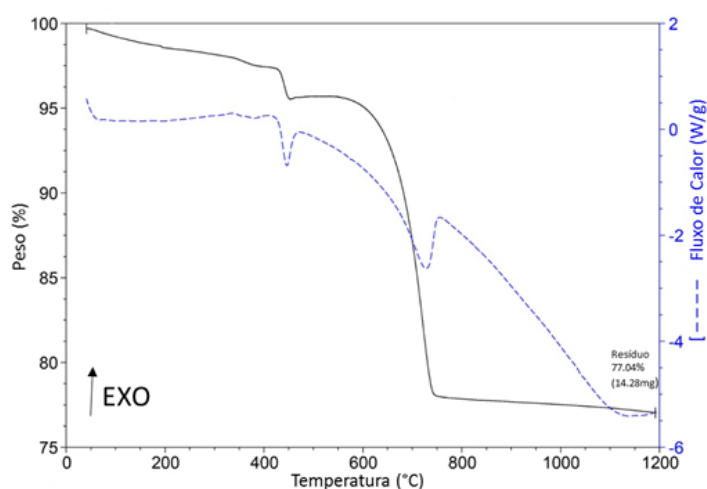


Figura 2: Curva de Calorimetria exploratória diferencial e termogravimétrica da CFO.

Na curva DSC é possível observar dois picos principais, ambos endotérmicos, o primeiro acontece aproximadamente a 450°C e o segundo a 750°C.

A curva TG nos informa as perdas de massa em função da temperatura. Podemos observar duas perdas representativas de massa. A primeira acontece em cerca de 450°C e pode ser atribuída a desidratação do sulfato de magnésio.

Entre 600° e 800°C acontece a segunda queda no peso da amostra, de 17,77%, provavelmente associada a decomposição do carbonato de cálcio [7]. O ensaio completo foi realizado com rampa de aquecimento de 10°C/min. que chegou a 1200°C e totalizou uma perda de massa de 22,96%. Tendo em vista que a perda de massa máxima em relação ao fogo permitida, é de 6 ou 10% [4]– de acordo com a classificação da pozolana – a CFO não atendeu este requisito. O alto valor da perda de massa em relação ao fogo pode ser atribuído ao baixo uso de tecnologia empregado nos fornos intermitentes, do tipo abóboda, cujo controle de temperatura é uma das desvantagens deste tipo de forno.

3.1.4 Análise mineralógica

A Figura 3 apresenta o difratograma de raios X da CFO. No difratograma foi feita a identificação dos picos que indicam a presença de compostos cristalinos como o quartzo, portlandita e a calcita.

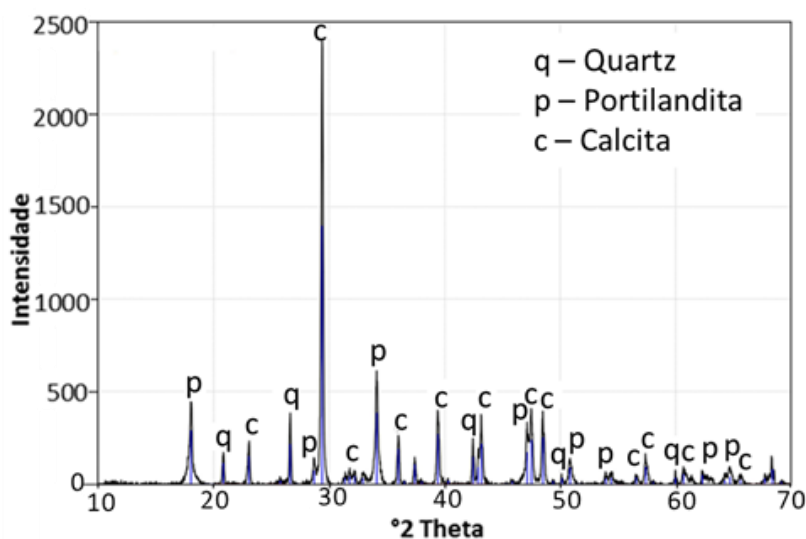


Figura 3: Difratograma da CFO

No difratograma da CFO é possível observar uma grande quantidade de picos atribuídos a materiais cristalinos. Também não é possível identificar o halo que se forma entre 15° e 35°, característico dos materiais amorfos. Cinzas de casca de arroz calcinadas com temperaturas abaixo de 600° têm maior teor de fase não-cristalina [16]. A calcinação de vegetais entre 400 °C e 500 °C resulta na formação de material amorfo, entre 700 °C e 800 °C pode ocorrer a formação de quartzo e outros compostos cristalinos e a partir de 800°C os materiais formados terão característica predominantemente vítrea [17].

Como os termômetros presentes nos fornos da olaria estão localizados dentro do forno pode-se afirmar que a temperatura de produção da cinza tenha sido superior as medidas pelos termômetros (máxima de 800°C) o que explica a intensa presença de picos característicos de materiais cristalinos.

Assim como o difratograma da CFO apresentado na Figura 3, as análises conduzidas por Vaske [8], na cinza da lenha de eucalipto apresentaram intensa quantidade de picos. As grandes quantidades de calcita também foram observadas nas análises conduzidas por ele. Este carbonato de cálcio observado é corroborado pelo resultado da FRX expresso na Tabela 1. Picos de quartzo presente no DRX da cinza de cana-de-açúcar já foram atribuídos a areia aderida a cana na hora da colheita [17, 18], o mesmo pode ter acontecido com a CFO que estava disposta sobre revestimento de piso muito deteriorado e com grande concentração de solo no ambiente fabril.

3.2 Índice de atividade pozolânica com a cal (ABNT NBR 5751, 2015)

A Tabela 4 apresenta os resultados da resistência a compressão das argamassas moldadas com CFO e cal, curadas a 55°C, e rompidas com 7 dias.

Tabela 4: Resistência à compressão de argamassas com cal, conforme ABNT NBR 5751, 2015.

MISTURA		RESISTÊNCIA (MPA)	MÉDIA (MPA)	DESVIO RELATIVO MÁXIMO (%)
CFO	CP1	0,37	0,37	0,33
	CP2	0,37		
	CP3	0,38		

Ao desmoldar os corpos de prova cujo material aglomerante usado foi a CFO pode-se observar que o corpo de prova estava esfarelado, como se a quantidade de aglomerante tivesse sido insuficiente, evidenciando o caráter inerte desta cinza. A argamassa de tão frágil fez com que um dos corpos de prova quebrasse no topo no momento da desforma. Mesmo com a ruptura do corpo de prova a superfície fraturada foi regularizada e o mesmo ensaiado com resultado expresso no CP3 da Tabela 4. A resistência mínima exigida neste ensaio é de 6 MPa e como a CFO não apresentou as características químicas e mineralógicas necessárias ela também não desenvolveu a resistência a compressão necessária quando ensaiada com cal.

3.3 Índice de atividade pozolânica com cimento Portland (ABNT NBR 5752, 2014)

O limite permitido para que a argamassa B, com adição de material pozolânico, fique abaixo da resistência da argamassa A é 10%. A Tabela 5 traz as informações relativas a resistência a compressão e o índice de atividade pozolânica alcançado pela CFO.

Tabela 5: Resistência a compressão das argamassas, conforme ABNT NBR 5752 (2014).

MISTURA	MATERIAL POZOLÂNICO (%)	ADITIVO (%)	RESISTÊNCIA (MPA)	DESVIO RELATIVO	CONSISTÊNCIA (CM)	IAP
Argamassa A	-	-	19,55	2,04	18,00	93%
Argamassa B	25,00	0,20	18,23	3,39	19,00	

O IAP mínimo buscado era de 90%. A argamassa B apresentou resistência suficiente para atingir este índice, no entanto não se deve tomar o resultado isoladamente como conclusivo uma vez que o fracasso em todos os outros testes realizados indica que esta amostra não apresenta reatividade suficiente para incorporação em cimentos como adição mineral.

3.4 Argamassas com substituição de cimento Portland por CFO

A Figura 4 apresenta a resistência a compressão, aos 7, 28 e 91 dias, das argamassas de referência e com 10%, 20% e 30% de substituição da massa de cimento por cinza.

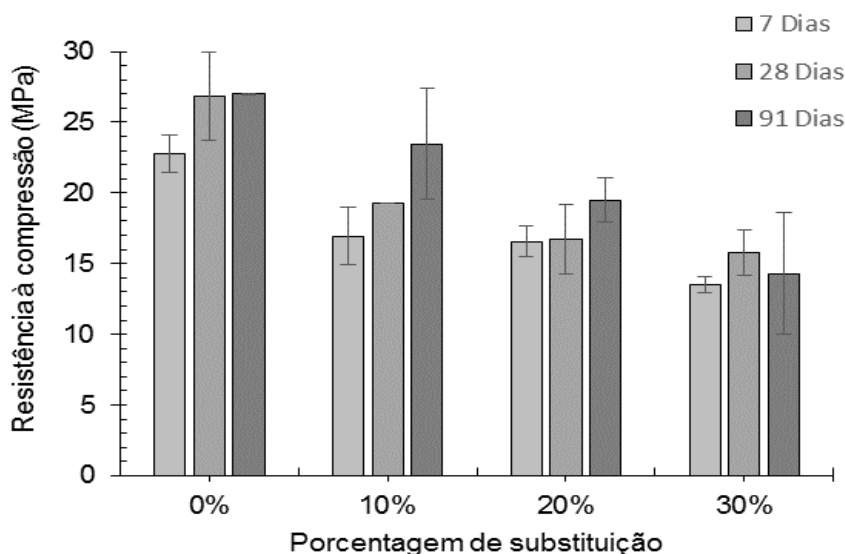


Figura 4: Resistência a compressão das argamassas com cimento Portland e diferentes porcentagens de adição

A partir da Figura 4 é possível observar que as substituições de cimento por CFO levaram ao decréscimo dos valores de resistências de todas as argamassas com substituições. Na menor porcentagem de substituição (10%) a queda da resistência foi de 25,57%. A resistência aos 91 dias, nas argamassas com 30% de substituição foram 47,11% menor que na argamassa de referência. Este resultado comprova as análises de caracterização do material que indicavam que o mesmo não seria indicado para uso como material pozolânico por não apresentar a composição química, mineralógica nem ter atingido a resistência necessária imposta pela norma [5].

4. CONCLUSÕES

Os ensaios de caracterização da CFO mostraram que o material, dentro das condições de queima e preparo, não atende as demandas normativas para uso de resíduos enquanto adição mineral ativa em concretos, argamassas e pastas. O preparo granulométrico da cinza a enquadrar no padrão exigido, entretanto as altas temperaturas de queima da lenha, nos fornos do tipo abóboda, geraram um material vítreo sem reatividade pozolânica. A falta de reatividade pozolânica levou a grandes déficits de resistências a compressão axial das argamassas produzidas com substituições do material. O ensaio de FRX mostrou altos teores de CaO que apontam a possibilidade de pesquisas futuras para caracterização deste material enquanto plastificante, retardador de pega, corretor de acidez do solo ou ainda enquanto agregado miúdo que produza efeito filler.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de subsídios à pesquisa; Ao Programa de Pós Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional (PPGMADRE) da Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE); Ao laboratório de Materiais cerâmicos (LAMAC) da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FCT UNESP) de Presidente Prudente e ao Instituto Federal de São Paulo, campus Presidente Epitácio.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] HOPPE FILHO, Juarez *et al.* Pozzolanic activity of mineral additions to Portland cement (Part I): Pozzolanic activity index with lime (PAI), X-ray diffraction (XRD), thermogravimetry (TG/DTG) and modified Chapelle. *Matéria*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 3, e11872, 2017.
- [2] PAYÁ, Jordi *et al.* Pozzolanic reaction rate of fluid catalytic cracking catalyst residue (FC3R) in cement pastes. *Advances In Cement Research*, [s.l.], v. 25, n. 2, p.112-118, abr. 2013.
- [3] BERNAL, Susan A. *et al.* High-Resolution X-ray Diffraction and Fluorescence Microscopy Characterization of Alkali-Activated Slag-Metakaolin Binders. *Journal Of The American Ceramic Society*, [s.l.], v. 96, n. 6, p.1951-1957, 19 mar. 2013. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jace.12247>.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS — ABNT. *NBR 12653: Materiais pozolânicos — Requisitos*. Rio de Janeiro, 6 p. 2015.

- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 5751: Materiais pozolânicos - Determinação da atividade pozolânica com cal aos sete dias*. Rio de Janeiro, 4 p. 2015.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 5752: Materiais Pozolânicos – Determinação do Índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias*. Rio de Janeiro, 4 p. 2014.
- [7] BORLINI, M. C. *et al.* Cinza da lenha para aplicação em cerâmica vermelha. parte I: características da cinza. *Cerâmica*, [s.l.], v. 51, n. 319, p.192-196, set. 2005.
- [8] VASKE, Nei Ricardo. *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 p. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- [9] Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI. *Estudo técnico setorial da cerâmica vermelha*. Brasília – DF, 2016.
- [10] PRESIDENTE EPITÁCIO. *Plano Diretor de Turismo do Município de Presidente Epitácio*. Presidente Epitácio: Turismo, 250 p., 2018.
- [11] SANTOS, Ricardo dos; LEAL, Antonio Cezar. Análise ambiental da estância turística de Presidente Epitácio – São Paulo – Brasil. *Revista Formação Online*, S.l., v. 2, n. 18, p.3-28, jul. 2011.
- [12] ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. *NM 23: Cimento Portland - Determinação e massa específica*. Rio de Janeiro, 5 p. 2000.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS — ABNT. *NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos*. Rio de Janeiro, 12 p. 2018.
- [14] MORAES, João Cláudio Bassan de. *Utilização da cinza de folha de cana-de-açúcar como material pozolânico em matrizes cimentantes*. 2015. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2015.
- [15] PEREIRA, Adriana Maria. *Análise da viabilidade da utilização da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como aglomerante para a produção de matrizes cimentantes*. 2014. 202 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2014.
- [16] PAYÁ, J. *et al.* Studies on crystalline rice husk ashes and the activation of their pozzolanic properties. *Waste Materials In Construction Wascon 2000 - Proceedings Of The International Conference On The Science And Engineering Of Recycling For Environmental Protection, Harrogate, England 31 May, 1–2 June 2000*, [s.l.], p.493-503, 2000.
- [17] DE PAULA, M. O. *Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland*. 2006. 60f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2006. Disponível em:
- [18] CORDEIRO, Guilherme Chagas *et al.* Ultrafine grinding of sugar cane bagasse ash for application as pozzolanic admixture in concrete. *Cement And Concrete Research*, [s.l.], v. 39, n. 2, p.110-115, fev. 2009.

4 ARTIGO - Avaliação do Potencial Pozolânico da Cinza da Folha de Bambu

Periódico: Cerâmica

ISSN: 1678-4553

Qualis Ciências Ambientais: B1

Cinza da folha de bambu para uso como adição mineral com cimento Portland: Caraterização da cinza

Bamboo Leaf Ash for use as Mineral Addition with Portland Cement: Ash Characterization

Lucas Henrique Pereira Silva^{1*}, Jorge Luis Akasaki²,
Patricia Alexandra Antunes³, Danillo Roberto Pereira³

¹ Univ do Oeste Paulista, Mestrando em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional, Presidente Prudente – SP.

² Univ Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira. Alameda Bahia, 8 550. CEP:15385-000 Ilha Solteira-SP, Brasil

³Univ do Oeste Paulista, Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional. Campus II, Rodovia Raposo Tavares, Km 572, Bairro do Limoeiro, 19067-175, Presidente Prudente, SP, Brasil.

*e-mail: lucashsilva@outlook.com

RESUMO

Para mitigar os impactos e aumentar os lucros a indústria vem incorporando resíduos aos cimentos. A ABNT NBR 12653 (2015) estabelece os requisitos para uso com cimento Portland destes resíduos. Este trabalho produziu e caracterizou a cinza da folha do bambu (CFB) e comparou os resultados as exigências normativas. Foram realizados ensaios de fluorescência e difração de raios-X para caracterização química e mineralógica. Para caracterização física foi feito granulometria a laser e ensaios normatizados pelas ABNT NBR 5751 (2015) e ABNT NBR 5752 (2014). Também foram ensaiadas a compressão argamassas com substituição de 10, 20 e 30% da massa de cimento por cinza, curadas durante 7, 28 e 91 dias. Os ensaios de caracterização mostraram resultados que atendiam as demandas normativas e os compósitos com adição de CFB não apresentaram quedas significativas de resistência sendo potenciais materiais para a fabricação de argamassas e concretos com cimentos compostos.

Palavras-chave: resíduos, materiais pozolânico, argamassa, resistência à compressão

ABSTRACT

To mitigate impacts and increase profits the factories has been incorporating waste into the cements. ABNT NBR 12653 establishes the requirements for use with Portland cement of these residues. This work produced and characterized bamboo leaf ash (BLA) and compared the results to normative requirements. Fluorescence and X-ray diffraction tests were performed for chemical and mineralogical characterization. For physical characterization, laser granulometry and standardized tests were performed by ABNT NBR 5751 (2015) and ABNT NBR 5752 (2014). Compressive strength of mortars with 10%, 20% and 30% of the mass of cement replaced by ash were also tested after the cured 7, 28 and 91 days. The characterization tests showed results that met the normative demands and the composites with addition of BLA did not present significant decreases of resistance. This mateial could be a potential materials for the manufacture of mortars and concretes with compound cements.

Keywords: Residue, pozzolanic materials, mortars, compressive strength.

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil teve um grande aumento em todo o mundo [1]. Neste cenário, o cimento se tornou o material mais produzido e consumido na Terra. Além dos impactos ambientais gerados pela extração de minérios, no processo industrial, durante a fase de clínquerização, são necessárias altas temperaturas fazendo com que este tipo de indústria seja responsável por cerca de 5% das emissões de dióxido de carbono (CO₂) no mundo [2,3].

Há anos a indústria realiza misturas minerais, incorporando aos cimentos resíduos como a sílica ativa, cinza volante e cinza da casca de arroz em quantidades significativas [4] a fim de trazer benefícios para a própria indústria e sociedade. Os benefícios da mistura são: Economia de energia na produção do cimento já que no processo de clínquerização são necessárias temperaturas em torno de 1450°C enquanto que quando se utiliza resíduos a temperatura de queima é em torno de 650°C; - Redução dos custos já que o resíduo inicialmente não tem valor comercial possibilitando tanto o acesso da sociedade a produtos mais baratos quanto maiores lucros a empresa; - Reciclagem do resíduo que ocuparia lugar nos depósitos de lixo ou poderia até ser destinado inadequadamente a aterros sanitários ou lixões que causam a poluição do ambiente [5,6].

No Brasil a emissão de gases poluidores por tonelada de cimento produzida é em torno de 610 kg, abaixo da média de outros países como Espanha (698 kg/ton), Inglaterra (839 kg/ton) e China (848 kg/ton) [7]. Apesar destes países emitirem mais gás carbônico que o Brasil ainda possuem média inferior a mundial, 866 kg/ton de cimento produzido [3]. Estes valores positivos atribuídos ao Brasil se devem as adições minerais. A avaliação da atividade pozolânica dos materiais de substituição de cimento são importantes devido à necessidade de produtos de cimentação mais sustentáveis [8]. Além disso a necessidade de materiais de construção civil a preços mais acessíveis é uma demanda que não pode ser desprezada, principalmente em países em desenvolvimento onde o déficit habitacional é um grande problema social e o custo do material de construção pode chegar a 2/3 do custo da construção [9].

No Brasil, para que os resíduos sejam utilizados como aditivos minerais pozolânicos em concretos, argamassas e pastas, eles devem atender aos requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 12653 [10]. Materiais pozolânicos são materiais compostos majoritariamente por SiO₂ e Al₂O₃ em estado amorfo ou com sua estrutura cristalina fraca. Na presença de água e à temperatura ambiente, estes óxidos reajam com o hidróxido de cálcio formando compostos que possuem propriedades aglomerantes [11]. Além disso, estes materiais devem apresentar boa qualidade e vida prolongada.

O bambu tem emergido como um excelente material para substituir a madeira, a qual está tornando-se escassa em muitas regiões do país. O interesse nesta cultura tem crescido em nível mundial por ser um recurso perene, renovável, de rápido crescimento, grande produtividade por área, baixo custo e diversidade na utilização, além de ser considerado um excelente sequestrador de carbono [12, 13]. O aumento do uso deste material cria possibilidades de novos materiais a partir dos resíduos gerados no seu processo produtivo ou na cadeia industrial onde ele será utilizado.

Buscando minimizar os impactos ambientais provenientes da fabricação e uso do cimento, este trabalho investigou se a cinza proveniente da queima da folha do bambu, após os devidos tratamentos, apresenta as características físicas e químicas necessárias, para produção de cimento pozolânico. A proposta era buscar uma alternativa que leve à redução do uso de recursos naturais não renováveis na produção de cimento e a reutilização do resíduo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Produção e tratamento das cinzas

A produção da cinza a ser avaliada se iniciou pela coleta das folhas de Bambu, da espécie *Bambusa vulgaris*, na Fazenda de Ensino e Pesquisa (FEPE), da UNESP – Campus de Ilha Solteira. Em seguida o material foi seco ao sol e posteriormente realizado o processo de combustão não controlada da folha de bambu. A queima aconteceu por 36 horas, de acordo com o método desenvolvido por Tashima [14].

Para separação da CFB dos demais materiais, inapropriados, a amostra foi peneirada em um conjunto de peneiras sendo utilizado apenas o material passante na peneira mais fina, com aberturas da malha de 2,36mm.

Para atender à exigência de obtenção de um material fino, com maior superfície específica e reatividade, as cinzas foram moídas em moinho de bolas. A CFB foi moída por 50 minutos cada 5 kg, em moinho de 684 esferas metálicas.

Caracterização da CFB

A determinação da composição química da CFB foi realizada utilizando espectrômetro de fluorescência de raios-x Philips Magix Pro, modelo PW 2440. O teor granulométrico foi analisado no granulômetro a laser MasterSizer (2000), da Malvern Instruments. A morfologia microestrutural das partículas foi observado no microscópio eletrônico de varredura da marca Carl Zeiss SMT, modelo EVO LS15, onde foram coletadas imagens em alta

resolução por Elétrons Secundários (SE) após o preparo da amostra com deposição de Ouro no *Sputtering Quorum*, modelo Q150R. Na determinação mineralógica da cinza o equipamento utilizado foi o RX Diffractometer Seifert TT 3003. Para caracterização térmica da CFB foi feita a perda de massa em relação ao fogo, de acordo com a AMN NM 18 [15], em uma mufla aquecida até 950°C.

A fim de responder se estes materiais atendem as exigências para que materiais pozzolânicos possam ser utilizados em pastas, argamassas e concretos [10] outros dois ensaios físicos foram realizados a fim de medir a resistência a compressão de corpos de prova (5x10cm). No primeiro ensaio, normatizado pela ABNT NBR 5751 [16], foi produzido argamassa com cal, areia e cinza, nas proporções descritas pela norma, e curados em banho térmico a 55°C por 7 dias. O segundo ensaio necessário, é descrito pela ABNT NBR 5752 [17], onde são moldados corpos de referência (sem material pozzolânico) e outros compostos de cimento CP-II-F 32, cinza, areia e superplastificante quando necessário. Ambos foram rompidos com 28 dias de cura o que possibilita o cálculo do índice de desempenho do material pozzolânico.

Argamassas com substituição

Além dos ensaios de requisitos prescritos na norma foram moldados, para cada idade, 5 corpos de prova cilíndricos de 5 cm de diâmetro por 10 cm de altura, proporção de aglomerante/areia de 1:2,5 e realizadas misturas com substituição de 10%, 20% e 30% da massa de cimento por cinza, além do traço controle onde só foi utilizado o cimento CP-V ARI. As mesmas proporções foram utilizadas por outros pesquisadores [18, 19]. A mistura dos materiais foi realizada em misturador mecânico e mantido a consistência normal das argamassas. Os corpos de prova foram mantidos em câmara úmida a temperatura de 25°C e umidade maior que 95% até as idades de ruptura (7, 28 e 91 dias). O ensaio de resistência a compressão foi realizado, após o capeamento com enxofre dos corpos de prova, utilizando uma Máquina Universal EMIC®, modelo DL30000®.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise química

A Tabela I mostra a composição química, obtida por fluorescência de raios-x da CFB após os devidos tratamentos e já pronta para o uso em substituição parcial ao cimento Portland.

Tabela I - Composição química da CFB (% peso).

[Table I – Chemical composition of BLA (% wt. %).]

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅	Cl	TiO ₂	MnO	PF
83,56	2,56	2,63	3,71	1,64	2,38	0,95	1,15	0,44	0,52	0,17	0,19

Os principais óxidos presentes na CFB são a sílica (SiO₂) com 83,56%, óxido de cálcio (CaO) com 3,71%, óxido férrico (Fe₂O₃) com 2,63% e o óxido de alumínio (Al₂O₃) com 2,56%, todos os demais compostos estavam presentes em quantidades inferiores a 2%. As cinzas de bambu caracterizadas por outros autores apresentaram valores muito próximos de SiO₂ e CaO e a soma dos dois representam mais 85% do total da cinza [5, 20, 21]. É possível que diferenças encontradas na composição química de cinzas sejam resultados de cinzas geradas com bambus de diferentes espécies, idades, solo e clima [5]. A soma de SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ atende a exigência normativa uma vez que o valor desta é de 88,75% da massa da CFB, e bastante superior aos 70% ou 50% mínimo exigido pela norma de acordo com a classe a que a pozzolana estiver inserida [10]. Com relação a quantidade máxima de trióxido de enxofre (SO₃), o ensaio de FRX na CFB indicou 0,95%, um valor bem abaixo do máximo permitido.

Análise granulométrica

A curva granulométrica da CFB, moída por 50 minutos é apresentada na Figura 1. Após analisar o resultado do ensaio granulométrico a laser de cinzas de cana de açúcar moídas entre 5 e 50 minutos foi possível concluir que quanto maior o tempo de moagem menor a granulometria [19].

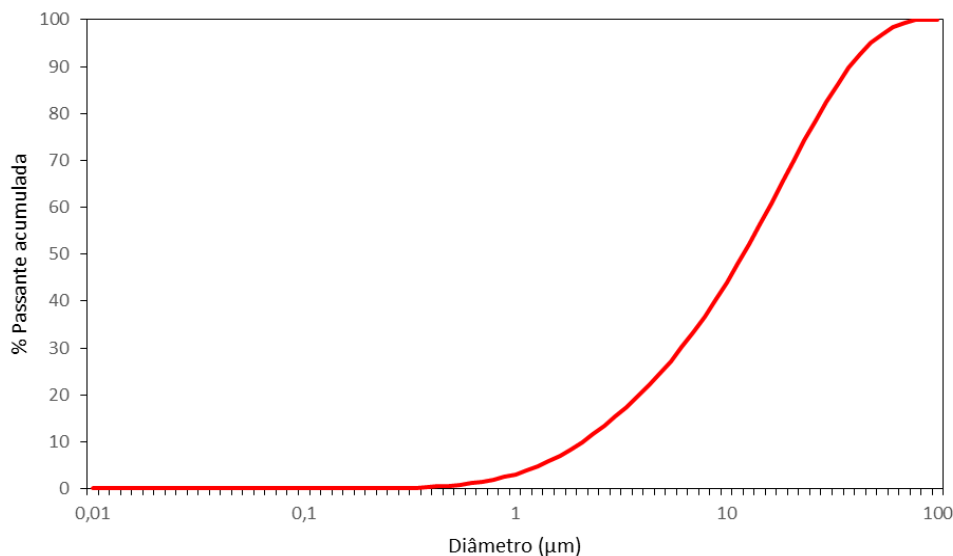


Figura 1 – Distribuição dos tamanhos das partículas da amostra da CFB
[Figure 1 – Particle size distributions for BLA ash samples]

Na Figura 1 temos a distribuição granulométrica de toda a amostra ensaiada. A CFB apresenta tamanho de partículas entre 0,4 e 94,57 µm. O tamanho médio observado na CFB foi de 1,13 µm.

As cinzas, prontas para o uso, devem apresentar tamanho de partículas tal que quando ensaiadas uma quantidade inferior a 20% fique retida na peneira de 45 µm [10]. A cinza estudada neste trabalho atende a este requisito e menos de 5% fica presa na peneira de malha 45 µm.

Podemos observar ainda que a curva granulométrica encontrada é contínua. Em um paralelo entre a granulometria do aglomerante e dos agregados podemos relacionar as curvas granulométricas contínuas a materiais que podem preencher e densificar mais efetivamente as misturas [22].

Análise morfológica

A cinza pronta para uso, após processada, foi submetida a microscopia eletrônica de varredura afim de se analisar sua microestrutura. As Figuras 2a e 2b fazem uma comparação entre a CFB, produzida em ambiente laboratorial, e o cimento Portland CP-V ARI, produzido industrialmente e utilizado para produção das argamassas que tiveram suas massas substituídas por cinza dos resíduos.

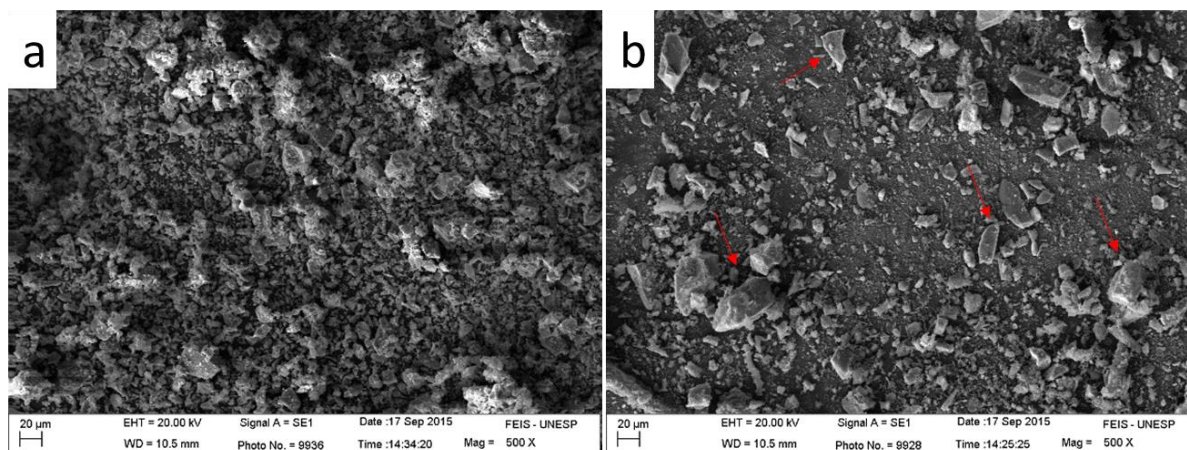


Figura 2 – a) MEV do cimento CP-V-ARI b) MEV da cinza da folha do bambu
Figure 2 – a) SEM picture of CP-V-ARI cement b) SEM picture of Bamboo leaf ash

Setas vermelhas são usadas para indicar diferentes tipos de partículas que evidenciam a heterogeneidade microestrutural da CFB, principalmente quando comparada ao cimento. No cimento (Figura 2a) podemos observar uma regularidade esférica de suas partículas enquanto que as cinzas se apresentam de maneira irregular e predominantemente angular (Figura 2b). O formato esférico das microestruturas é descrito como uma vantagem para o ganho de plasticidade [23]. A perda de plasticidade costuma ser uma das desvantagens das pozolanas produzidas a partir de resíduos agroindustriais que exigem o uso de aditivos superplastificantes para que a consistência desejada seja alcançada.

A CFB foi moída por 50 minutos, entretanto alguns pesquisadores realizam a moagem por tempos muito maiores uma vez que quando se aumenta o tempo de moagem a pozolanicidade também aumenta. Ótimos tempos de moagem foram encontrados entre 6 e 8 horas [22].

Análise mineralógica

A caracterização mineralógica não é uma necessidade imposta pela norma, porém os materiais pozolânicos em estado cristalino apresentam baixa reatividade. Os materiais amorfos indicam maior potencial pozolânico.

Existe uma relação entre a cor da cinza e a mineralogia. Altas temperaturas diminuem a quantidade de carbono o que ocasiona cinzas de coloração mais claras e cristalinas [14].



Figura 3 – Cinza da folha de bambu
Figure 3 – Bamboo leaf ash

A Figura 3 apresenta a cinza da folha de bambu caracterizada e utilizada para confecção das argamassas ensaiadas nesta pesquisa. A cinza apresenta coloração bem escura o que indica que seja um material amorfo.

Nos resultados do DRX os materiais amorfos são identificados pela formação de um halo, com desvio da linha base (conformação abaulada). Já os materiais cristalinos se caracterizam por apresentar uma intensa quantidade de picos. A difração de raios X foi realizado na CFB e a Figura 4 apresenta o resultado.

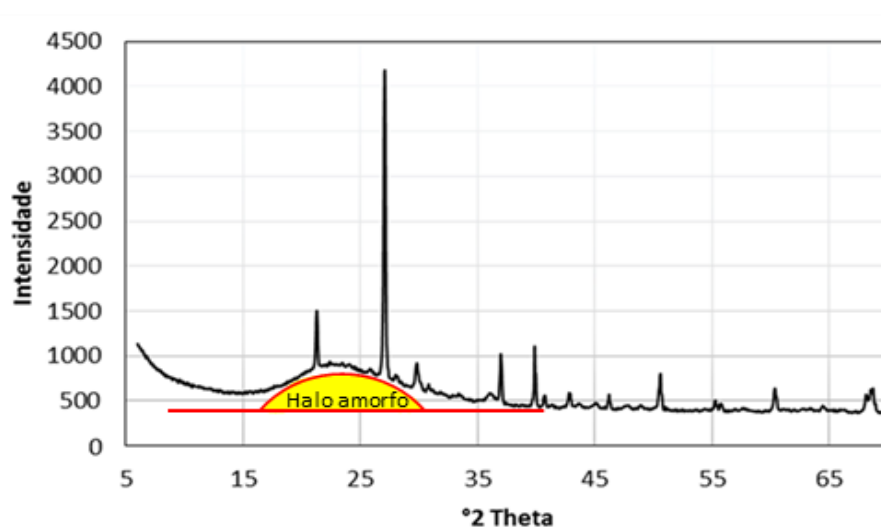


Figura 4 – Difratoograma de raios X da CFB
[Figure 4 – X-ray diffraction patterns of the ash of BLA]

Analisando o difratograma resultado da mineralogia da CFB é possível identificar claramente a formação de um halo entre 15° e 35°, esta característica é comum nos materiais que apresentam pozolâna reativa. Cinzas da folha de bambu produzidas a 500 °C e 600 °C apresentam reatividade significativamente maior que cinzas calcinadas a 700 °C [24]. Nas cinzas de bagaço da cana-de-açúcar queimado a temperaturas de 800°C foi possível observar a formação de compostos cristalinos que ocasionavam a queda do índice de atividade pozolânica [25]. Ao se calcinar este mesmo material a temperaturas de 1000°C, fases ligadas ao quartzo eram identificadas enquanto que cinzas produzidas a 800°C não apresentavam o quartzo [26].

Análise térmica

O ensaio de perda ao fogo foi realizado para a adotando os procedimentos elencados para o método n° 1 [15], destinados a todos os tipos de cimento, exceto aqueles que contenham adições de escória granulada de alto-forno. Os resultados obtidos pelo procedimento são apresentados na Tabela II.

Tabela II – Perda ao fogo da CFB

[Table II – Loss on ignition of CFB]

Amostra	M_{inicial} (g)	M_{final} (g)	Perda (%)
1	1,11	1,01	9,00
2	1,07	0,97	9,34
Média			9,17

A exigência química para perda ao fogo é que seja no máximo 10% para materiais enquadrados na Classe N [10]. Com média de 9,17% o material atende este quesito das exigências normativas. Em processos industriais de coleta, queima e preparo deste material talvez seja possível obter valores ainda menores de perda ao fogo uma vez que menores níveis de contaminação sejam proporcionados pela tecnologia empregada no processo produtivo.

Determinação da atividade pozolânica com cal aos sete dias (ABNT NBR 5751)

Na determinação da atividade pozolânica com a cal os CP's moldados são curados a 55°C e submetidos a ensaio de resistência a compressão após 7 dias. A Tabela III traz o resultado da resistência de cada CP ensaiado.

Tabela III – Resistência a compressão para argamassas conforme ABNT NBR 5751 (2015)

[Table III – Compressive strength of mortars produced by ABNT NBR 5751 (2015)]

Mistura		Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Relativo Máximo
CFB	CP1	5,74	5,96	0,27
	CP2	5,79		
	CP3	6,37		

A resistência mínima exigida é de 6 MPa, o valor médio encontrado para CFB, está muito próximo daquele buscado podendo ser considerado bem-sucedido uma vez que o valor de 6,37 MPa representa a máxima resistência que se pode atingir com esse material neste tempo de cura permitindo que os valores abaixo dele sejam desprezados [6].

A ABNT NBR 5751 [16] é criticada por diversos autores por fixar a massa dos materiais particulados e a consistência, variando a quantidade de água para que se atinja a propriedade da argamassa no estado fresco [27, 28]. Esta condição interfere diretamente na resistência a compressão uma vez que a quantidade de água está relacionada com a porosidade das argamassas que por sua vez diminuem a resistência. A quantidade de água é um fator importante, sobretudo na análise dos materiais pozolânicos, já que estes apresentam grande superfície específica o que acaba requerendo maior quantidade de água para se atingir a mesma consistência de outros materiais.

Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias (ABNT NBR 5752)

Para determinação do índice de atividade pozolânica com cimento Portland são feitos dois traços de argamassa. A argamassa A tem apenas cimento, areia e água enquanto na argamassa B 25% do cimento é substituído pela cinza. Após adoção desses procedimentos para moldagem dos CP's e 28 dias de cura os mesmos são submetidos a ensaios de resistência a compressão.

A Tabela 4 apresenta os dados obtidos para resistências a compressão possibilitando o cálculo do Índice de desempenho com cimento Portland.

Tabela IV - Resistência a compressão para argamassas conforme ABNT NBR 5752

Table IV - Compressive strength of mortars produced by ABNT NBR 5752

Mistura	Material Pozolânico (%)	Aditivo (%)	Resistência (Mpa)	Desvio	IAP
Argamassa A	-	-	39,07	1,60	102%
Argamassa B	25	0,36	39,93	2,34	

Os resultados, apresentados nestes ensaios atendem o requisito físico de 90% [10] e são muito significativos [15]. Outro autor avaliando o IAP de cinzas produzidas a partir do colmo do bambu encontrou valores positivos que atendiam a referida norma brasileira [22].

Argamassas com substituição

A Figura 5 apresenta a resistência a compressão e o desvio relativo máximo das argamassas de referência e com 10%, 20% e 30% de substituição da massa de cimento por CFB, nas idades de 7, 28 e 91 dias.

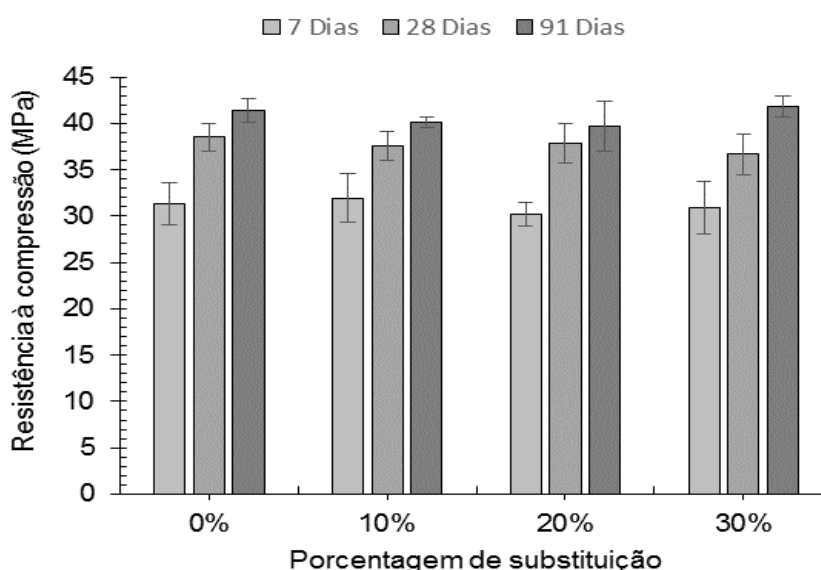


Figura 5 – Variação da resistência a compressão com tempo de cura.

[Figure 5 - Variation of compressive strength with curing time.]

A resistência a compressão das argamassas com substituições são muito próximas a resistência da argamassa controle, mesmo as grandes quantidades de substituições não provocam perdas significativas de resistências. Aos 28 dias as argamassas com 20% e 30% de CFB apresentam resistência apenas 1,66% e 4,7% menor que a de referência. Com maiores tempos de cura (91 dias) a argamassa com 30% de substituição apresentou resistência quase 1% maior que a argamassa controle. Este ganho de resistência, em tempos de cura maiores, é atribuído por a quantidades adicionais de silicato de cálcio hidratado formado pela reação pozolânica [20].

5 CONCLUSÃO

A caracterização da CFB produzida mostrou se tratar de um bom material pozolânico, uma vez que atendeu a todos os itens estabelecidos pela norma brasileira, com grande potencial para ser adicionado a cimentos na produção de concretos e argamassas e pastas.

O emprego de um processo industrial, mais tecnológico, no preparo do material podem resultar em um aglomerante ainda melhor. Houve atendimento do requisito granulométrico, entretanto a análise morfológica mostrou que existem margens para avanços para que se tenha um material com mesmo padrão granulométrico do cimento Portland produzido industrialmente.

Os ensaios de resistência a compressão corroboram com os dados de caracterização do material. A CFB se mostra promissora já que com 91 dias apresentou ganho de resistência, para as argamassas com 30% de substituição. Esses resultados podem tornar este material de construção civil mais sustentável e menos poluidor.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de subsídios à pesquisa; Ao Programa de Pós Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional

(PPGMADRE) da Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE); Aos laboratórios de Materiais cerâmicos (LAMAC) e de Microscopia Eletrônica de Varredura (LABMMEV) da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FCT UNESP) de Presidente Prudente e ao Instituto Federal de São Paulo, campus Presidente Epitácio.

REFERÊNCIAS

- [1] AL-KUTTI, Walid; ISLAM, A. B. M. Saiful; NASIR, Muhammad. Potential use of date palm ash in cement-based materials. **Journal Of King Saud University - Engineering Sciences**, [s.l.], p.1-6, fev. 2017.
- [2] PIMRAKSA, K.; HANJITSUWAN, S.; CHINDAPRASIRT, P.. Synthesis of belite cement from lignite fly ash. **Ceramics International**, [s.l.], v. 35, n. 6, p.2415-2425, ago. 2009.
- [3] WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT – WBCSD. The Cement Sustainability Initiative - Cement Industry Energy and CO₂ Performance - “Getting the Numbers Right”. Paris, 2009.
- [4] SILVA, Rebeca Bastos *et al.* Cinzas de biomassa geradas na agroindústria do cacau: caracterização e uso em substituição ao cimento. **Ambiente Construído**, [s.l.], v. 15, n. 4, p.321-334, 1 dez. 2015.
- [5] FRÍAS, Moisés *et al.* Characterization and properties of blended cement matrices containing activated bamboo leaf wastes. **Cement And Concrete Composites**, [s.l.], v. 34, n. 9, p.1019-1023, out. 2012.
- [6] GOBBI, Andressa. **Atividade pozzolânica de adições minerais pelas NBR 5751/2012 e NBR 5752/2012: uma análise crítica a partir de métodos complementares**. 2014. 143 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- [7] ALBUQUERQUE, Rayse Thaynare Oliveira; LIMA, Nelson Luiz de Andrade. Adições minerais ao concreto: melhores propriedades, maior economia e mais sustentabilidade. **Revista Interdisciplinar da Universidade Veiga de Almeida**, Rio de Janeiro, p.57-64, 2014.
- [8] ASHA, P.; SALMAN, A.; KUMAR, R. Arun. Experimental Study on Concrete with Bamboo Leaf Ash. **International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)**, [s. L.], v. 3, n. 6, p.46-51, ago. 2014.
- [9] ADESANYA, D.A.; RAHEEM, A.A. Development of corn cob ash blended cement. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 23, n. 1, p.347-352, jan. 2009.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS — ABNT. **NBR 12653: Materiais pozzolânicos — Requisitos**. Rio de Janeiro, 6 p. 2015.
- [11] HEWLETT, P. C. **Lea's chemistry of cement and concrete**. 4. ed. London: ELSEVIER, 2008. 1057 p.
- [12] CALEGARI, L. HASELEIN, C. R. SCARAVELLI, T. L. SANTINI, E. J. STANGERLIN, D. M. GATTO, D. A. TREVISAN, R. Desempenho físico-mecânico de painéis fabricados com bambu (*Bambusa vulgaris* Schr.) em combinação com madeira. **Cerne**, v.13, p.57-63, 2007.
- [13] MOGNON, Francelo *et al.* Estimativas de biomassa para plantas de bambu do gênero *Guadua*. **Revista Ceres**, [s.l.], v. 61, n. 6, p.900-906, dez. 2014.
- [14] TASHIMA, M. M. **Cinza da Casca de Arroz altamente reativa: método de produção, caracterização físico-química e comportamento das matrizes de cimento Portland**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.
- [15] ASSOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NM 18: Cimento Portland - Análise química - Determinação de perda ao fogo**. Rio de Janeiro, 4 p. 2012.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5751: Materiais pozzolânicos - Determinação da atividade pozzolânica com cal aos sete dias**. Rio de Janeiro, 4 p. 2015.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5752: Materiais Pozzolânicos – Determinação do Índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias**. Rio de Janeiro, 4 p. 2014.
- [18] PEREIRA, Adriana Maria. **Análise da viabilidade da utilização da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como aglomerante para a produção de matrizes cimentantes**. 2014. 202 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2014.
- [19] MORAES, João Cláudio Bassan de. **Utilização da cinza de folha de cana-de-açúcar como material pozzolânico em matrizes cimentantes**. 2015. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2015.
- [20] DWIVEDI, V.n. *et al.* A new pozzolanic material for cement industry: Bamboo leaf ash. **International Journal Of Physical Sciences**, [s.l.], v. 1, n. 3, p.106-111, nov. 2006. Disponível em: < <http://www.academicjournals.org/IJPS> >. Acesso em: 01 dez. 2018.
- [21] COCIÑA, Ernesto Villar *et al.* Pozzolanic behavior of bamboo leaf ash: Characterization and determination of the kinetic parameters. **Cement And Concrete Composites**, [s.l.], v. 33, n. 1, p.68-73, jan. 2011.
- [22] MENDONÇA, Marcelly de Figueiredo. **Substituição parcial do cimento Portland por cinzas de bambu (*Bambusa Vulgaris*)**. 2018. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

- [23] HEMALATHA, T.; RAMASWAMY, Ananth. A review on fly ash characteristics – Towards promoting high volume utilization in developing sustainable concrete. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 147, p.546-559, mar. 2017.
- [24] COCIÑA, Ernesto Villar *et al.* Pozzolanic Characterization of Cuban Bamboo Leaf Ash: Calcining Temperature and Kinetic Parameters. **Waste And Biomass Valorization**, [s.l.], v. 9, n. 4, p.691-699, 15 out. 2016.
- [25] CORDEIRO, G.c. *et al.* Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars. **Cement And Concrete Composites**, [s.l.], v. 30, n. 5, p.410-418, maio 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.01.001> .
- [26] FRÍAS, Moisés; VILLAR-COCIÑA, E.; VALENCIA-MORALES, E. Characterisation of sugar cane straw waste as pozzolanic material for construction: Calcining temperature and kinetic parameters. **Waste Management**, [s.l.], v. 27, n. 4, p.533-538, jan. 2007.
- [27] DONATELLO, S.; TYRER, M.; CHEESEMAN, C.r.. Comparison of test methods to assess pozzolanic activity. **Cement And Concrete Composites**, [s.l.], v. 32, n. 2, p.121-127, fev. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.10.008>.
- [28] HOPPE FILHO, Juarez *et al.* **Pozzolanic activity of mineral additions to Portland cement (Part I):** Pozzolanic activity index with lime (PAI), X-ray diffraction (XRD), thermogravimetry (TG/DTG) and modified Chapelle. *Matéria*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 3, e11872, 2017.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação de materiais com potencial para substituição parcial do cimento se tornou importante em todo o mundo e sobretudo no Mercado brasileiro onde a prática de produção dos cimentos compostos trazem inúmeras vantagens inclusive tornando o material construtivo produzido aqui menos poluidor ao meio ambiente.

A avaliação da cinza produzida em fornos, do tipo abóboda, na cidade de Presidente Epitácio mostrou a importância do controle de temperatura para produção das pozolânas ativadas termicamente. As altas temperaturas de queima resultaram em material vítreo e não reativo. As argamassas produzidas para avaliação indireta da pozolânicidade corroboraram os resultados da caracterização da cinza e tiveram grandes deficts de resistência com o aumento da substituição da massa de cimento. A partir dos dados de caracterização obtidos, uma série de outros usos podem ser pensados para este material. Indica-se que pesquisas futuras sejam realizadas para avaliar este material enquanto modificador do tempo de pega e plasticidade. A avaliação da ativação termica da CFO calcinada em temperaturas mais brandas podem resultar em resultados mais positivos. As características químicas também permitem que usos na agricultura, enquanto corretor de Ph do solo, possam ser investigados.

Ao avaliar a cinza da palha de bambu, produzida em ambiente acadêmico e com processo de queima já testado por outros pesquisadores pode-se observar o melhor resultado quanto a mineralogia do material. O halo, entre 15° e 35°, foi observado na difração de raios-x que apresentou poucos picos característicos de materiais cristalinos. As caracterizações química e granulométrica mostraram-se atender as demandas normativas brasileiras para este tipo de material. Apesar disso a caracterização morfológica mostrou haver possibilidade de avanço no que diz respeito a homogeneidade e forma das partículas. As argamassas produzidas com substituição do cimento pela cinza não apresentaram grandes quedas da resistência a compressão, mesmo quando adicionadas em maiores quantidades e isso torna o material promissor para incorporação nos cimentos compostos. Como observado nas análises granulométricas e morfológicas pesquisas futuras que investiguem a diferentes tipos de moinho e tempos de moagem são indicadas pois podem tornar o material ainda mais reativo.

ANEXO A – INSTRUÇÕES PARA AUTORES REVISTA MATÉRIA (UFRJ)

Escopo e política

Todos os artigos são submetidos a um criterioso processo de avaliação por parte do Corpo Editorial, sempre através de revisão por pares. O Corpo Editorial é auxiliado nesta tarefa por um sistema informatizado de administração do processo de revisão - o Sistema Eletrônico de Editoração de Revistas (SEER) - que funciona via web no Portal de Periódicos da UFRJ <https://revistas.ufrj.br/index.php/rm/index>. Autores não são informados sobre a identidade dos revisores.

A revista *Materia* publica artigos originais teóricos, de revisão, de pesquisas aplicadas e comunicação na abrangente área que engloba a Engenharia Metalúrgica, a Engenharia de Materiais, a Física da Matéria Condensada, a Química e áreas afins, revisados e aceitos pelo seu Corpo Editorial. Uma condição adicional para a publicação é o preenchimento e envio à editoria da revista do formulário de Confirmação de Autoria e Direitos de Publicação. http://www.materia.coppe.ufrj.br/Autoria_e_Direitos.doc. O envio deste documento representa a última comunicação entre cada autor do artigo e a editoria da revista antes da publicação.

A Revista adota o sistema CopySpider para identificação de plágio.

Os artigos aceitos para a publicação se tornam propriedade da revista.

Forma e preparação de manuscritos

Os artigos científicos poderão ser redigidos em português, espanhol ou inglês, sendo requerido sempre um resumo no idioma original do artigo e outro em inglês, que deverá ter até 300 palavras.

Os artigos deverão ter as seguintes características: Formato de texto de acordo com o arquivo-modelo desenvolvido em MSWord, já com os respectivos links no texto para a bibliografia. Todos os dados de formatação estão explicitados neste arquivo modelo, disponível em: <http://www.materia.coppe.ufrj.br/modelo.dot>

Tabelas e equações não podem ser enviadas como imagem, devem ser digitadas no word. Figuras serão aceitas somente em TIFF e JPEG.

Envio de manuscritos

A submissão de artigos para revista Matéria é feita pelo Sistema Eletrônico de Editoração de Revistas (SEER) – na opção “Nova Submissão” em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/rm/index>. O artigo não pode ter mais de 2 MB de tamanho.

Para dúvidas sobre o processo de submissão e gerenciamento dos artigos contatar o seguinte endereço eletrônico email: materia@labh2.coppe.ufrj.br.

Não há taxas para submissão e avaliação de artigos.

ANEXO B – INSTRUÇÕES PARA AUTORES REVISTA CERÂMICA

Objetivo e política editorial

Cerâmica aceita artigos originais e artigos de revisão de última geração em toda a área de ciência e tecnologia da cerâmica, incluindo biocerâmicas, cerâmicas avançadas, cerâmicas estruturais, cerâmicas eletroeletrônicas, cerâmicas magnéticas, cerâmicas óticas, cerâmicas nucleares, matérias-primas cerâmicas, cimentos, louças sanitárias e porcelanas, isolantes térmicos, cerâmicas, refratários, esmaltes e pigmentos cerâmicos, vidros e vitrocerâmicas, compósitos de matriz cerâmica, ciência básica, arte cerâmica, técnicas de caracterização, equipamentos cerâmicos, análises microestruturais, processos de fabricação, síntese de pós, etc.

Todos os artigos serão revisados por um único cego (mantendo a identidade do revisor anônimo).

A Sociedade Brasileira de Cerâmica não assume nenhuma responsabilidade pelo conteúdo dos trabalhos técnicos e pelas declarações e opiniões apresentadas pelos colaboradores.

Não há taxa para artigos de submissão e revisão.

Preparação de manuscritos

SUBMISSÃO DE TRABALHOS

Os colaboradores devem enviar seus trabalhos em:
<https://mc04.manuscriptcentral.com/ce-scielo>.

AVISO

Se aceito, os artigos escritos em português podem demorar muito para serem publicados. A fim de aumentar a internacionalização da revista, os trabalhos submetidos em inglês terão prioridade de publicação.

TIPOS DE CONTRIBUIÇÕES

Artigos de pesquisa originais e artigos de revisão de última geração. Todas as contribuições serão submetidas a uma revisão por pares cega individual (a identidade do revisor é mantida anônima). A associação à ABCeram não é obrigada a enviar uma contribuição.

PREPARAÇÃO DO MANUSCRITO

Todos os manuscritos devem ser:

- Escrito com editor de texto MSWord (.doc ou .docx) em inglês ou português, em formato A4 com margens 1,5 cm acima e abaixo, 2,5 cm à esquerda e 1,5 cm à direita. Use uma coluna e espaçamento simples com fonte Times New Roman 10, sem formatação especial.
- Enviado pelo URL: <https://mc04.manuscriptcentral.com/ce-scielo>.
- Artigos de pesquisa com resultados originais devem conter: título em inglês, título em português *, nome do autor, afiliação, endereço, email, resumo (máximo 150 palavras), palavras-chave (no mínimo dois), resumo (resumo em português *, máximo de 150 palavras), palavras-chave, texto na seguinte ordem: Introdução (os objetivos devem ser inseridos no final desta seção); Experimental (ou Materiais e Métodos); Resultados e Discussão (ou Resultados, Discussão); Conclusões (deve ser sucinto; evite citar referências nesta seção); Nomenclatura ou equivalente (se necessário); Agradecimentos (se necessário); Apêndices (se necessário); Referências. Não use notas de rodapé.
- Os artigos de revisão devem conter: título em inglês, título em português *, nome do autor, afiliação, endereço, email, resumo (máximo de 150 palavras), palavras-chave (no mínimo dois), resumo (resumo em português *, máximo de 150 palavras), palavras-chave (palavras-chave em português *, pelo menos dois), texto na seguinte ordem: Introdução (os objetivos devem ser inseridos no final desta seção); seções com várias subposições; Conclusões ou Comentários Finais (deve ser sucinto; evite citar referências nesta seção); Agradecimentos (se pertinente); Apêndices (se necessário); Referências. Não use notas de rodapé.
- TABELAS devem ser numeradas sequencialmente com algarismos romanos, com legendas na parte superior em inglês e português*; as tabelas devem ser editáveis (preparadas com o MSWord) e inseridas no texto (as tabelas não devem ter formatação especial, como cores e sombreamento) e devem preferencialmente ter três linhas horizontais, como no exemplo:

Tabela I - Resultados da caracterização das amostras sinterizadas
 [Tabela I - Resultados de caracterização das amostras sinterizadas]

Sample	Relative density (%)	Flexural strength (MPa)	Thermal conductivity (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)
A	80.0 ± 0.7	153 ± 12	21.0 ± 0.3
B	95.5 ± 0.8	357 ± 17	77.7 ± 0.6
C	99.8 ± 0.9	366 ± 22	99.2 ± 0.9

- As FIGURAS devem ser numeradas seqüencialmente com algarismos arábicos, com legendas em inglês e português *, e inseridas preferencialmente no texto. Ilustrações (gráficos, desenhos, fotos, micrografias) devem ter um bom contraste e letras e tamanhos uniformes, suficientes para permitir a leitura após a redução (as ilustrações serão publicadas com uma largura de até 8 cm ou, eventualmente, até 16 cm). Quaisquer marcadores de escala devem ser inseridos nas micrografias.
- As EQUAÇÕES devem ser indicadas e citadas no texto, em maiúsculas, entre parênteses, como mostrado abaixo:

$$\theta(t, T) = \int_{t_0}^t \frac{1}{T} \exp\left(-\frac{Q}{kT}\right) dt \quad (\text{UMA})$$

- REFERÊNCIAS devem ser numeradas sequencialmente, na ordem de citação no texto (com algarismos arábicos, entre parênteses), e listadas no final do artigo. Evite citar nomes de autores no texto - apenas indique o número (por exemplo, [3]). Referências não devem ser vinculadas (cruzadas) ao texto. Evite referenciar sites, dissertações de mestrado e teses de doutorado. Em vez disso, consulte os periódicos em que o conteúdo da dissertação e tese foram publicados. Não use “*et al.*” Nas descrições das referências (inclua nomes de todos os autores). Exemplos:

[1] R. Muccillo, ENS Muccillo, J. Eur. Ceram. Soc. 34 , 4 (2014) 915.

[2] JS Reed, Princípios de processamento de cerâmica, John Wiley, Nova York, EUA (1995) 254.

[3] MAFN Freitas, Silva TF, JM Assaf, RHGA Kiminami, Proc. 2º Congresso Global sobre Aplicações de Energia de Microondas, Eds. RL Schulz, DC Folz, Grupo de Trabalho de Microondas, Long Beach, EUA (2013) 451.

- * NOTA PARA AUTORES ESTRANGEIROS sem conhecimento de português: uma versão em português do título, resumo, palavras-chave e legendas de tabelas e figuras serão fornecidas pelos Editores após aceitação (não precisam ser incluídas no manuscrito).

PLATAFORMA DE SUBMISSÃO

- Registre todos os autores do artigo na plataforma ScholarOne (todos os autores devem dar seu consentimento para submissão de artigos);

- Indicar pelo menos dois revisores em potencial para o trabalho, sem conflitos de interesse com os autores (por exemplo, nenhum relacionamento familiar, conselheiro / assessorado ou participação conjunta em projetos ou publicações recentes, não das instituições dos autores).

INTERNACIONALIZAÇÃO

A fim de aumentar a internacionalização da revista, os trabalhos submetidos em inglês terão prioridade de publicação.

APC E OFFPRINTS

Não há taxas de publicação de artigos (APC) ou taxas de publicação para autores. Um arquivo pdf do artigo publicado será enviado ao autor correspondente sem custo.