



Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste – Núcleo de Tecnologia Programa de
Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental

Mariana Ferreira Martins Cardoso

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE ARGAMASSAS COM A UTILIZAÇÃO DE
CINZAS DE COCO DE BABAÇU (*Orbignya speciosa*)

Caruaru

2014

MARIANA FERREIRA MARTINS CARDOSO

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE ARGAMASSAS COM A UTILIZAÇÃO DE
CINZAS DE COCO DE BABAÇU (*Orbignya speciosa*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial da obtenção do grau/título de mestre em Engenharia Civil e Ambiental - Centro Acadêmico do Agreste

Área de concentração: Estruturas e Materiais

Orientadora : Prof^o Dra. Ana Cecília Vieira da Nóbrega

Co-orientador: Prof^o Dr. Humberto Correia Lima Júnior

Caruaru – 2014

C268e Cardoso, Mariana Ferreira Martins.
Estudo do comportamento de argamassas com a utilização de cinzas de coco de
babaçu (*Orbignya speciosa*. / Mariana Ferreira Martins Cardoso. – Caruaru, 2014.
72f.; il. : 30 cm. ; il.

Orientadora: Ana Cecília Vieira da Nóbrega.
Co-orientador: Humberto Correia Lima Júnior
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia
Civil, 2014.
Inclui referências bibliográficas

1. Babaçu. 2. Pozolanicidade. 3. *Orbignya speciosa*. 4. Argamassa. I. Nóbrega,
Ana Cecília Vieira da. (orientadora). II. Lima Júnior, Humberto Correia (Co-orientador).
III. Título.

620 CDD (23. ed.)

UFPE (CAA 2014-028)

MARIANA FERREIRA MARTINS CARDOSO

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE ARGAMASSAS COM A UTILIZAÇÃO DE
CINZAS DE COCO DE BABAÇU (*Orbignya speciosa*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco - Centro Acadêmico do Agreste para obtenção do grau mestre em Engenharia Civil e Ambiental, Área de concentração: Estruturas e Materiais

Aprovada em 02 de julho de 2014.

BANCA EXAMINADORA

Prof^o. Dra. Ana Cecília Vieira da Nóbrega (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o. Dr. Humberto Correia Lima Júnior (Coorientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o. Dra. Érika Pinto Marinho (Examinadora Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o. Dra. Maria das Vitórias Vieira Almeida de Sá (Examinadora Externo)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Às quebradeiras de coco babaçu que sustentam
suas famílias com o suor e o amor a esta palmeira.

À minha mãe Luzia Ferreira, razão da minha
existência e motivo da minha força, fé e felicidade!

In memoriam de Gean Pierre Renard Vencio
Pereira, por todo apoio e esforço dedicado a esta pesquisa.

AGRADECIMENTOS

À Deus e a Espiritualidade Maior que me regem, me protegem e me guiam.

Ao meu avô Zé, ao meu pai e ao Taylor que me iluminam e vibram por mim, lá de cima.

À minha mãe, Luzia Ferreira, por acreditar no meu potencial e da pesquisa, por apoiar, por se sacrificar e por financiar meus estudos.

Ao meu irmão Walter, pelo companheirismo e consultas nos momentos difíceis e as minhas irmãs Juliana, Ana Carolina e Ana Maria pela torcida e incentivo.

A Cícero, meu amor e companheiro, por auxiliar nas coletas de campo e ao longo de toda a pesquisa e por toda compreensão, tolerância e ajuda nos momentos difíceis e por tornar minha vida mais feliz.

À todos os meus amigos e familiares, distantes e os que aqui neste mestrado surgiram, pela torcida e apoio.

À minha orientadora, Prof^a Dr^a Ana Cecília Vieira da Nóbrega, por ser fundamental tanto à pesquisa quanto à minha vida, um exemplo a ser seguido, por sua amizade singular e companheirismo constante.

Ao Prof. Dr. Humberto Correia Lima Júnior, por sua contribuição para a realização desta pesquisa.

À Professora Doutora Erika Marinho, pelos valiosos comentários feitos na qualificação da dissertação.

À professora Dra. Maria das Vitórias Vieira Almeida de Sá que tão prontamente aceitou o convite para a banca e nos honrou com sua contribuição.

A todos os professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental - PPGECAm da Universidade Federal de Pernambuco, presentes direta e indiretamente nesta pesquisa.

Aos meus colegas e amigos de mestrado, Germano, Jonatas, Silvanda, Ramona, Ivanildo, Gutemberg, Adeilton e Edson, pela união e companheirismo tão necessários nesta árdua caminhada.

Aos queridos e competentes estagiários, e futuros Engenheiros Civis, Lyneker Souza de Moura e Venâncio Queiroz, não só por vossas contribuições fundamentais a esta pesquisa mas por toda a dedicação, incentivo, apoio e amizade.

Aos técnicos do Laboratório de Química Amanda, Agilson, Claudete e Henrique e a técnica do Laboratório de Construção Civil, Fabíola, por todo o auxílio e empenho dedicados.

Ao Sr. Romeu da Cerâmica Cristal, em Crato - CE por autorizar a coleta das cinzas objeto de pesquisa.

À CAPES pelo apoio financeiro e ao projeto Casadinho por viabilizar intercâmbio com a UFRN.

RESUMO

Muitas das cinzas de subprodutos orgânicos de origem natural (cinzas de casca de arroz, bagaço de cana, etc...) são notadamente conhecidas por benefícios para sistemas cimentícios: pozolanicidade e efeito filer. Este estudo, de caráter investigatório e analítico, tem objetivo de desenvolver argamassas com a incorporação de cinzas provenientes da queima do coco Babaçu (*Orbignya speciosa*). Para tanto, as CCB foram inicialmente pré-tratadas em termos de queima em laboratório e moagem. Na sequência foram físico-quimicamente caracterizadas e tiveram suas atividades pozolânicas avaliadas pelo ensaio de Chapelle modificado e pela NBR 5752 (2012). Dado o índice de Índice de Atividade Pozolânica com Cimento Portland ter sido da ordem de 73% para a CCB sem nenhum pré-tratamento (mínimo de 75% para ser pozolânica), decidiu-se por questões de tempo de gasto energético de moagem para o mercado, trabalhar com a CCB tal qual coletada na indústria. Argamassas com traço 1:3 em massa foram moldadas com adição de 10% de CCB ao sistema e substituição de 10% de cimento por CCB, teores estes determinados em função da consistência das argamassas e tiveram suas propriedades nos estados fresco e endurecido avaliadas. Conclui-se que a cinza de coco Babaçu apresenta uma tendência a atividade pozolânica, sendo necessário apenas alguns ajustes na moagem para que a mesma alcance os teores preconizados pela norma ABNT NBR 5752 (2010), sem necessidade de queima. A moagem de alta energia prejudicou a atividade pozolânica das CCB por ter aglomerado as partículas. É possível agregar esse resíduo a argamassas no traço 1:3 em massa, seja na forma de adição ou substituição, ambas em teores de 10% em relação à massa de cimento, resguardando suas propriedades nos estados fresco e endurecido, sendo observada reatividade das CCB's nas resistências à compressão dos 28 para 90 dias.

PALAVRAS-CHAVE: Argamassa. Babaçu. *Orbignya speciosa*. pozolanicidade.

ABSTRACT

Many of the ashes by-products of natural origin (rice husk ashes, sugarcane bagasse ashes, etc ...) are notably known for their benefits for cementitious systems: pozzolanic activity and filler effect. In this scenario, the objective of this work is to develop mortars with incorporation of ashes from burning Babaçu coconut (*Orbignya speciosa*). For this, the CCB were initially pretreated in terms of burning in the laboratory and grinding. In sequence, the ashes were physico-chemically characterized and had their pozzolanic activities were carried out by modified Chapelle test and using the NBR 5752 (2012). Given the rate of pozzolanic activity index with Portland cement have been of the order of 73% for CCB without any pretreatment (min 75% for pozzolanic), it was decided working with CCB as it collected the industry, for reasons of time grinding and energy expenditure for market. Mortar with 1:3 mixer in weight were molded with the addition of 10% of the CCB system and replacing 10% of cement by CCB. These levels were determined due to the consistency of mortars and had their properties in fresh and hardened states evaluated. We conclude that the Babaçu coconut ashes have a tendency to pozzolanic activity, but it requires some adjustments in grind for it in order to reach the levels recommended by the ABNT NBR 5752 (2010). No burning is required. The high-energy milling decreased the pozzolanic activity of CCB for generate the particles agglomerate. It is possible to add this CCB residue in 1:3 by weight ratio in mortars in addition or replacement, both in amounts of 10% by mass of cement, keeping their properties in fresh and hardened states. In addition, CCB reactivity was observed when the compressive strength increases of 28 to 90 days.

KEYWORDS: Mortar. Babaçu. *Orbignya speciosa*. pozzolanicity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Floresta de Babaçus, conhecida como Babaçuais	17
Figura 2	Palmeira de Babaçu. Cada palmeira pode ter até 6 cachos com frutos, e cada cacho até 100 cocos babaçu.	18
Figura 3	Coco babaçu, corte longitudinal e transversal.	18
Figura 4	Metodologia experimental esquematizada em diagrama de blocos	32
Figura 5	Cocos babaçus para utilização nos fornos da Cerâmica Cristal, Crato – CE.	33
Figura 6	Tratamento do cinza de coco babaçu através de peneiramento	34
Figura 7	Aspectos visuais da cinza moída (A2) e da cinza tal qual recebida da indústria (A1)	41
Figura 8	Corpos de prova cilíndricos moldados de acordo com a NBR 7215	42
Figura 9	Corpos de prova cilíndricos curados em câmara úmida	43
Figura 10	Esquema do ensaio de determinação do índice de consistência, para determinação do espalhamento "D" mesa de consistência flow table	44
Figura 11	Ensaio de determinação do índice de consistência, para determinação do espalhamento "D" mesa de consistência flow table	44
Figura 12	Moldagem de corpos de prova prismáticos em forma metálica de 4 cm x 4 cm x 16 cm de acordo com a ABNT NBR 13279:2005	47
Figura 13	Corpo de prova prismático de 4 cm x 4 cm x 16 cm de acordo com a ABNT NBR 13279:2005	47
Figura 14	Corpos de prova prismáticos de 4 cm x 4 cm x 16 cm de acordo com a ABNT NBR 13279:2005	48
Figura 15	Cura térmica dos corpos de prova em caixas poliméricas.	48
Figura 16	Preparação da parede com argamassa para o ensaio de aderência à tração	51
Figura 17	Curva granulométrica da cinza de coco Babaçu tal qual coletada na indústria (CCB – curva de cor preta e AREIA – curva de cor cinza).	54
Figura 18	Curva da atividade pozolânica da CCB segundo o método Chapelle Modificado	55
Figura 19	Índice de consistência das argamassas com e sem adição de CCB	58
Figura 20	Retenção de água com adição e substituição de CCB	59
Figura 21	Densidade de massa água constante	61
Figura 22	Teor de ar incorporado, água constante	62
Figura 23	Coeficiente de Capilaridade	63
Figura 24	Resistência à tração na flexão de argamassas com substituição e adição de CCB aos 28 e 90 dias, com devidos intervalos de confiança de 95% para a média	64
Figura 25	Resistência à compressão de argamassas com substituição e adição de CCB aos 28 e 90 dias, com devidos intervalos de confiança de 95% para a média	65
Figura 26	Resistência de aderência à tração das argamassas com substituição e adição, com devidos intervalos de confiança de 95% para a média	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Pré-tratamentos aplicados as cinzas e denominações	34
Tabela 2	Traços em massa para o preparo de 2,5 kg de argamassa	35
Tabela 3	Características químicas do cimento	36
Tabela 4	Características físicas do cimento	36
Tabela 5	Argamassas preparadas para ensaio de Pozolanicidade NBR 5752:2005	40
Tabela 6	Composição das argamassas para ensaio NBR 5752:2013	41
Tabela 7	Área superficial específica do cimento e cinzas sob diferentes tratamentos.	52
Tabela 8	Massa específica do cimento e cinzas sob diferentes tratamentos	53
Tabela 9	Resíduo retido na peneira de 45 µm para cimento e cinzas sob diferentes tratamentos	53
Tabela 10	Resistência à compressão, índice de atividade pozolânica e água requerida	56
Tabela 11	Classificação das argamassas segundo sua retenção de água segundo a NBR 13281 (2005)	60
Tabela 12	Classificação das argamassas segundo sua densidade de massa no estado fresco, NBR 13281 (2005)	61
Tabela 13	Classificação de argamassa quanto sua densidade de massa no estado fresco	62
Tabela 14	Classificação das argamassas segundo sua resistência à tração na flexão	64
Tabela 15	Classificação das argamassas segundo sua resistência a compressão NBR 13281 (2005)	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas ASTM:

American Society for Testing Materials BET: Brunauer-Emmet-

Teller

CCB: Cinza de coco Babaçu

CP II F 32: Cimento Portland composto com Fíler com resistência de 32 MPa aos 28 dias

C-S-H : Silicato de cálcio hidratado C_2S :

Silicato dicálcico

C_3A : Aluminato tricálcico C_3S :

Silicato tricálcico

C_4AF : Ferroaluminato tetracálcico DRX:

Difratometria ao raio-X

MEV: Microscópio Eletrônico de Varredura NM:

Norma Mercosul

NBR: Norma Brasileira

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	Babaçu	14
2.1.1	<i>Cinza de coco de Babaçu: usos e propriedades</i>	16
2.2	Argamassa	18
2.2.1	<i>Classificação</i>	18
2.2.2	<i>Propriedade das argamassas</i>	21
2.3	Adição de cinzas em argamassas	24
2.3.1	<i>Classificação das adições minerais</i>	24
2.3.2	<i>Cinzas agroindustriais</i>	25
3	METODOLOGIA EXPERIMENTAL	29
3.1	Coleta e processamento das cinzas de coco Babaçu	30
3.2	Dosagem	32
3.3	Caracterização dos materiais de partida	33
3.3.1	<i>Cimento Portland</i>	33
3.3.2	<i>Areia</i>	34
3.3.3	<i>Água de amassamento</i>	34
3.4	Caracterização físico-química e microestrutural da cinza de coco Babaçu	34
3.4.1	<i>Área superficial</i>	35
3.4.2	<i>Massa específica</i>	35
3.4.3	<i>Avaliação do índice de atividade pozolânica</i>	35
3.5	Ensaio argamassas estado fresco	40
3.5.1	<i>Índice de consistência</i>	40
3.5.2	<i>Retenção de água</i>	42
3.5.3	<i>Densidade de massa e teor de ar incorporado</i>	42
3.6	Moldagem e cura dos corpos-de-prova	43
3.7	Ensaio argamassas estado endurecido	46
3.7.1	<i>Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade</i>	46
3.7.2	<i>Resistência à Tração e Compressão</i>	47
3.7.3	<i>Resistência de aderência à tração</i>	48
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1	Caracterização das CCB	49
4.1.1	<i>Área superficial específica</i>	49
4.1.2	<i>Massa específica</i>	49
4.1.3	<i>Resíduo na peneira de 45 µm</i>	50
4.1.4	<i>Curva granulométrica</i>	51
4.1.5	<i>Avaliação do índice de atividade pozolânica das CCB</i>	51
4.2	Caracterização das argamassas no estado fresco	54
4.2.1	<i>Índice de consistência</i>	54
4.2.2	<i>Retenção de água</i>	56
4.2.3	<i>Densidade de massa e teor de ar incorporado</i>	57
4.3	Caracterização das argamassas estado endurecido	60
4.3.1	<i>Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade</i>	60
4.3.2	<i>Resistência à Tração na Flexão e Compressão</i>	60
4.3.3	<i>Resistência de aderência à tração</i>	63
5	CONCLUSÕES	65
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	67
	REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente e os recursos naturais é recente. As discussões e a conscientização de que as matérias primas são finitas e que os resíduos e impactos ambientais gerados em todas as cadeias produtivas precisam de respostas imediatas e eficientes sucederam nos últimos quarenta anos. Algumas estratégias encontradas para equacionar a relação matéria prima/resíduos estão na reciclagem dos materiais ou na utilização de seus resíduos em outras cadeias produtivas. Esta última alternativa está amplamente difundida na indústria cimentícia.

O cimento Portland é o constituinte do concreto cuja produção mais contribui para a poluição do ambiente pela emissão de CO₂ para a atmosfera. Torna-se necessário a busca por novos materiais de construção com respostas semelhantes ou melhores que os materiais atuais, porém de forma ambientalmente sustentável (KAWABATA, 2008). As pesquisas em materiais sustentáveis reduzem o consumo de recursos naturais, além de diminuir a necessidade de aterros sanitários devido à minimização de volume de resíduos pela reciclagem e no caso da indústria de cimento, reduz a emissão de gás carbônico quando há substituição de cimento Portland por resíduos pozolânicos.

Compostos pozolânicos incorporados ao sistema cimentício alteram a cinética de reação do cimento Portland e interagem com o hidróxido de cálcio (produto de reações das fases silicatos do clínquer), formando compostos hidráulicos secundários que modificam a microestrutura da pasta. Quanto maior o teor de hidróxido de cálcio consumido pela pozolana, maior é a sua atividade (MEDINA, 2011).

Como as pozolanas geralmente apresentam reduzida granulometria para fins de incrementos na área superficial e, conseqüentemente, reatividade das mesmas, efeitos físicos associados à sua influência sobre as características de embalagem da mistura (efeito fíler), que dependem do tamanho, forma e textura das partículas (CORDEIRO et al., 2008), também são pronunciados.

Assim, o uso de adições na composição de material cimentício, além das vantagens ambientais e econômicas, traz benefícios de ordem microestrutural ao sistema. Subprodutos das indústrias siderúrgicas (escória de alto-forno), da indústria termelétrica (cinza volante), e subprodutos orgânicos de origem natural: cana-de-açúcar, palha de arroz, serragem e moinha de carvão vegetal, tem comprovada atividade pozolânica, sendo comumente adicionado ao cimento Portland nas cimenteiras.

No âmbito dos subprodutos orgânicos de origem natural, tem-se a utilização do coco babaçu, que apresenta o benefício de advir do extrativismo do coco, não provocando

desmatamento, além da qualidade em relação ao poder calorífico e ao teor de carbono, fatores estes que motivam o emprego do carvão de babaçu pela indústria siderúrgica e em vários arranjos produtivos, como a indústria cerâmica.

O resíduo escolhido para estudo é a cinza proveniente da queima do coco Babaçu (*Orbignya speciosa*). Órgãos ambientais e de apoio às empresas tem incentivado a substituição da lenha atualmente utilizada na matriz energética, por resíduos, tornando indústrias e empresas mais sustentáveis do ponto de vista ambiental. Ressalta-se que trabalhos envolvendo a influência dessa cinza quando da adição em materiais cimentícios e sua pozolanicidade não foram localizados na literatura vigente.

Neste cenário, o objetivo geral deste trabalho é desenvolver argamassas com a incorporação de cinzas de coco babaçu, como forma de destinação dos resíduos gerados a partir da queima do coco na Cerâmica Cristal, no município de Crato- CE. Para atingir este objetivo teve-se como objetivos específicos:

- Caracterizar físico-quimicamente a cinza de coco babaçu;
- Avaliar a atividade pozolânica da cinza de babaçu;
- Formular argamassas com incorporação de cinza, conforme NBR 13276:2005;
- Avaliar as argamassas no estado fresco e endurecido.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Babaçu

O babaçu pertence à família das palmeiras (Arecaceae) e apenas o gênero *Orbignya* possui cerca de 20 espécies distribuídas nas Américas do Norte, Central e do Sul. No Brasil, o babaçu apresenta ampla dispersão natural, ocorrendo em quase todos os estados das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Estima-se que os babaçuais (Figura 1) ocupem entre 18 e 20 milhões de hectares do território brasileiro, com cerca de metade dessa área concentrada no estado do Maranhão (PINTO et al., 2010).

É uma palmeira monocaule, com até 20 m de altura e estipe liso medindo até 41 cm de diâmetro, frutos oblongos-elipsóides lisos, com 11,3 x 6,3 cm de diâmetro, de coloração marrom na maturidade. A época de frutificação do babaçu ocorre durante o ano todo, sendo que o pico da produção ocorre nos meses de agosto a janeiro e cada planta pode produzir até 6 cachos (SOLER; VITALI; MUTO, 2007).

Ocorre espontaneamente em planícies e em áreas de baixa declividade, em vários tipos de solo, em climas que variam do semiárido ao tropical e em diversos tipos de vegetação, como floresta amazônica e cerrado. O babaçu é uma espécie pioneira e dominante em áreas abertas (p. ex., em pastagens), onde forma babaçuais maciços, ocorrendo em baixa densidade em floresta fechada (PINTO et al., 2010).



Figura 1 - Floresta de Babaçus, conhecida como Babaçuais. Fonte: <http://nogueirense.com.br/palmeira-solitaria/> (2014).

O fruto é uma drupa com elevado número de frutos por cacho, sendo estes normalmente em número de 4, podendo atingir até 6. Os frutos são em formato

elipsoidal, mais ou menos cilíndricos, pesando de 90 a 280 g. Este fruto apresenta: epicarpo (camada mais externa e bastante rija), mesocarpo (com 0,5 a 1,0 cm e rico em amido), endocarpo (rijo, de 2 a 3 cm) e amêndoas (de 3 a 4 por fruto, com 2,5 a 6 cm de comprimento e 1 a 2 cm de largura) (TEIXEIRA, 2002). O aspecto da palmeira, cachos e frutos pode ser visualizado na Figura 2.

Figura 2 – Palmeira de Babaçu. Cada palmeira pode ter até 6 cachos com frutos, e cada cacho pode ter até 100 cocos babaçu.

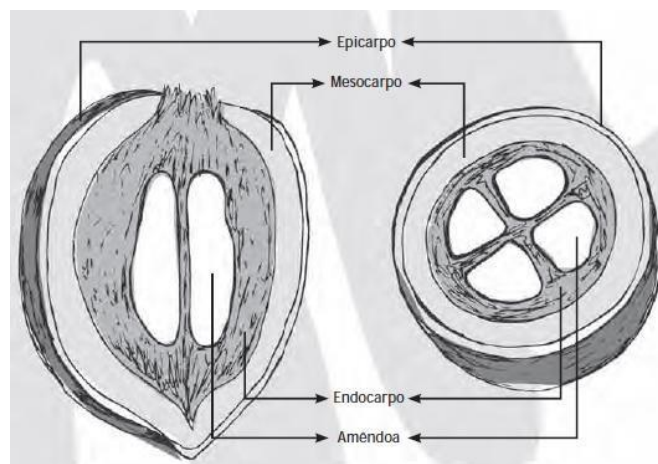


Fonte: A autora (2014)

Nota: adaptado de Nogueirense (2014).

O coco babaçu é um coco de aproximadamente 8 a 15 cm de comprimento e 5 a 7 cm de largura, de forma ligeiramente oval (Figura 3). Quando maduro, o fruto desprende-se e cai no solo. A composição física do fruto indica quatro partes aproveitáveis: epicarpo (11%), mesocarpo (23%), endocarpo (59%) e amêndoa (7%) (SOLER et al., 2007).

Figura 3 – Coco babaçu, corte longitudinal e transversal.



Fonte: PINTO et al. (2010).

Mensalmente, são extraídas em torno de 140.000 toneladas de amêndoas destes babaquais. Contudo, o potencial do babaçu continua inexplorado sendo possível o aproveitamento econômico para produção de carvão, óleo combustível, gás, lubrificante e óleo comestível (LIMA et al., 2007).

Diversos estudos (BRASIL, 1982;1989; MONTEIRO, 1998; SUDAM/PNUD, 1997) apresentam o babaçu com uma alternativa frente ao consumo de combustíveis madeiros, uma vez que sua utilização atenua o desmatamento, tornando-o um combustível de origem vegetal mais sustentável.

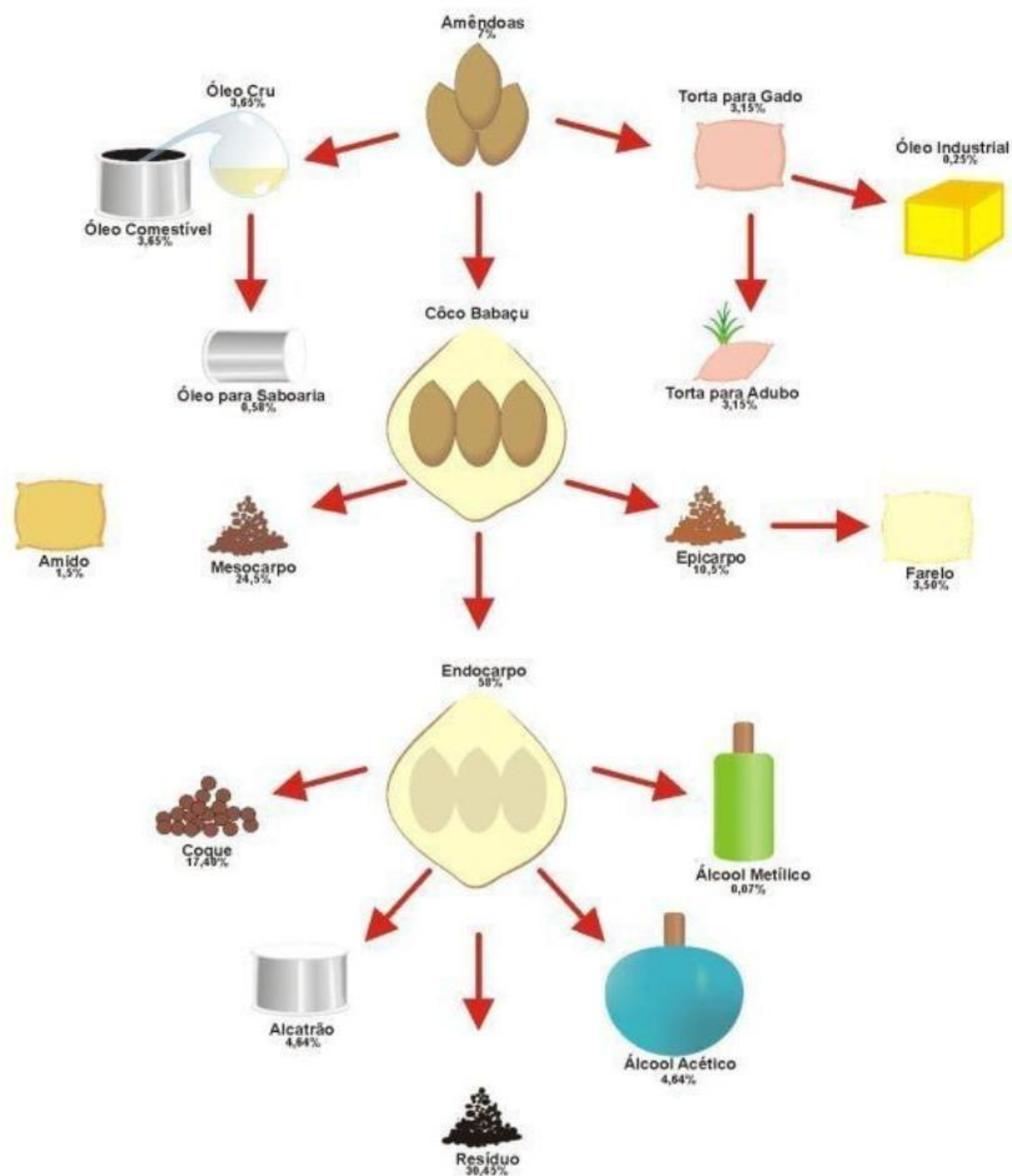
2.1.1. Cinza de coco de Babaçu: usos e propriedades

A casca do babaçu tem o benefício de advir do extrativismo do coco, não provocando desmatamento, e ser um resíduo com alto poder calorífico. No Brasil, historicamente a queima direta da lenha tem sido a forma de biomassa mais utilizada para fins energéticos. Além destas destacam-se: cana-de-açúcar e derivados como bagaço e palha de cana, vinhoto; os resíduos agro-industriais: como cascas, toras, cavacos de madeira, cascas de babaçu, arroz, sabugo e palha de milho; os óleos vegetais, e outros resíduos utilizados em processos de biodigestão (ARAÚJO; SANTOS; MOURA, 2008).

O fruto tem potencial em indústrias de cosméticos, obtenção de óleo comestível, margarinas, saboarias, velas, carvão, etanol, furfural, ácido acético, metanol, alcatrão, celulose, papel e álcool anidro. Da amêndoa pode-se obter rações, ácidos graxos e glicerinas. Em escala comercial, somente o carvão e o óleo tem sido produzidos. O leite de babaçu é um subproduto do fruto que vem se destacando na culinária local com reconhecimento regional (SOLER et al., 2007).

O carvão produzido do endocarpo do babaçu possui excelentes propriedades para combustível, com cerca de $\frac{1}{4}$ de carbono fixo e grande potencial para uso na indústria de produção de coque e carvão ativado. O babaçu apresenta coque metalúrgico praticamente isento de fósforo e enxofre, baixo teor de cinzas, elevada riqueza em carbono fixo, que pode passar de 98% e poder calorífico da ordem de 7.600Kcal/kg (GONÇALVES, 1955).

Figura 4 – Produtos e sub-produtos do babaçu.



Fonte: (ARAÚJO et al., 2008).

A cadeia do babaçu apresenta-se em larga expansão, com a utilização de todas as partes do babaçu, restando como resíduo apenas a cinza gerada na combustão do coco/casca, ainda sem emprego na cadeia produtiva. Estudar suas características físico-químicas e microestruturais é determinante para viabilizar a utilização desta cinza.

2.2 Argamassa

Segundo a ABNT 13281:2005 argamassa define-se como uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser usada em obra ou instalação própria (argamassa industrializada).

A destinação das argamassas determina o tipo de aglomerante ou a mistura de tipos diferentes de aglomerantes (FIORITO, 1994). As argamassas de cimento são utilizadas em alvenarias de alicerces pela resistência exigível e especialmente pela condição favorável de endurecimento. São também utilizadas para chapisco, nos revestimentos onde as condições de impermeabilidade são exigíveis, tais como no interior de reservatórios de água e outras obras hidráulicas. As argamassas mistas, feitas com os aglomerantes cimento e cal, são utilizadas para emboço ou reboco, pela sua plasticidade, condições favoráveis de endurecimento, elasticidade, e porque proporcionam acabamento esmerado, plano e regular. Encontram também aplicação no assentamento de alvenarias de vedação.

2.2.1 Classificação

Carasek (2007) faz uma classificação das argamassas suas funções e segundo alguns critérios, apresentados no Quadro 1 e no Quadro 2.

Quadro 1 - Classificação das argamassas segundo sua função na construção (CARASEK, 2007).

Função	Tipos
Para construção de alvenarias	Argamassa de assentamento (elevação de alvenaria) Argamassa de fixação ou encunhamento
Para revestimento de paredes e tetos	Argamassa de chapisco Argamassa de emboço Argamassa de reboco Argamassa de camada única Argamassa para revestimento decorativo monocapa
Para revestimento de pisos	Argamassa de contrapiso Argamassa de alta resistência para piso
Para revestimentos cerâmicos	Argamassa de assentamento de peças cerâmicas - colante Argamassa de rejuntamento
Para recuperação de estruturas	Argamassa de reparo

Quadro 2 - Classificação das argamassas obedecendo critérios de classificação (CARASEK, 2007)

Critério de classificação	Tipo
Quanto à natureza do aglomerante	• Argamassa aérea • Argamassa hidráulica
Quanto ao tipo de aglomerante	• Argamassa de cal • Argamassa de cimento • Argamassa de cimento e cal • Argamassa de gesso • Argamassa de cal e gesso
Quanto ao número de aglomerantes	• Argamassa simples • Argamassa mista
Quanto à consistência da argamassa	• Argamassa seca • Argamassa plástica • Argamassa fluida
Quanto à plasticidade da argamassa	• Argamassa pobre ou magra • Argamassa média ou cheia • Argamassa rica ou gorda
Quanto à densidade de massa da argamassa	• Argamassa leve • Argamassa normal • Argamassa pesada
Quanto à forma de preparo ou fornecimento	• Argamassa preparada em obra • Mistura semipronta para argamassa • Argamassa industrializada • Argamassa dosada em central

De acordo com a ABNT 13281:2005 as argamassas são classificadas de acordo com sua função.

Argamassa para assentamento

- **Argamassa para assentamento em alvenaria de vedação:** Indicada para ligação de componentes de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria, com função de vedação.
- **Argamassa para assentamento em alvenaria estrutural:** Indicada para ligação de componentes de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria, com função estrutural.
- **Argamassa para complementação da alvenaria (encunhamento):** Argamassa indicada para fechamento da alvenaria de vedação, após a última fiada de componentes.

Argamassa de revestimento de paredes e tetos

- **Argamassa para revestimento interno:** Indicada para revestimento de ambientes internos da edificação, caracterizando-se como camada de regularização (emboço ou camada única).
- **Argamassa para revestimento externo:** Indicada para revestimento de fachadas, muros e outros elementos da edificação em contato com o meio externo, caracterizando-se como camada de regularização (emboço ou camada única).

Argamassas de uso geral

Indicada para assentamento de alvenaria sem função estrutural e revestimento de paredes e tetos internos e externos.

Argamassas para reboco

Indicada para cobrimento do emboço, propiciando uma superfície fina que permita receber o acabamento; também denominada massa fina.

Argamassa decorativa em camada fina

Argamassa de acabamento indicada para revestimentos com fins decorativos, em camada fina.

Argamassa decorativa em monocamada

Argamassa de acabamento indicada para revestimento de fachadas, muros e outros elementos de edificação em contato com o meio externo, aplicada em camada única e com fins decorativos.

2.2.2 Propriedade das argamassas

Propriedades no estado fresco

Consistência e plasticidade

A consistência define como a argamassa resiste às tensões impostas ainda no estado fresco, estando diretamente relacionada com a quantidade de água e com a trabalhabilidade. A quantidade de água, por sua vez, pode influenciar as características do revestimento final, alterando a resistência de aderência, a permeabilidade à água e a capacidade de absorver deformações (CRUZ, 2008).

Para Guimarães (2002), a plasticidade de um sistema é a expressão da possibilidade de uma pequena força externa causar o deslocamento de partículas em relação a outras, sem saírem de suas esferas de atração. No caso das argamassas, a plasticidade é definida como a característica que as tornam deslizantes e de fácil espalhamento, sem separação da água ou segregação do material sólido da mistura.

Retenção de água

A retenção de água pode ser definida como a capacidade da argamassa fresca em manter sua consistência ou trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água de amassamento, seja por evaporação, por sucção ou por absorção pelo componente. Sem retenção adequada de água além de não se manter plástica o tempo suficiente para seu manuseio adequado, terá menor resistência quando endurecida (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995).

Propriedades no estado endurecido

Resistência mecânica

A resistência mecânica é a propriedade dos revestimentos de possuírem um estado de consolidação interna capaz de suportar esforços mecânicos das mais diversas origens e que se traduzem por tensões simultâneas de tração, compressão

e cisalhamento. Um dos principais problemas nos revestimentos, associado à resistência mecânica da argamassa, é a baixa resistência superficial, que se traduz na pulverulência, prejudicando a fixação das camadas de acabamento como a pintura (CARASEK, 2007).

A resistência à compressão manifesta-se na argamassa a partir do seu endurecimento. O endurecimento em argamassas de cimento ocorre pelas reações de hidratação do cimento quando, na presença de água, os silicatos e aluminatos constituintes do cimento resultam em produtos hidratados na pasta endurecida. As propriedades mecânicas da pasta hidratada dependem da estrutura física dos produtos resultantes da hidratação, especialmente das forças físicas e químicas de coesão, da relação água/cimento e do teor do aglomerante (CINCOTTO et al., 1995).

Aderência

A aderência da argamassa endurecida ao substrato é um fenômeno essencialmente mecânico devido à penetração da pasta aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou entre as rugosidades da base de aplicação. Quando a argamassa no estado plástico entra em contato com a superfície absorvente do substrato, parte da água de amassamento que contém os componentes do aglomerante (em dissolução ou em estado coloidal), penetra pelos poros e cavidades desse substrato. No interior deste ocorrem fenômenos de precipitação dos produtos de hidratação do cimento e da cal, após algum tempo com a cura, esses precipitados intracapilares exercem ação de ancoragem da argamassa à base (CARASEK, 2007).

Retração

A retração nas argamassas acontece principalmente por causa da perda de água da argamassa para o ambiente por evaporação e para a base de aplicação. A retração evolui durante a pega e após o endurecimento das argamassas, em condições normais de exposição ao ar. A retração que ocorre com a argamassa ainda fresca é uma questão de contração volumétrica do material pela saída da

água de mistura. Na argamassa endurecida, após a saída da água livre presente nos vazios capilares, a retração é provocada pela perda da água adsorvida, isto é, perda da água que está fisicamente aderida à parede dos vazios capilares da pasta (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A argamassa endurecida, exposta a um ambiente com umidade relativa baixa, tende a perder água para o ambiente e se contrair, devido à tendência de aproximação das paredes dos poros capilares quando da saída da água, com a consequente contração volumétrica do elemento endurecido. Este fenômeno é conhecido como retração hidráulica (ou retração por secagem) (CINCOTTO et al., 1995).

Permeabilidade

A permeabilidade à água é uma propriedade que está relacionada com a função de estanqueidade da parede, que ganha bastante importância quando se trata de revestimentos de fachada. A umidade infiltrada pelas paredes poderá causar problemas que comprometem a saúde dos usuários e a estética do edifício, além de estar associada a manifestações patológicas como eflorescências, descolamentos e manchas de bolor e mofo (CARASEK, 2007).

A granulometria do agregado, a natureza e o teor do aglomerante exercem particular influência sobre a permeabilidade. De modo geral, as argamassas de cimento são menos permeáveis, diminuindo com o aumento do teor de cimento. É diretamente proporcional à relação água/aglomerante(s) e inversamente proporcional à resistência da pasta aglomerante (CINCOTTO et al., 1995).

Durabilidade

A durabilidade do revestimento está vinculada às suas propriedades, à ação dos agentes degradantes, às condições de exposição que determinam tal ação e às decisões tomadas ao longo do processo de produção, ao uso e à manutenção da edificação e do revestimento (CINCOTTO et al., 1995).

2.3 Adição de cinzas em argamassas

Ultimamente, têm-se estudado a utilização dos resíduos gerados na indústria madeireira, resíduos da atividade agrícola, como bagaço de cana, palha de arroz e de trigo, bem como o mesocarpo de babaçu. Deve-se ressaltar, entretanto, que a maioria dos trabalhos relacionados com essa última matéria-prima trata da aplicação energética desses resíduos (LIMA et al., 2007).

Para Kawabata (2008) a importância do aproveitamento de resíduos na indústria da construção reflete-se na possibilidade de desenvolvimento de materiais de baixo custo, através de subprodutos disponíveis, contribuindo para sustentabilidade, pois reduz o consumo de recursos naturais além de contribuir para a redução de depósitos destes subprodutos ou resíduos, que podem causar impacto ambiental.

Segundo ABNT 12653:2012 as pozolanas podem ser naturais, artificiais, calcinadas, cinzas volantes e outros materiais. As pozolanas naturais são, em geral, materiais de origem vulcânica, geralmente de caráter petrográfico ácido ($\text{SiO}_2 \geq 65\%$) ou de origem sedimentar com atividade pozolânica. Já as pozolanas artificiais, são materiais resultantes de processos industriais ou provenientes de tratamento térmico que lhe conferem a capacidade de apresentar atividade pozolânica. Pozolanas calcinadas são materiais provenientes da calcinação de certas argilas submetidas a elevadas temperaturas entre 500°C e 900°C, de modo a garantir a sua reatividade com o hidróxido de cálcio. Cinzas volantes são resíduos finamente divididos que resultam da combustão de carvão mineral pulverizado ou granulado com atividade pozolânica. Outros materiais, tais como escórias siderúrgicas ácidas, cinza de resíduos vegetais, rejeito de carvão mineral são considerados materiais pozolânicos, no qual a cinza de casca de babaçu pode estar inserida.

2.3.1 Classificação das adições minerais

(RILEM, 1991) classificou as adições minerais segundo a sua composição química e mineralógica como:

- Cimentante – Escória Granulada de Alto Forno - O material não processado tem dimensão similar a areia. Para uso deve ser moído até

partículas menores que 45 μm . É composto na maior parte por silicatos vítreos contendo cálcio, magnésio, alumínio e sílica.

- Cimentante e pozolânico – Cinzas volantes “Fly ash” – São cinzas obtidas na queima do carvão mineral, e possuem um alto teor de cálcio ($>10\%$). Apresentam pequena quantidade de material cristalino. As partículas de cinza volante são esféricas, apresentando-se em pequenas quantidades como esferas ocas vazias, ou preenchidas com outras micro-esferas. Seu diâmetro varia entre 1 μm a 150 μm , sendo a maior parte maior que 45 μm com uma superfície específica da ordem de 2.000 a 8.000 cm^2/g .
- Pozolanas altamente reativas – Sílica Ativa – cinza de casca de arroz e metacaulim. A sílica ativa é um subproduto resultante do processo de fabricação do ferro silício e silício metálico. A distribuição dos tamanhos das partículas de sílica apresenta a maior parte com dimensões inferiores a 1 μm . Consistem essencialmente de sílica pura na forma amorfa (não cristalina). A cinza da casca de arroz é o material resultante da combustão de casca de arroz, geralmente usada pelas indústrias beneficiadoras de arroz como fonte calorífica na geração de calor e vapor, necessários nos processos de secagem e barborização dos grãos. São pós extremamente finos consistindo de esferas sólidas de 0,1 μm de diâmetro médio e área específica de 200.000 cm^2/g . O metacaulim é uma adição mineral aluminossilicosa, obtida da calcinação de alguns tipos de argilas cauliníticas a entre 600°C e 900°C.
- Pozolanas comuns – Cinza volante com baixo teor de cálcio – Na maior parte são silicatos vítreos contendo alumínio, ferro e álcalis. A pequena quantidade de matéria cristalina geralmente consiste em quartzo, mulita, simanita, hematita e magnetita. Apresenta entre 15 a 30% de partículas maiores que 45 μm .

2.3.2 Cinzas agroindustriais

Em geral, as cinzas produzidas pela queima de biomassa, como as cinzas agroindustriais. São ricas em sílica (SiO_2) e se a queima ocorrer em condições controladas, até 600°C, o material moído é fortemente pozolânico (TAYLOR, 1997).

Já Martirena *et al.* (2006) destaca temperatura máxima de 700°C com tempo de permanência mínima nessa temperatura de duas horas.

Para que um material rico em sílica tenha atividade pozolânica é necessário que grande parte dessa sílica seja amorfa e assim tenha alta reatividade. Nas sílicas cristalinas, apesar da composição química ser a mesma da sílica amorfa, sua estrutura é bem definida e, conseqüentemente, são estáveis. O fato de uma cinza ser ou não pozolânica está relacionada com a temperatura de queima, com o tempo de queima, bem como com a granulometria do produto final (MARTIRENA, 2006).

Cinza de casca de arroz - CCA

Uma vez obtida de forma adequada a cinza da casca de arroz apresenta em torno de 90% de sílica reativa que, quando finamente moída e em presença de umidade e hidróxido de cálcio, propicia grande perspectiva de que seu uso melhora as propriedades do concreto endurecido (ABREU et al., 1999).

Segundo Metha e Monteiro (2008) a cinza de casca de arroz formada durante a queima a céu aberto ou pela combustão não controlada em fornos industriais, geralmente contém uma grande proporção de minerais de sílica não reativos com a cristobalita e a tridimita, e deve ser moída a tamanhos de partículas muito finas de modo a desenvolver atividade pozolânica. Por outro lado, uma cinza altamente pozolânica pode ser produzida pela combustão controlada quando a sílica é mantida na forma não cristaliza e em estrutura celular.

Cinza do Bagaço de Cana - CBC

Segundo Cordeiro (2009) a CBC tem sido estudada no Brasil há alguns anos, sua aplicação como pozolana pode ser na forma natural, passar por um tratamento prévio ou até mesmo ser produzida sob controle de temperatura e tempo, passando posteriormente por uma moagem. De acordo com as condições de queima adotadas, é possível manter a sílica contida no bagaço em estado amorfo.

Freitas (2005) estudou a resistência mecânica de argamassas com teores de 0, 5, 10, 15 e 20% de substituição do cimento Portland pela CBC de duas usinas. A CBC foi dividida em dois lotes, sendo o primeiro submetido a temperatura de 600°C por 5h, e o outro lote a temperatura de 600°C por 5h além de moagens por períodos de 30 min, 1 h, 2 h, 3 h e 4 h. Foram confeccionados corpos-de-prova para cada porcentagem de substituição e cada idade de ruptura (7, 14 e 28 dias). Os materiais

utilizados foram: cimento Portland CII E-32; cinza residual do bagaço de cana (CBC); areia natural lavada; e água proveniente da rede pública. Para os diversos ensaios foi utilizada a fração do material passante na peneira de abertura 0,075 mm (#200).

A alteração da granulometria pelos diversos tempos de moagem produziram diferenças significativas nas resistências mecânicas das argamassas. Esta alteração na granulometria da CBC proporcionou uma maior superfície de contato dos grãos de CBC, aumentando, assim, a reatividade do material e também favoreceu o efeito filer ocasionado pelo quartzo moído (FREITAS, 2005).

A pesquisa de Paula (2006) consistiu em estudar as CBC produzidas dentro de controles de temperatura e tempo de queima utilizando-se uma mufla com controlador, cujo objetivo foi homogeneização da amostra, redução considerável na quantidade de carbono e aumento da quantidade de sílica amorfa. A CBC passou por 11 horas de moagem. Após a moagem, foram coletadas seis amostras da cinza as quais foram levadas a uma estufa, onde foram secas durante 24 horas a 70°C. O teor de umidade médio das cinzas foi igual a 1,45%. Após preparadas as CBC prosseguiu-se os ensaios de resistência à compressão nas idades de 7 e 28 dias, com substituições de cimento pela CBC em 0%, 10%, 20% e 30%. Foram utilizados: cimento CPV ARI PLUS; areia normal em frações individuais: 1,2 mm (peneiras 16); 0,6 mm (peneira 30); 0,3 mm (peneira 50); e 0,15 mm (peneira 100); e água.

Verificou-se que o ganho de resistência inicial foi maior aos 7 dias, devido ao tipo de cimento utilizado que atingir altas resistências nos primeiros dias da aplicação. Os ensaios de compressão das argamassas com teores de CBC entre 0 e 30%, aos 7 e 28 dias, indicaram a possibilidade de substituição de até 20% do cimento pela CBC, sem prejuízo da resistência (PAULA, 2006).

Cinzas de lenha - CL

Borlini et al. (2005) estudaram as cinzas de lenha de eucalipto através de ensaios de fluorescência de Raios-X, difração de Raios-X, distribuição de tamanho de partícula, análise térmica (ATD/TG) e microscopia eletrônica de varredura. Os resultados mostram que a cinza da lenha se apresenta como um aglomerado de partículas de forma arredondada bastante poroso em sua estrutura, sendo constituída principalmente por Ca, Si, Mg, K, S, P e Al.

A concentração de cálcio foi de 32,5% do peso da amostra, sendo composta predominantemente por carbonato de cálcio. Essa propriedade alcalina é extremamente importante para a manutenção dos materiais cimentícios (BORLINI *et al.*, 2005)

Cueah e Ramli (2012) analisaram argamassas com substituição parcial do cimento por cinzas de madeira com alto teor de cálcio em percentuais de 5, 10, 15, 20 e 25% de substituição em relação à massa de cimento, mantendo constante a proporção de água. Verificaram que no estado fresco não houve alteração na trabalhabilidade e que na substituição de 15% obteve-se maior resistência à compressão aos 90 dias.

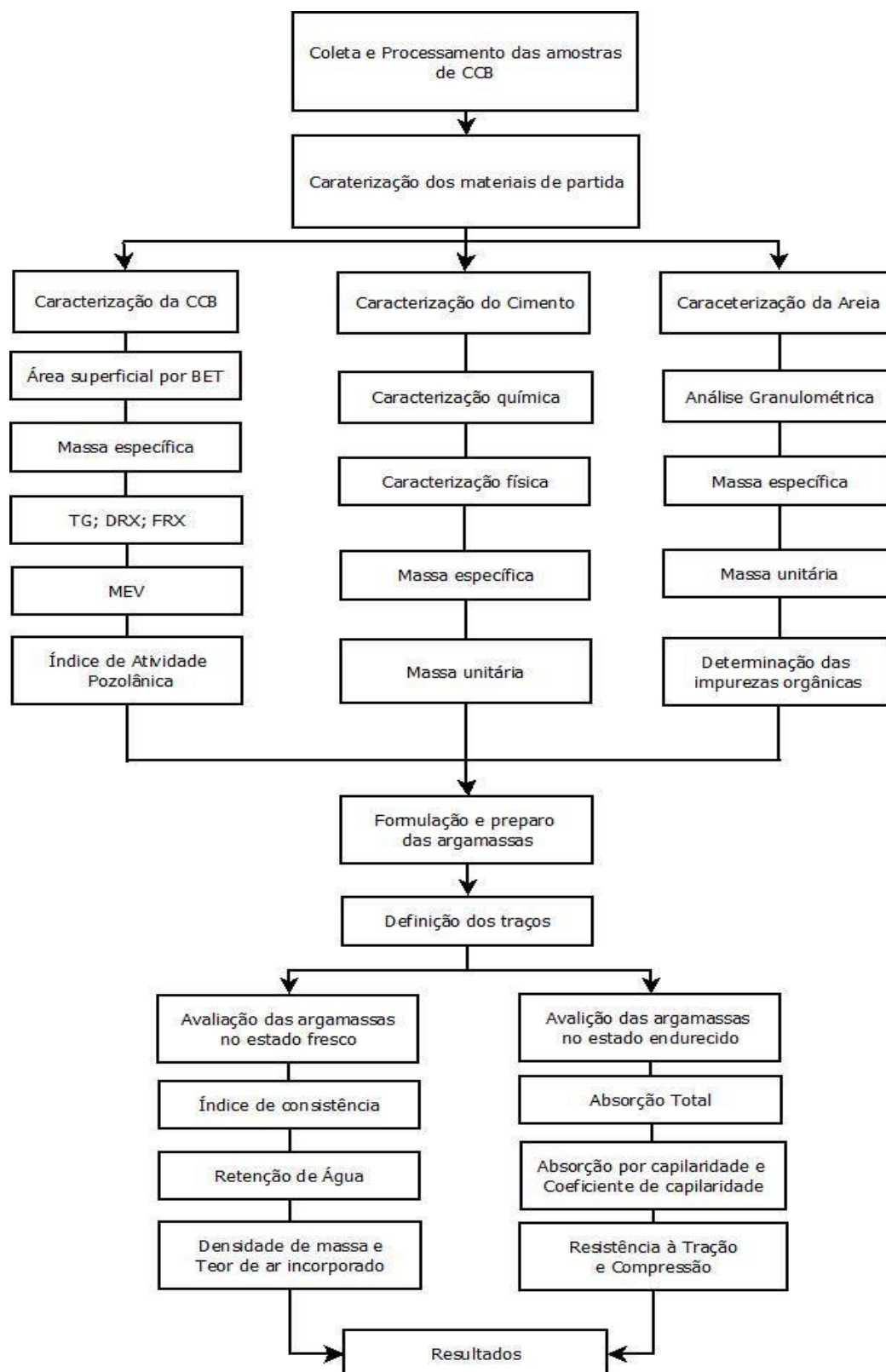
Cinza da Casca do Coco da Palma

Tay & Show (1996) investigaram cinzas do coco da produção de dendê e do cacho da mesma planta. Os autores indicaram que a cinza da casca do coco e do cacho do dendê podem substituir, parcialmente, o cimento Portland em até 10% de massa. Nesta pesquisa o tempo de pega, a consistência e a trabalhabilidade se mantiveram constantes e não foi observada segregação dos materiais.

3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

A metodologia experimental foi esquematizada de acordo com o diagrama de blocos da Figura 4 .

Figura 4 – Metodologia experimental esquematizada em diagrama de blocos.



Fonte: A autora, 2014.

3.1 Coleta e processamento das cinzas de coco Babaçu

O local da coleta das cinzas de coco Babaçu se deu no município do Crato – CE, importante produtor cerâmico, com mais de 15 indústrias cerâmicas instaladas e em funcionamento. A maioria destas indústrias utiliza em sua matriz energética uma mistura de lenha e coco de babaçu, devido à ausência de um sistema permanente de coleta/venda de babaçu. Contudo, a indústria cerâmica Cristal, apresenta como matriz energética apenas o coco babaçu, que em sua queima, pode atingir até 900°C. O aspecto da montanha de coco babaçu armazenada para uso na cerâmica Cristal pode ser visualizado na Figura 5.

Esta queima gera uma quantidade significativa de cinza de coco babaçu que ainda não apresenta um reuso e/ou utilidade. A cinza é coletada diretamente dos fornos após seu resfriamento.

Figura 5 – Cocos babaçus para utilização nos fornos da Cerâmica Cristal, Crato – CE.



Fonte: Foto da autora, 2013.

Após a coleta do resíduo na fonte geradora o material foi peneirado utilizando uma série normal de peneiras e peneirador eletromagnético (Figura 6) a fim de verificar a granulometria e homogeneidade da amostra.

Figura 6 – Tratamento do cinza de coco babaçu através de peneiramento.



Fonte: Foto da autora, 2013.

Para avaliação do índice de atividade pozolânica, seja pelo ensaio de Chapelle modificado, seja pelo emprego da NBR 5752 (2013) as cinzas foram pré- tratadas, conforme classificação exposta na Tabela 1. A amostra A-1 refere-se à cinza tal qual foi coletada na indústria, apenas sendo retirado resíduos grosseiros, como resto de carvão e sujidades adversas. A amostra A-2 se refere a cinza moída. A amostra A-3 moída e queimada a 700°C durante 3 horas. A amostra A-4 refere-se a cinza queimada a 700°C durante 3 horas, após moagem.

Tabela 1 – Pré-tratamentos aplicados as cinzas e denominações.

<u>Amostras</u>	<u>Descrição</u>
A-1	Cinza tal qual coletada
A-2	Cinza moída
A-3	Cinza queimada
A-4	Cinza queimada e moída

Fonte: A autora, 2014.

As amostras foram queimadas em mufla a temperatura de 700°C por um período de 3h, 6h e 24h, até se verificar que 3h eram suficientes para garantir mesma reatividade via ensaio de Chapelle modificado, sendo esse tempo adotado como padrão para todas as amostras.

Com relação às condições de moagem, as amostras foram moídas em moinho de alta energia de esferas planetário da Retsch PM100. Foram utilizadas 16 bolas (Φ 30 mm) durante 5 minutos a 500 rpm em jarra de 500 ml.

3.2 Dosagem

O traço utilizado no estudo foi 1:x:3 (cimento: cinza: areia), em massa, traço comumente usado em estudos envolvendo argamassas. Por se tratar de um traço com alto consumo de cimento, evita-se, também, a perda de corpos-de-prova durante a desmoldagem no laboratório, bem como se minimiza os desvios-padrões relacionados às medidas mecânicas.

Em busca do melhor entendimento dos fenômenos presentes na substituição de cimento Portland por cinza de coco babaçu, substituiu-se em porcentagem de 10%, valor máximo de substituição respeitando o intervalo do índice de consistência da argamassa preconizado conforme norma 13276:2005 - (260 ± 5) mm.

Nessa situação, a quantidade de água da argamassa padrão foi encontrada para um índice de consistência próximo à 265 mm, sendo de 385 ml. Com a água constante, as cinzas foram adicionadas até que esse índice não ultrapassasse o patamar dos 255 mm, uma vez que já se esperava a perda da consistência em função da alta área superficial das cinzas.

A título de comparação, argamassas com adição 10% de cinza também foram moldadas, mantendo a mesma quantidade de água. Neste último caso, a alteração no índice de consistência foi observada.

A quantidade em massa de cimento, areia e água para a elaboração dos três traços estudados, encontra-se exposta na Tabela 2.

Tabela 2 - Traços em massa para o preparo de 2,5 kg de argamassa.

Amostras	Cimento (g)	Cinza(g)	Areia (g)	Água (g)
Referência	625	0	1875	385
10% cinza em adição	625	62,5	1875	385
10% cinza em substituição	562,5	62,5	1875	385

Fonte: A autora, 2014.

3.3 Caracterização dos materiais de partida

3.3.1 Cimento Portland

O cimento utilizado foi o CP II F 32 Cimpopor, da empresa InterCement do grupo Camargo Correa. A escolha do emprego do CP II F 32 baseou-se na necessidade de entender com fidelidade a influência da cinza como possível pozolana, uma vez que este cimento é isento de qualquer tipo de aditivo pozolânico. A média de três massas específicas encontrada para o cimento CP II – F – 32 pela NBR NM 23:2001 foi de 3,13 g/cm³, corroborando com a fornecida pelo fabricante via Boletim Técnico. A área superficial específica do cimento foi de 3.630 cm²/g.

As características físicas e químicas do cimento utilizado foram fornecidas pelo fabricante e encontram-se compiladas nas Tabela 3 e Tabela 4, respectivamente.

Tabela 3 - Características químicas do cimento.

Características químicas	Resultado (%)
Perda ao fogo	5,12
Resíduo Insolúvel	2,95
SiO ₂	18,67
Al ₂ O ₃	5,03
Fe ₂ O ₃	2,53
CaO	60,96
MgO	1,92
SO ₃	1,84
Óxido de Cálcio Livre (CaO livre)	1,44
K ₂ O	1,25

Fonte: Boletim técnico fornecido pelo fabricante (2013).

Tabela 4 - Características físicas do cimento.

Características físicas	Unidade	Resultado
Massa específica	g/cm ³	3,11
Área específica	m ² /kg	3.990
Início de pega	h:min	2:24
Fim de pega	h:min	3.40
Resistência à compressão 1 dia	Mpa	20,8
Resistência à compressão 3 dias	Mpa	26,7
Resistência à compressão 7 dias	Mpa	30,8
Resistência à compressão 28 dias	Mpa	37,9

Fonte: Boletim técnico fornecido pelo fabricante (2013).

3.3.2 Areia

Utilizou-se areia lavada de rio, comumente encontrada nas regiões brasileiras, devidamente caracterizada por: granulometria, massa específica e matéria orgânica.

A composição granulométrica foi determinada de acordo com a ABNT NBR NM 248:2003. Para realização deste ensaio foi utilizada a série normal de peneiras com as aberturas de malha a seguir: 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 600 μm , 300 μm e 150 μm . Duas amostras de areia de 300 g, secas em estufas a 105°C e esfriadas à temperatura ambiente, foram peneiradas na série de peneiras selecionada com a ajuda de um agitador eletromagnético da marca Contenco durante 15 minutos com 100% da agitação permitida pelo equipamento. A curva granulométrica da areia encontra-se exposta comparativamente à curva da CCB no item 4.1.4.

A massa específica foi 2,6 g/cm³, determinada segundo os métodos descritos na ABNT NBR NM 52 (2009).

A determinação das impurezas orgânicas da areia foi realizada de acordo com a NBR NM 49 (2001). A quantidade de impurezas orgânicas determinada na areia não inviabilizou seu uso em argamassas, pelo método do índice de cor, com soluções filtradas (após contato com a areia) mais claras que a padrão.

A média de três massas específicas encontrada para a areia foi 2,6 g/cm³.

3.3.3 Água de amassamento

A água de amassamento utilizada foi proveniente da rede pública de abastecimento, fornecida pela COMPESA. Nenhum pré-tratamento foi realizado.

3.4 Caracterização físico-química e microestrutural da cinza de coco Babaçu

A caracterização físico-química da cinza de coco Babaçu consistiu na determinação dos parâmetros: área superficial, massa específica, difração de raio-X, fluorescência de raio-X, microscopia eletrônica de varredura, granulometria a laser e análise do índice de pozolanicidade (Chapelle Modificado e NBR 5752:2013).

3.4.1 Área superficial

O ensaio de BET (Braunauer, Emmet e Teller), usado para medição da área superficial específica, baseia-se na adsorção física e dessorção de gás na superfície da amostra sólida. O ensaio foi realizado em um equipamento Micromeritics, modelo ASAP 2020.

Inicialmente 0.2 g de amostra foram aquecidas até 90°C a 10°C/min durante 2 horas. Então, a temperatura foi elevada para 350°C, na mesma razão de aquecimento, permanecendo nesta temperatura por 3 horas.

Durante a análise, o porta amostra contendo a amostra é mergulhado N₂ líquido (-196°C) e vinte pontos de medidas são obtidos. Em média esta etapa dura de 4 a 5 horas.

3.4.2 Massa específica

A massa específica das cinzas foi realizada conforme preconiza NBR NM 23. O frasco de Le Chatelier foi preenchido com querosene até a marca correspondente a 0 cm³. Após o colo do frasco volumétrico ter sido secado na parte acima do nível do líquido com papel absorvente, o frasco foi submerso em banho termorregulador até obter o equilíbrio térmico, e a leitura inicial (Vi) foi anotada. Em seguida, a amostra foi introduzida no frasco através de um funil de haste longa. Foram necessários 60g de cada material. Após promover a retirada de bolhas de ar, o frasco foi submerso no banho termorregulador até que fosse atingido o equilíbrio. Por fim, foi anotado a leitura final (Vf).

A massa específica foi encontrada a partir da divisão da massa do material ensaiado (em gramas) pelo volume, em centímetros cúbicos, deslocado por esta massa.

3.4.3 Avaliação do índice de atividade pozolânica

Para a avaliação do índice de atividade pozolânica usou-se 2 métodos: NBR 15895:2010 ou Chapelle Modificado e a norma ABNT NBR 5752 de pozolanicidade com cimento.

Ensaio de Chapelle Modificado

Para análise da atividade pozolânica das cinzas foi empregada a metodologia preconizada pela NBR 15895:2010, método de Chapelle modificado, que avalia a atividade pozolânica de um material pelo teor de hidróxido de cálcio fixado utilizado as seguintes etapas:

- pesou-se um grama das cinzas peneiradas em peneira de malha 200 e um grama de óxido de cálcio utilizando uma balança semi-analítica;
- ambos foram colocados em um Erlenmeyer plástico de 500 ml vazio dotado de tampa plástica com rosca;
- adicionou-se 250 ml de água isenta de CO₂ no Erlenmeyer, sendo o mesmo fechado e colocado em banho-maria com agitação a 90 ± 5 °C por 16 horas.
- após esse tempo, o conjunto foi resfriado em água corrente até a temperatura ambiente;
- o Erlenmeyer foi, então, aberto e adicionou-se 250 ml de solução de sacarose a 240g/L e o conjunto agitado;
- a solução foi filtrada e titulada com solução padronizada de HCl 0,1 M, usando solução de fenoftaleína (1 g/L) como indicador.

O índice de atividade pozolânica Chapelle é dado pela Equação 1 e corresponde ao teor de hidróxido de cálcio fixado.

$$I_{ca} = \frac{28(V_3 - V_2) \cdot F_c}{M_2} \cdot 1,32 \quad \text{Equação 1}$$

Na qual:

- I_{ca} = índice de atividade pozolânica Chapelle;
- M_2 = massa de material pozolânico (g);
- V_2 = volume de HCl 0,1 M consumido no ensaio com a amostra;
- V_3 = volume de HCl 0,1 M consumido no ensaio com padrão;
- F_c = fator de correção do HCl para concentração de 0,1 M.

ABNT NBR 5752

Este ensaio determina o índice de atividade pozolânica de uma adição mineral em argamassas de cimento Portland. Este índice é definido pela relação entre as resistências à compressão de uma argamassa com 65% de cimento e 35% de pozolana, e a de uma argamassa de cimento (referência).

Foram preparadas cinco argamassas com CCB processadas e uma argamassa de referência, listadas na Tabela 5:

Tabela 5 - Argamassas preparadas para ensaio de Pozolanidade NBR 5752:2005.

Amostras	Descrição
Argamassa A-1	Cinza tal qual coletada
Argamassa A-2	Cinza moída
Argamassa A-3	Cinza queimada
Argamassa A-4	Cinza queimada e moída
Argamassa R	Referência (sem cinza)

Fonte: A autora, 2014.

O índice de atividade pozolânica com cimento é calculado pela relação entre a resistência à compressão da argamassa com pozolana (X) e da argamassa de referência (Y), descrita pela Equação 2.

$$IAP_{\%} = \frac{X}{Y} \times 100$$

Equação 2

Na qual:

- $IAP_{\%}$: Índice de Atividade Pozolânica
- F_{cp} : resistência à compressão média, aos 28 dias, de três corpos-de-prova (CPs) moldados com cimento Portland e material pozolânico argamassa X;
- f_{cc} - resistência à compressão média, aos 28 dias, de três corpos-de-prova moldados somente com cimento Portland como material cimentício – argamassa Y.

Os processamentos realizados nas cinzas de coco Babaçu - CCB são os comumente utilizados para garantir as características pozolânicas dos materiais,

como moagem e queima. A Figura 7 mostra os aspectos visuais das modificações da CCB pelos processamentos impostos.

Figura 7 – Aspectos visuais da cinza moída (A2) e da cinza tal qual recebida da indústria (A1)



Fonte: A autora, 2013.

A argamassa X deve ter substituição de 35% do volume de cimento por material pozolânico, neste caso a CBC, no traço 1:3 (cimento + pozolana:areia normal), em massa. A argamassa Y deve conter somente cimento Portland, no traço 1:3 (cimento:areia normal), em massa. A mistura dos materiais e a moldagem dos corpos-de-prova são feitas seguindo a NBR 7215 (ABNT, 1996) conforme Figura 8. Para cada tempo de moagem são moldados três corpos-de-prova cilíndricos cujas dimensões são 5x10 cm, de acordo com a composição descrita na Tabela 6.

Tabela 6– Composição das argamassas para ensaio NBR 5752:2013

Identificação das argamassas	Massa dos materiais (g)			
	CP II-F-32	Areia	Pozolana	Água ⁽¹⁾
Cimento - CP II-F-32	312,0	936,0	-	185,0
Amostra A-1	202,8	936,0	86,0	194,0
Amostra A-2	202,8	936,0	85,2	190,0
Amostra A-3	202,8	936,0	84,2	193,0
Amostra A-4	202,8	936,0	89,5	186,0

(1) Quantidade de água necessária para produzir argamassas com índice de consistência de (225 ± 5) mm, determinada de acordo com a NBR 7215

Figura 8 – Corpos de prova cilíndricos moldados de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1996).



Fonte: A autora, 2013.

Nas primeiras 24 horas de cura, os corpos-de-prova são mantidos nas formas em câmara úmida, sendo desmoldados após este período e colocados em recipientes hermeticamente fechados e estanques à temperatura de $38 \pm 2^{\circ}\text{C}$, em câmara úmida quente, durante 27 dias.

Figura 9 – Corpos de prova cilíndricos curados em câmara úmida.



Fonte: da autora, 2013.

Aos 28 dias de idade os corpos-de-prova são resfriados à temperatura ambiente, capeados com enxofre e ensaiados à compressão.

A opção pela utilização de cimento Portland, ao invés da cal, no ensaio de pozolanicidade é mais realista, embora os resultados sejam influenciados pelas características físicas e mineralógicas do cimento empregado, fato que dificulta a avaliação da qualidade potencial da pozolana. Entretanto, o método tem sido adequado para averiguar a compatibilidade da pozolana estudada com um determinado tipo de cimento, neste estudo o cimento Portland CP II F 32 (item 3.3.1) (ZAMPERINE, 1989).

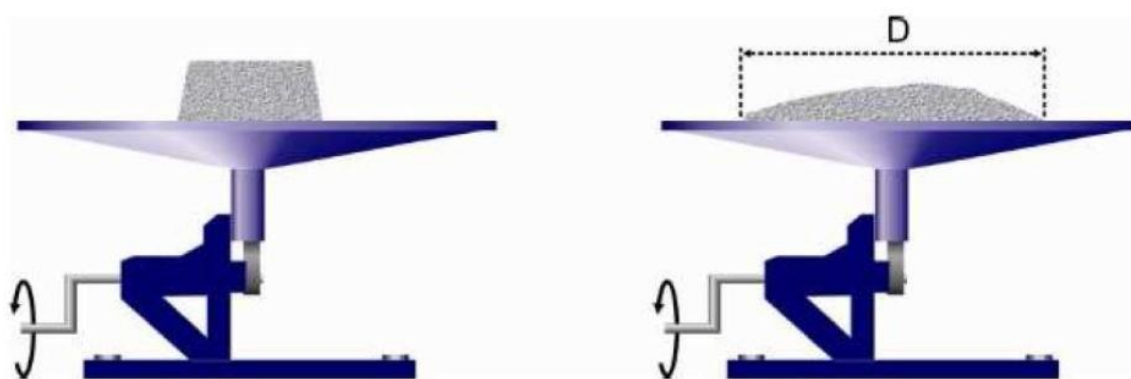
3.5 Ensaio argamassas estado fresco

3.5.1 *Índice de consistência*

O índice de consistência foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 13276:2005, utilizando-se mesa para índice de consistência conforme recomenda a norma ABNT NBR 7215:1996.

A argamassa foi preparada juntando-se os materiais anidros à água em misturador mecânico. Depois da homogeneização em baixa velocidade por 90 segundos, a mistura foi deixada em repouso por 15 min, quando então se faz uso de uma espátula. Em seguida a argamassa é vertida em molde tronco-cônico em 3 camadas sucessivas seguidas de 15, 10 e 5 golpes com soquete, respectivamente. Após o rasamento, o molde é locado de modo centralizado na mesa para índice de consistência e sua manivela acionada de modo que a mesa sofra 30 quedas em 30 segundos. O índice de consistência é a média das medidas de três diâmetros do espalhamento da argamassa sobre a mesa conforme Figura 10 e Figura 11.

Figura 10 – Esquema do ensaio de determinação do índice de consistência, para determinação do espalhamento



"D" mesa de consistência *flow table*.
Fonte: (SILVA, 2006)

Figura 11 – Ensaio de determinação do índice de consistência, para determinação do espalhamento "D" mesa de consistência *flow table*



Fonte: A autora (2013).

3.5.2 Retenção de água

O ensaio de retenção de água foi realizado conforme a norma técnica NBR 13277 (2005) em duplicata.

O ensaio consiste em pesar o funil de Buchner preparado com papel filtro umedecido para receber a argamassa, que é introduzida no funil, compactada com soquete e rasada com régua metálica para eliminação do excesso. Em seguida, ocorre a pesagem e as amostras foram submetidas a uma sucção correspondente à coluna de 51 mm de mercúrio durante 15 minutos e, então, as amostras são pesadas, concluindo o ensaio.

A retenção de água (R_a) foi calculada através da Equação 3, sendo o fator água/argamassa fresca calculada pela Equação 4.

Equação 3

Equação 4

Nas quais:

- m_a é a massa do conjunto com argamassa, em gramas
- m_s é a massa do conjunto após a sucção, em gramas
- m_v é a massa do conjunto vazio, em gramas
- AF é o fator água/ argamassa fresca
- m_w é a massa total de água acrescentada à mistura, em gramas

m é a massa de argamassa é a soma das massas dos componentes anidros, em gramas

3.5.3 Densidade de massa e teor de ar incorporado

A determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado na argamassa foi realizada baseando-se no método gravimétrico, segundo a norma

técnica NBR 13278 (2005), em duplicata. O procedimento consiste em introduzir argamassa fresca num recipiente de peso e volume conhecidos, adensá-la, rasá-la e pesá-la.

A densidade de massa, expressa em kg/m^3 foi calculada de acordo com a Equação 5.

.

Equação 5

Na qual:

- é a massa do recipiente contendo a argamassa, em gramas;
- é a massa do recipiente vazio, em gramas;
- é o volume do recipiente, em centímetros cúbicos

O cálculo do teor de ar incorporado (A), expresso em porcentagem, foi feito de acordo com a equação (10).

3.6 Moldagem e cura dos corpos-de-prova

As argamassas utilizadas no experimento foram produzidas e moldadas seguindo os critérios estabelecidos pela norma NBR 13276 (2002), em argamassadeira eletro-mecânica de eixo vertical da marca Contenco, com capacidade para 5 litros, na rotação de 830 rpm. As cinzas foram pré-homogeneizadas com o cimento em mistura em saco plástico.

As bateladas foram produzidas utilizando-se 2,5 kg de material seco para todas as análises, exceto para a análise de resistência de aderência à tração preconizada pela NBR 15258 (2005), onde foram utilizados 6 kg.

Os corpos de prova foram moldados em moldes prismáticos metálicos de 4 cm x 4 cm x 16 cm de acordo com a ABNT NBR 13279:2005, conforme Figura 12 e Figura 13. Os moldes foram untados com óleo mineral e em seguida preenchidos com argamassa, em duas camadas, cada uma delas seguida de 30 golpes na mesa de adensamento, e rasados com régua metálica a um ângulo de 45°.

Figura 12 – Moldagem de corpos de prova prismáticos em forma metálica de 4 cm x 4 cm x 16 cm de acordo com a ABNT NBR 13279:2005.



Fonte: A autora (2013).

Figura 13 – Corpo de prova prismático de 4 cm x 4 cm x 16 cm de acordo com a ABNT NBR 13279:2005



Fonte: da autora (2013).

Para cada argamassa foram preparados 10 corpos de prova, conforme Figura 14, onde 7 deles foram destinados ao ensaio de flexão e compressão e 3 ao ensaio de absorção total e capilar.

Figura 14 – Corpos de prova prismáticos de 4 cm x 4 cm x 16 cm de acordo com a ABNT NBR 13279:2005.



Fonte: A autora (2013).

Também foram moldados corpos de prova cilíndricos para apreciação da atividade pozolânica pela ABNT NBR 5752:2012, conforme descrito no item 3.4.3.2

A cura dos corpos de prova prismáticos se deu em caixas poliméricas fechadas e lâmina d'água em sala climatizada, de forma a manter a temperatura, conforme ABNT NBR 13279:2005, conforme Figura 15. Os procedimentos de cura dos corpos de prova cilíndricos também se encontram descritos nos item 3.4.3.2.

Figura 15 – Cura térmica dos corpos de prova em caixas poliméricas



Fonte: da autora, 2013.

3.7 Ensaios argamassas estado endurecido

3.7.1 Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade

Foi utilizada norma NBR 15259:2005 para determinação dessa propriedade nas argamassas estudadas.

Os corpos-de-prova, ensaiados após os 28 dias de cura, tiveram suas massas aferidas e uma de suas superfícies lixadas com lixa d'água de grão 80. Em seguida, foram colocados em contato com uma chapa metálica, em um recipiente com água cujo nível da água foi fixado em 5,6 mm em relação à face tratada do corpo-de-prova.

Após o período de 10 e 90 minutos as massas foram novamente aferidas e a absorção da água.

A absorção de água (A_t), expressa em gramas por centímetro quadrado, foi calculada para cada tempo através da Equação 6.

$$\text{Equação 6}$$

Na qual:

- m_t é a massa do corpo de prova em cada tempo em gramas
- m_0 é a massa inicial do corpo de prova em gramas
- t corresponde aos tempos de 10 min e 90 min, em segundos
- 16 é a área transversal do corpo de prova em centímetros quadrado

O coeficiente de capilaridade definido pela NBR 15259 (2005) é expresso em g/dm². e é determinado pela Equação 7.

$$C = \frac{m_{90} - m_{10}}{16} \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

M_{10} – massa do corpo de prova após 10 minutos de absorção; M_{90} – massa do corpo de prova após 90 minutos de absorção.

3.7.2 Resistência à Tração e Compressão

Os quatro corpos de prova, confeccionados em moldes prismáticos, foram ensaiados á flexão e a compressão, após 28 dias de cura, conforme preconiza a norma da ABNT NBR 13279:2005.

Os copos de prova foram disposto de modo que a face rasada estivesse perpendicular ao sentido da aplicação da carga.

A resistência à tração (R_f), expressa em megapascal, foi calculada seguindo a Equação 8.

Equação 8

Na qual:

- F_f é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em newtons;
- L é a distância entre os suportes, em milímetros.

A resistência à compressão axial (R_c), expressa em megapascal, foi determinada utilizando-se as duas metades dos corpos-de-prova do ensaio de flexão de modo que a face rasada ficasse também perpendicular ao sentido da carga aplicada. A resistência à compressão foi calculada de acordo com a Equação 9.

Equação 9

Na qual:

- F_c é a carga máxima aplicada, em newtons;
- 1600 é a área da seção quadrada do dispositivo de carga, em milímetros quadrado.

A primeira série de corpos de prova foi rompida em prensa hidráulica manual da marca Solotest de referência 1509230. A segunda e a terceira série de corpos de prova foram rompidos em prensa universal da marca Shimadzu, modelo Autograph AG-X 300KN.

3.7.3 Resistência de aderência à tração

A ABNT regulamenta a determinação da resistência à tração de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas através de duas normas, a NBR 15258 (2005) e a NBR 13528 (2010) intituladas, respectivamente, “Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto - Determinação da resistência potencial de aderência à tração” e “Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto - Determinação da resistência de aderência à tração”.

O que diferencia a NBR 15258 (2005) da NBR 13528 (2010) é que na primeira a determinação é a resistência POTENCIAL de aderência à tração e na segunda, é determinada a resistência de aderência à tração em paramentos, tal qual em uma alvenaria da obra, Figura 16. Nesse sentido, o presente trabalho optou-se pela utilização da NBR 13528 (2010) em detrimento da NBR 15258 (2005) para a determinação da resistência aderência à tração, uma vez que este ensaio é largamente utilizado no controle tecnológico do desempenho de revestimentos de argamassa.

Figura 16 – Preparação da parede com argamassa para o ensaio de aderência à tração.



Fonte: figura da autora, 2013.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização das CCB

4.1.1 Área superficial específica

As áreas superficiais específicas do cimento e das cinzas sob diferentes tratamentos encontram-se expostas na Tabela 7. Com relação à área específica, os resultados mostram que as CCB's tal qual coletada na indústria (AMOSTRA A-1) possuem uma área específica cerca de 2,3 maior do que a do aglomerante, o que é positivo do ponto de vista de reatividade dessas CCB's.

No entanto, houve redução nas áreas específicas após moagem, tanto na amostra tal qual coletada como queimada. Acredita-se que o emprego de moinho de alta energia tenha aglomerado as partículas, não sendo indicado, portanto, para trabalhos com CCB's no tempo e condições de moagem empregados.

Há a necessidade em trabalhos futuros de ajustar esse tempo e condições de moagem. Torres & Shaeffer (2010) alertam que o tempo de moagem de alta energia tem grande efeito, tanto na forma, no tamanho e na homogeneidade dos aglomerados, como a alteração de morfologia das partículas e o seu refinamento, além da formação de aglomerados (TORRES; SHAEFFER, 2010).

Tabela 7 – Área superficial específica do cimento e cinzas sob diferentes tratamentos.

Identificação das amostras	Descrição	Área específica (cm ² /g)
Cimento – CP II-F-32	Cimento – CP II-F-32	3630
Amostra A-1	Cinza tal qual coletada	8400
Amostra A-2	Cinza moída	3680
Amostra A-3	Cinza queimada	6330
Amostra A-4	Cinza queimada e moída	2210

Fonte: A autora (2014).

4.1.2 Massa específica

As massas específicas do cimento e das cinzas sob diferentes tratamentos encontram-se expostas na Tabela 8. Os resultados encontrados mostram que as massas específicas das CCB's, mesmo com tratamento como queima e moagem,

são inferiores à massa específica do aglomerante cimento. Como a dosagem foi em massa, as menores massas específicas fazem com que volumes maiores de CCB sejam necessários para representar a mesma massa de cimento, como no caso do estudo envolvendo substituição de cimento por CCB em massa. Como a área superficial específica da CCB é também cerca de 3 vezes maior que a do cimento, é de se esperar que haja influência negativa em termos de consistência tanto no traço referente à adição, como no traço referente à substituição de cimento por CCB.

Tabela 8 – Massa específica do cimento e cinzas sob diferentes tratamentos.

Identificação das amostras	Descrição	Massa específica (g/cm ³)
Cimento – CP II-F-32	Cimento – CP II-F-32	3,13
Amostra A-1	Cinza tal qual coletada	2,44
Amostra A-2	Cinza moída	2,42
Amostra A-3	Cinza queimada	2,39
Amostra A-4	Cinza queimada e moída	2,54

Fonte: A autora (2014).

4.1.3 Resíduo na peneira de 45 µm

A Tabela 9 apresenta o resíduo retido na peneira de 45 µm para cimento e cinzas sob diferentes tratamentos. Verifica-se que a moagem de alta energia aumenta em cerca de 20 vezes a porcentagem de resíduo retido na peneira de 45 µm, o que ratifica a suposição de aglomeração das partículas. Comparando cimento e CCB's moídas, também se verifica que a cinza apresenta uma porcentagem de partículas com diâmetros inferiores a 45 µm superior ao cimento.

Tabela 9 – Resíduo retido na peneira de 45 µm para cimento e cinzas sob diferentes tratamentos.

Identificação das amostras	Descrição	Resíduo na peneira de 45 µm (%)
Cimento – CP II-F-32	Cimento – CP II-F-32	6,7
Amostra A-1	Cinza tal qual coletada	3,0
Amostra A-2	Cinza moída	66,4
Amostra A-3	Cinza queimada	3,5
Amostra A-4	Cinza queimada e moída	73,2

4.1.4 Curva granulométrica

A curva granulométrica das cinzas de CCB tal qual coletadas na indústria, comparativamente à curva da areia, encontra-se exposta na Figura 17.

A dimensão máxima característica da CCB e da areia foi 2,4 mm. Os módulos de finura foram distintos, sendo 2,22 para a areia e 2,91 para a CCB. A CCB tal qual coletada da indústria apresenta um módulo de finura maior que a da areia, com curvas granulométricas semelhantes. O módulo de finura de um agregado é maior quanto maior forem as partículas deste.

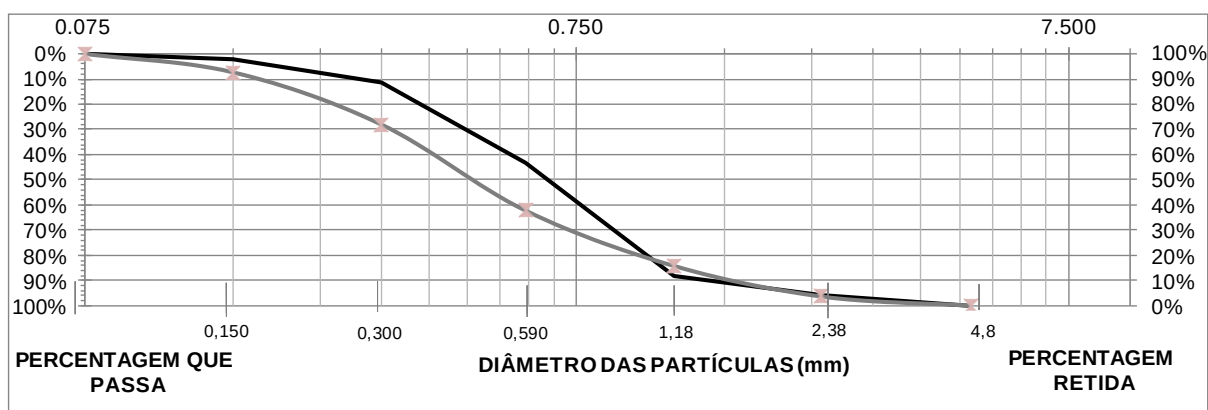


Figura 17 – Curva granulométrica da cinza de coco Babaçu tal qual coletada na indústria (CCB – curva de cor preta e AREIA – curva de cor cinza).

Fonte: A autora (2014).

4.1.5 Avaliação do índice de atividade pozolânica das CCB

Ensaio de Chapelle modificado (NBR 15895:2010)

Para análise da atividade pozolânica das cinzas de coco de Babaçu foi, inicialmente, a título qualitativo, empregada a metodologia preconizada pela NBR 15895 (2010), método de Chapelle modificado, que avalia a atividade pozolânica de um material pelo teor de hidróxido de cálcio fixado, conforme Figura 18.

Segundo Christófolli (2010) um material é considerado pozolânico quando no ensaio de Chapelle modificado apresenta consumo mínimo de 330 mg de CaO por grama de amostra analisada.

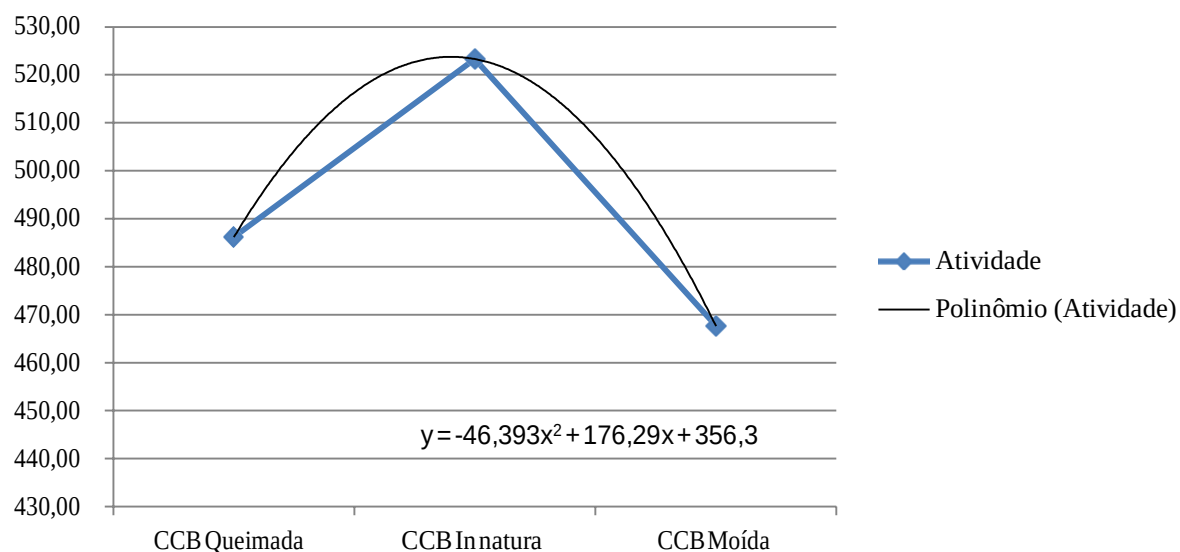


Figura 18 – Curva da atividade pozolânica da CCB segundo o método Chapelle Modificado.

Por Chapelle as CCB podem ser consideradas pozolânicas. Entretanto, o ensaio de Chapelle modificado é um ensaio qualitativo e não quantitativo, ou seja, nos mostra a possibilidade do material ser pozolânico, mas não o quanto o mesmo é pozolânico. Para comprovar a pozolanicidade do material, foi realizado o ensaio de índice de atividade pozolânica da NBR 5752:2012.

NBR 5752:2012

Com base nos resultados qualitativos obtidos via ensaios de Chapelle modificado, foram escolhidas quatro amostras para avaliação do índice de atividade pozolânica pela NBR 5752 (2012): (A1) cinza tal qual recebida da indústria; (A2) cinza recebida da indústria moída; (A3) cinza recebida e queimada a 700°C; e, (A4) cinza recebida queimada a 700°C e moída.

Tabela 10 – Resistência à compressão, índice de atividade pozolânica e água requerida

Identificação das argamassas	Resistência à Compressão (MPa) ⁽¹⁾	Índice de Atividade Pozolânica com Cimento Portland (%) ⁽²⁾	Água requerida (%) ⁽³⁾
Cimento CP II-F-32	37,5	–	–
Amostra A-1	27,1	72,3	104,9
Amostra A-2	18,1	48,3	102,7
Amostra A-3	27,2	72,5	104,3
Amostra A-4	17,5	46,7	100,5

(1) Média de três corpos-de-prova.

(2) O índice de atividade pozolânica com cimento Portland é dado pelo quociente entre as resistências à compressão da argamassa que contém a pozolana (B) e argamassa de referência (A), aos 28 dias, expresso em porcentagem.

(3) Água requerida é uma relação obtida entre o quociente das quantidades de água das argamassas B e A, quantidade essa necessária para produzir uma consistência de (225 ± 5) mm, expressa em porcentagem.

O valor obtido para o índice de atividade pozolânica para a CCB tal qual recebida da indústria foi de 72,3%, sendo menor do que o valor estabelecido pela norma NBR 5752 (ABNT, 1992), que é de 75%. Portanto, assume-se que as Cinzas de Coco Babaçu em questão não podem ser caracterizadas como um material pozolânico. Entretanto, como os valores das cinzas aproximaram-se do índice estabelecido pela norma NBR 5752 (ABNT, 1992), verifica-se que a CCB tem uma tendência à atividade pozolânica, não sendo inerte quando incorporada a materiais cimentícios de base Portland.

O ensaio expressa que a queima da CCB (amostra A3) não interferiu nos resultados, não alterando, provavelmente, a relação cristalino/amorfo da amostra. Já as amostras que tiveram o processamento de moagem em moinho de alta energia (amostras A2 e A4), apresentaram um decréscimo no índice de Atividade Pozolânica, ocasionado, possivelmente, pela colmatação ou agregação das partículas.

Ressalta-se, no entanto, que, uma vez ajustadas as variáveis de moagem, minimizando aglomeração das partículas, a atividade pozolânica do sistema seria maximizada. É de conhecimento científico que o incremento da área superficial de pozolanas exacerba essa reatividade.

No entanto, custos de moagem, tempo e investimento energético seriam necessários. Nesse cenário, como a cinza da CCB in natura, tal qual coletada na indústria, apresentou uma boa reatividade (72,3%), optou-se por estudá-la em

adição e em substituição ao cimento nas argamassas avaliadas na presente dissertação.

4.2 Caracterização das argamassas no estado fresco

4.2.1 Índice de consistência

O ensaio de consistência foi utilizado para encontrar a quantidade de água a ser inserida nas argamassas. Para o traço de referência, a quantidade de água necessária para o índice de consistência desejado (265 mm) foi de 385 ml.

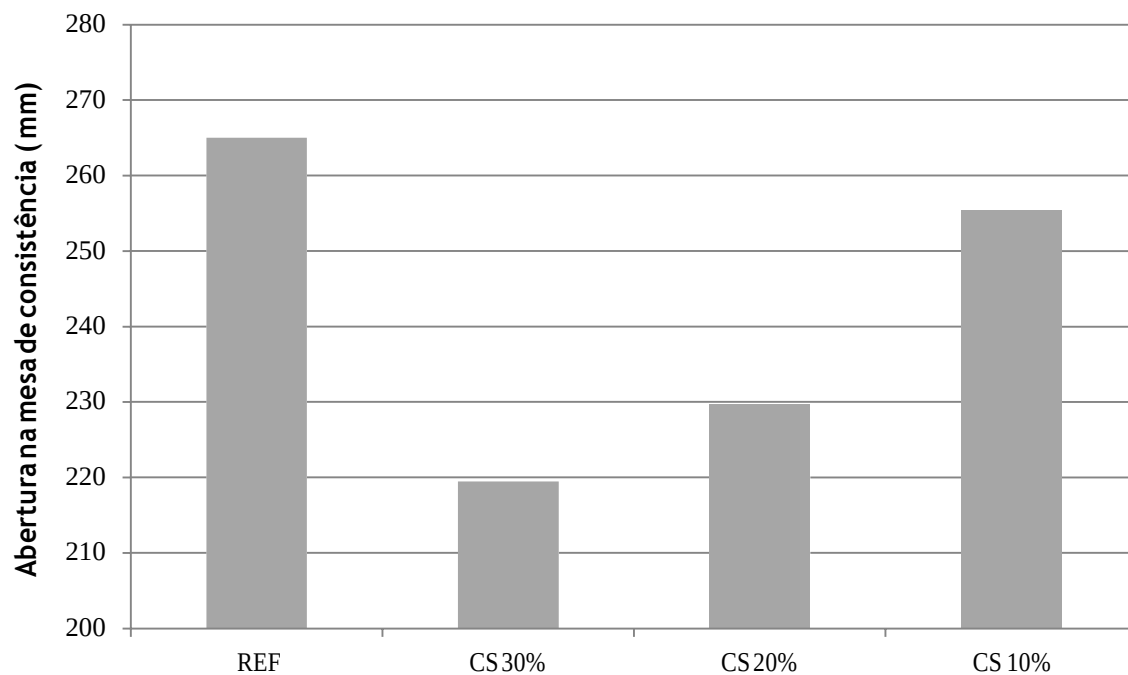
Observa-se pela Figura 19 que fixada a quantidade de água e, devido a relação água/aglomerante aumentar com a porcentagem de finos, limitou-se a substituição do cimento pela cinza em 10%.

Provavelmente isso ocorreu devido à elevada superfície específica dos materiais aglomerantes, pois as cinzas são materiais com mais finos que o cimento, existindo uma relação entre a quantidade de finos e a necessidade de água. As cinzas tal qual coletadas na indústria apresentaram uma área superficial específica de $8.400 \text{ cm}^2/\text{g}$, enquanto que o cimento – CP II-F-32 utilizado, $3.630 \text{ cm}^2/\text{g}$.

Melo (2012) foi capaz de adicionar até 40% de cinzas de Algaroba às argamassas, também limitando 255 mm como abertura mínima na mesa de consistência, mas, segundo Nascimento (2014), a área superficial dessas cinzas é da ordem de $4.400 \text{ cm}^2/\text{g}$. A CCB, comparativamente a cinza de Algaroba peneirada na malha 200, apresenta o dobro de sua área superficial específica, o que limita a porcentagem que pode ser adicionada na argamassa em termos de consistência.

As argamassas com adição de 10% de cimento, para as quais se manteve a mesma quantidade de água, 385 ml, apresentaram abertura na mesa de consistência de 259,5 mm, enquadrando dentro do preconizado pela NBR 7215:1996 ($260 \pm 5 \text{ mm}$).

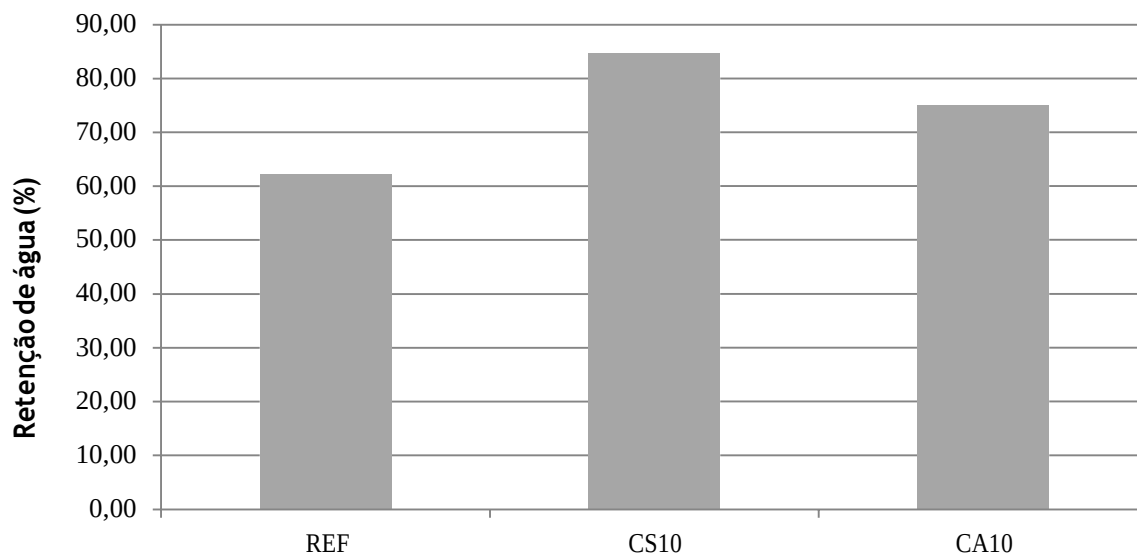
Figura 19 – Índice de consistência das argamassas com e sem adição de CCB



4.2.2 Retenção de água

Os resultados do ensaio de retenção de água estão demonstrados na Figura 20, onde a presença da cinza em substituição e adição ao cimento Portland, ampliou a capacidade do sistema em reter a água no seu interior. Tal fenômeno está relacionado ao fato das partículas mais finas têm a capacidade de retenção de água superior a partículas mais grossas. Nehdi (1998) destaca que quanto maior for a concentração de partículas finas, maior será o acúmulo de umidade no interior da argamassa.

Figura 20 – Retenção de água com adição e substituição de CCB



À medida que a cinza substitui o cimento Portland ou é adicionada à mistura, parte da capacidade de retenção de água é ampliada, proporcionando o molhamento dos agregados e aglomerantes, possibilitando as reações de hidratação, desenvolvimento da trabalhabilidade, melhorando aderência entre os constituintes da argamassa e o substrato onde serão aplicados, bem como a resistência mecânica.

A retenção de água quando da substituição do cimento Portland pela CCB é 1,13 vezes maior do que quando a CCB foi adicionada ao sistema. Esse fenômeno corrobora a maior perda de consistência do sistema quando da substituição, dada a maior área superficial das cinzas em relação ao cimento Portland, cerca de 2,3 vezes maior.

A adição e substituição do cimento pela CCB corrobora para uma melhora de produtividade do pedreiro, pois melhora a trabalhabilidade, uma vez que não o obriga a constantemente remisturar a argamassa antes da sua aplicação no substrato. Além desse fator, existe a facilidade no espalhamento e no sarrafeamento. Com a maior retenção de água no interior da argamassa de revestimento, a velocidade de perda de água é reduzida, principalmente nas primeiras horas de hidratação, diminuindo a retração e a fissuração (NEHDI, 1998).

Tabela 11 – Classificação das argamassas segundo sua retenção de água segundo a NBR 13281 (2005).

Classe	Retenção de água (%)	Tipo de argamassa
U1	≤ 78	REF, CA10
U2	72 a 85	CA10, CS10
U3	80 a 90	CS10
U4	86 a 94	
U5	91 a 97	
U6	95 a 100	

Fonte: NBR 13281, 2005.

As argamassas REF e CA10 podem ser classificadas como U1 para o parâmetro retenção de água, conforme a NBR 13281 (2005), sendo a argamassa CA10 podendo também ser classificada como U2. Já a argamassa CS10 é classificada como U2 ou U3, para ao caso da argamassa 1:3 avaliada ser escolhida para uso em argamassa de revestimento de paredes e tetos e/ou assentamento.

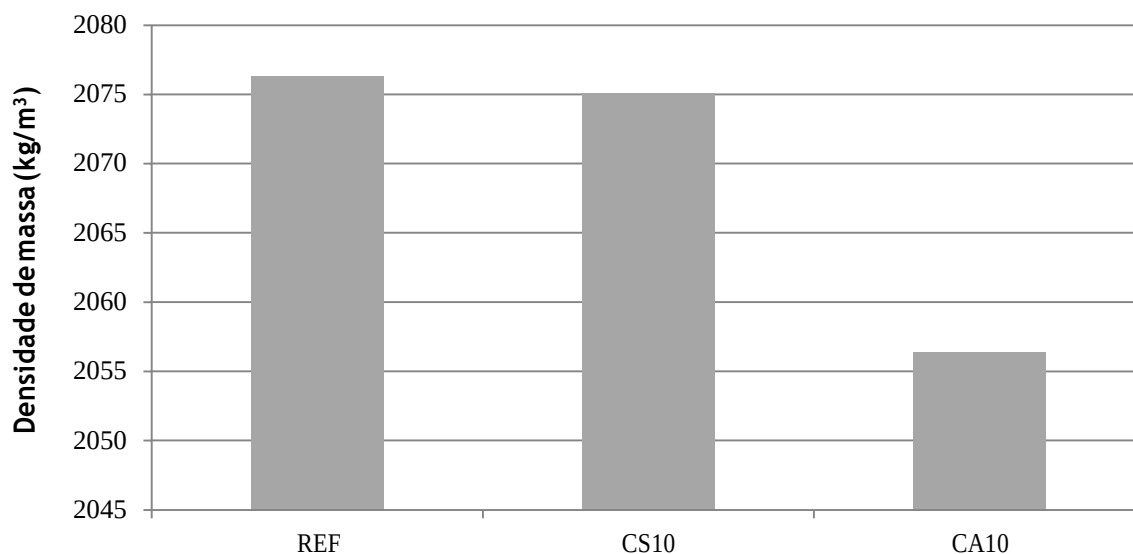
4.2.3 Densidade de massa e teor de ar incorporado

A densidade de massa da argamassa está diretamente relacionada com as densidades dos materiais sólidos e com o teor de ar incorporado que compõem a argamassa (CINCOTTO *et al*, 1995). Dessa forma, quanto mais leve forem os materiais que compõem o produto, mais leve a argamassa se torna. A presença do ar incorporado é inversamente proporcional à densidade, de modo que, quanto maior o teor de ar, menor a densidade. Assim, a massa específica ou densidade de massa varia com o teor de ar incorporado e com a massa específica dos materiais constituintes.

A Figura 21 apresenta as densidades de massas na condição de água constante; onde se constatou que, ao substituir o cimento por CCB as argamassas ficaram menos densas, apesar de a diferença ser pequena, de 2075 kg/m³ para 2056 kg/m³. Nenhuma redução significativa foi observada no caso das argamassas com adição de 10% de CCB.

A substituição parcial do cimento pela CCB em 10% em relação á massa de cimento é positiva do ponto de vista prático, pois quanto mais leve for a argamassa, mais trabalhável será ao longo do tempo, reduzindo o esforço do operário na aplicação gerando, conseqüentemente, um aumento de produtividade na operação.

Figura 21 – Densidade de massa água constante.



Fonte: figura da autora, 2014.

Devido aos resultados obtidos, as argamassas de referência e com adição de 10% de cinza de coco Babaçu e a argamassa de substituição de 10% foram classificadas como D5 ou D6 (argamassa de revestimento de paredes e tetos e/ou assentamento), segundo NBR 13281 (2005) e conforme apresentado na Tabela 12. Ou seja, a adição e/ou substituição da CCB não alterou a classificação das argamassas em termos de densidade de massa no estado fresco, corroborando com sua aplicação em campo.

Tabela 12 – Classificação das argamassas segundo sua densidade de massa no estado fresco, NBR 13281 (2005).

Classe	Densidade de massa no estado fresco (Kg/m³)	Tipo de argamassa
D1	≤1.400	
D2	1.200 a 1.600	
D3	1.400 a 1.800	
D4	1.600 a 2.000	
D5	1.800 a 2.200	REF, CS10, CA10
D6	> 2.000	REF, CS10, CA10

Fonte: NBR 13281, 2005.

Carasek (2010) sugere uma classificação para argamassas segundo sua densidade no estado fresco, conforme compilado na Tabela 13. Todas são classificadas como argamassas normais.

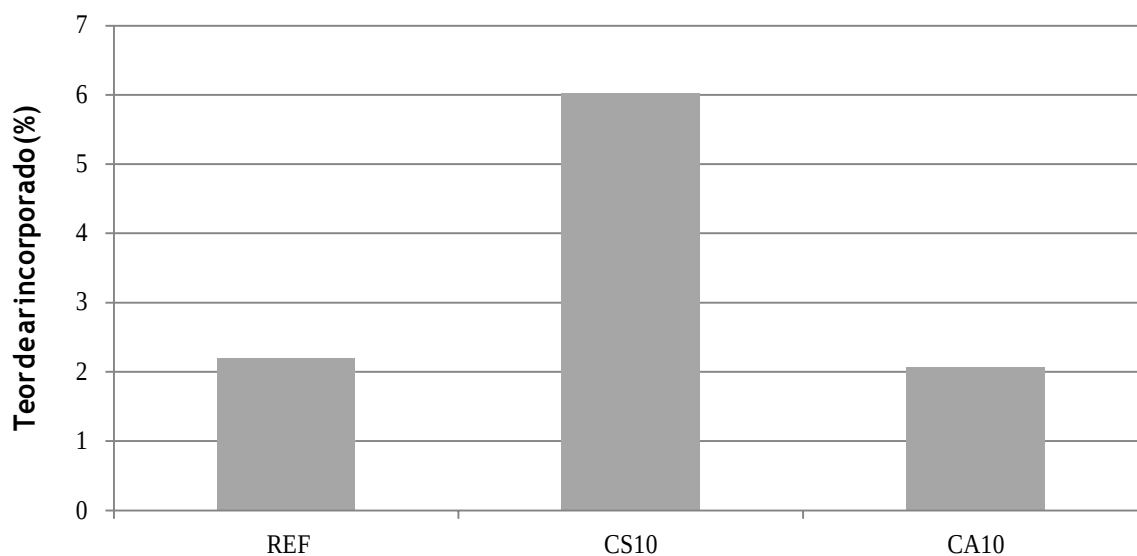
Tabela 13 - Classificação de argamassa quanto sua densidade de massa no estado fresco.

Argamassa	Densidade de massa A (g/cm ³)	Principais agregados utilizados	Usos
Leve	$A < 1,40$	Vermiculita, perlita, argila expandida	Isolamento térmico e acústico
Normal	$2,30 \leq A \leq 1,40$	Areia de rio e calcário britado	Aplicações convencionais
Pesada	$A > 2,30$	Barita (sulfato de bário)	Blindagem de radiação

Fonte: Carasek, 2010.

Os valores de teor de ar incorporado, mantendo água de amassamento constante (385g), comparativamente, encontram-se expostos na Figura 22.

Figura 22 – Teor de ar incorporado, água constante.



Fonte: figura da autora, 2014.

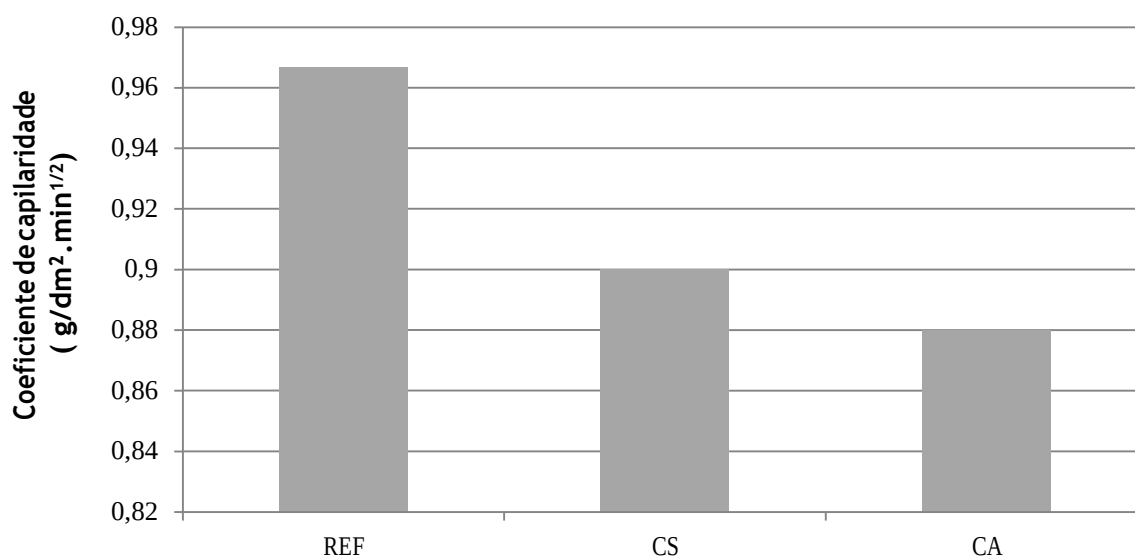
A adição de CCB não alterou a incorporação de ar pelo sistema quando avaliado com a adição de 10% de CCB ao sistema. Contudo, quando houve a substituição de cimento por CCB, a quantidade de ar incorporado triplicou. A quantidade de ar incorporado está intimamente relacionada com a área superficial, uma vez que dificulta a mistura e moldagem e, acredita-se, que o incremento no teor de ar incorporado deve ter ocorrido durante a etapa de amassamento, realizado em argamassadeira mecânica. Comportamento semelhante foi observado por Melo (2012).

4.3 Caracterização das argamassas estado endurecido

4.3.1 Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade

Os resultados do ensaio de absorção capilar de água em termos de coeficiente de capilaridade ($\text{g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$), realizada nos corpos-de-prova aos 28 dias, encontram-se expostos no gráfico da Figura 23.

Figura 23 – Coeficiente de Capilaridade.



Fonte: figura da autora, 2014.

Pode-se verificar que houve uma tendência à redução desse parâmetro para os valores médios quando da adição das CCB, tanto em substituição como em adição. Provavelmente, a presença das cinzas reduziu o tamanho e a espessura dos capilares, uma vez que não são totalmente reativas.

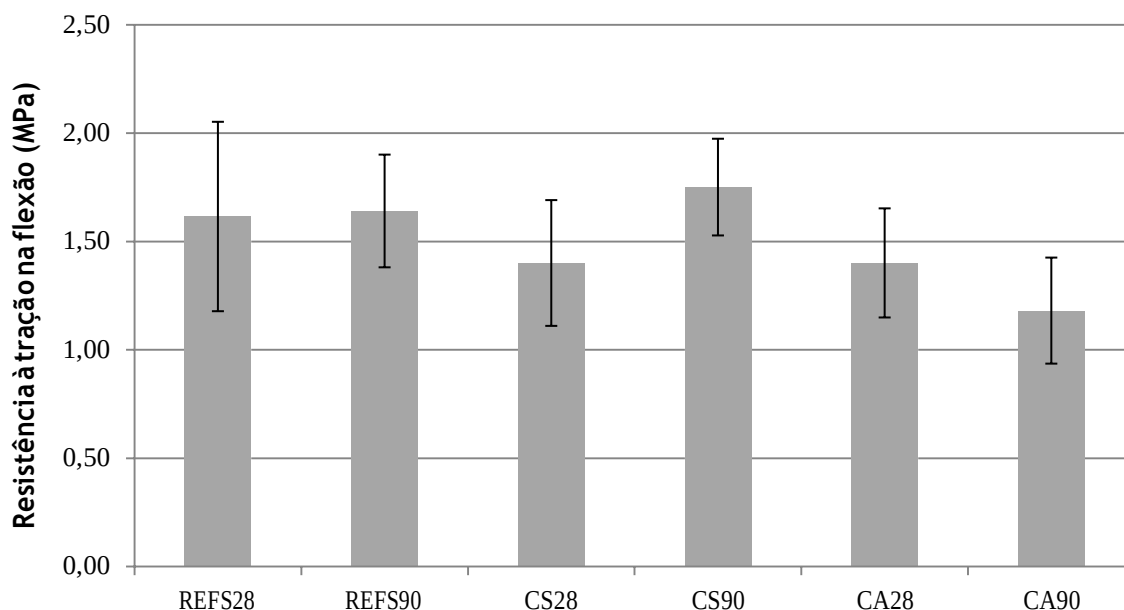
4.3.2 Resistência à Tração na Flexão e Compressão

Os resultados relativos à resistência à tração na flexão aos 28 e 90 dias para argamassas com substituição e adição de CCB estão representadas na Figura 24.

Devido aos baixos patamares desse parâmetro relacionado com a heterogeneidade intrínseca de sistemas cimentícios com agregados e adições, os devidos intervalos de confiança de 95% para a média foram grandes, embora todos os resultados tenham ficado dentro do tolerado para o desvio máximo absoluto

estabelecido pela norma NBR 13279 (2005), validando-os. O desvio máximo absoluto é a maior diferença possível entre a resistência média e uma das resistências encontradas para os corpos-de-prova numa mesma argamassa. Os resultados nos sugerem que não houve alteração nesse parâmetro quando da adição de CCB ao sistema ou substituição de cimento pelas CCB.

Figura 24 – Resistência à tração na flexão de argamassas com substituição e adição de CCB aos 28 e 90 dias, com devidos intervalos de confiança de 95% para a média.



Fonte: figura da autora, 2014.

Estes resultados podem classificar as argamassas, no caso de serem empregadas como argamassa de revestimento de paredes e tetos e/ou assentamento, com relação à resistência à tração média na flexão, todas como sendo da classe R2, segundo a NBR 13281 (2005), conforme apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 – Classificação das argamassas segundo sua resistência à tração na flexão.

Classe	Resistência à tração na flexão (MPa)	Tipo de argamassa
R1	$\leq 1,5$	
R2	1,0 a 2,0	REF28, REF90, CS28, CS90, CA28, CA90
R3	1,5 a 2,7	
R4	2,0 a 3,5	
R5	2,7 a 4,5	
R6	$> 3,5$	

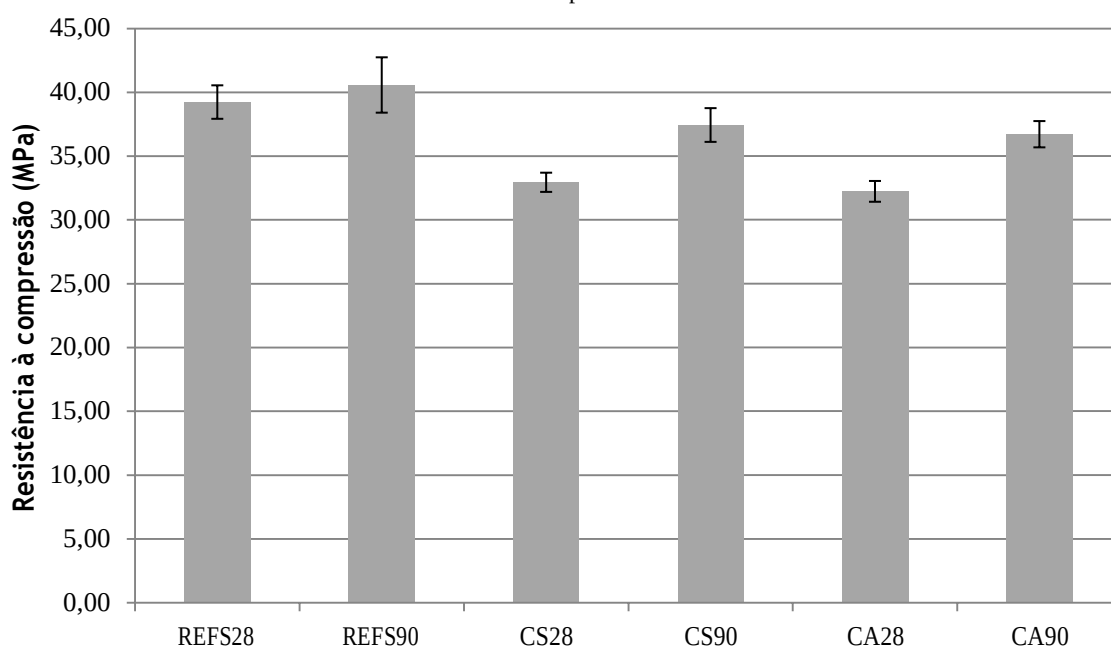
Fonte: NBR 13281, 2005.

A Figura 25 apresenta os resultados relativos à resistência à compressão das argamassas aos 28 e 90 dias com adição e substituição de cinza de coco Babaçu, com os devidos intervalos de confiança de 95% para a média.

Como esperado houve um ligeiro acréscimo na resistência dos 28 aos 90 dias em ambas as argamassas, sendo de 32,94 MPa para 37,43 MPa quando da argamassa com substituição de cimento por cinza e de 32,23 MPa para 36,71 MPa quando da argamassa com adição de cinzas ao sistema.

Isto reafirma a hipótese de tendência a pozolanicidade da cinza de coco Babaçu, sendo reativa. No entanto, para os resultados aos 90 dias com a adição, não foi observado efeito de empacotamento, efeito fíler, acredita-se que em função da baixa quantidade de cinza adicionada ao sistema.

Figura 25 – Resistência à compressão de argamassas com substituição e adição de CCB aos 28 e 90 dias, com devidos intervalos de confiança de 95% para a média.



Fonte: figura da autora, 2014

Segundo a resistência à compressão, as argamassas podem ser classificadas pela NBR 13281 (2005), na mesma classe, todas maiores que 8,0 MPa. No entanto, destaca-se que o traço 1:3 em massa é um traço com elevado consumo de cimento, que o descaracteriza como argamassa de revestimento de paredes e tetos e/ou assentamento. A escolha do traço 1:3 foi em ordem comparativa de fenômenos.

Tabela 15 – Classificação das argamassas segundo sua resistência a compressão NBR 13281 (2005).

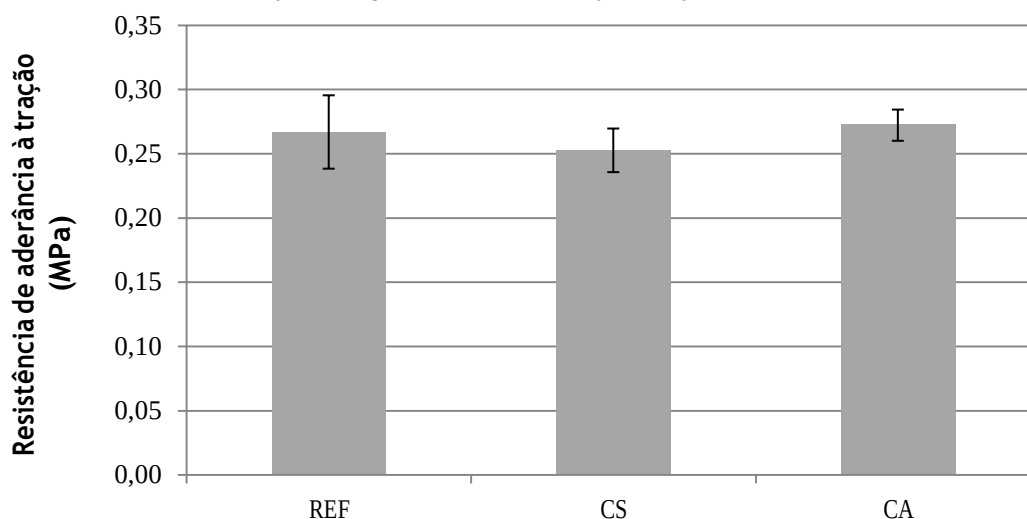
Classe	Resistência à compressão (MPa)	Tipo de argamassa
P1	$\leq 2,0$	
P2	1,5 a 3,0	
P3	2,5 a 4,5	
P4	4,0 a 6,5	
P5	5,5 a 9,0	
P6	$>8,0$	REF28, REF90, CS28, CS90, CA28, CA90

Fonte: NBR 13281, 2005.

4.3.3 Resistência de aderência à tração

O ensaio para determinar a resistência de aderência à tração foi realizado aos 28 dias, tanto para argamassas com adição quanto argamassas com substituição de cimento Portland por cinza de coco Babaçu, comparativamente à argamassa de referência. Seus resultados são apresentados na Figura 26. Todas as argamassas atenderam ao requisito da NBR 13749 (1996), que solicita que as argamassas tenham resistência de tração ao arrancamento superiores ou pelo menos iguais a 0,2 MPa para estarem aptas a serem utilizadas como argamassas de revestimento em paredes internas – pintura ou base para reboco, bem como em teto.

Figura 26 – Resistência de aderência à tração das argamassas com substituição e adição, com devidos intervalos de confiança de 95% para a média.



Fonte: figura da autora, 2014

Outro ponto relevante nesse experimento é que todas as amostras tracionadas romperam na argamassa, ou seja, houve aderência da argamassa com

o substrato. No caso das argamassas CS (substituição de cimento por CCB) e com adição de CCB houve somente casos de ruptura no substrato e ruptura no substrato/chapisco. Mesmo cenário foi observado no caso da argamassa de referência. Casos de ruptura chapisco/argamassa não foram identificados, o que corrobora com a boa aderência à tração ao arrancamento das três argamassas avaliadas.

Uma observação tátil-visual relevante nesse tópico diz respeito ao aumento na resistência à abrasão das argamassas com adição e substituição de cimento por CCB, pois foram necessários forças e tempos maiores para perfurar os paramentos argamassados com a serra-copo. Bem como as impressões do pedreiro ao lançar a argamassa no paramento, que relatou que a argamassa com 10% de substituição ao cimento lhe pareceu mais agradável de trabalhar que a argamassa de referência. Já a argamassa com 10% de adição de CCB, lhe pareceu seca.

5 CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados, conclui-se que a cinza de coco Babaçu apresenta uma tendência a atividade pozolânica, sendo necessário apenas alguns ajustes na moagem para que a mesma alcance os teores preconizados pela norma ABNT NBR 5752. É possível agregar esse resíduo a argamassas no traço 1:3 em massa, seja na forma de adição ou substituição, ambas em teores de 10% em relação à massa de cimento, resguardando suas propriedades nos estados fresco e endurecido.

Em função dos grupos de resultados e de acordo com os objetivos específicos estabelecidos, pode-se concluir que:

- **Caracterizar físico-quimicamente a cinza de coco babaçu:** As CCB tal qual coletadas na indústria apresentam granulometria semelhante a da areia, área superficial cerca de três vezes a do cimento e massa específica inferior a do cimento. Tratamentos de queima da cinza a 700°C não influenciaram em sua amorficidade. A moagem de alta energia gerou aglomeração das partículas da CCB.
- **Avaliar a atividade pozolânica da cinza de babaçu:** As CCB foram classificadas como pozolânicas pelo ensaio qualitativo de Chapelle. Já pela NBR 5752:2012, apesar de índices da ordem de 73% terem sido atingidos para a cinza tal qual coletada, problemas no método de moagem adotado proporcionaram efeito contrário ao esperado, agregaram as partículas e reduzindo, conseqüentemente, sua reatividade.
- **Formular argamassas com incorporação de cinza, conforme NBR 13276:2005:** É possível agregar esse resíduo a argamassas no traço 1:3 em massa, seja na forma de adição ou substituição, ambas em teores de 10% em relação à massa de cimento. O teor de 10% em ambos os casos esteve limitado pela consistência em função da alta área superficial das argamassas.
- **Avaliar as argamassas no estado fresco e endurecido:** as propriedades nos estados fresco e endurecido foram resguardadas, sendo as argamassas

com adição e/ou substituição de cimento no teor de 10% muitas vezes classificada na mesma família, conforme a NBR 13281 (2005), para as propriedades avaliadas. Incremento no teor de ar incorporado para CS10, e redução do coeficiente de capilaridade para CS10 e CA10 foram benefícios. As argamassas recuperaram aos 90 dias reduções na resistência à compressão observadas aos 28 dias, devido à reatividade pozolânica. Efeito fíler não foi pronunciadamente observado, em função da baixa percentagem de adição. São aptas a serem utilizadas como argamassas de revestimento em paredes internas – pintura ou base para reboco, bem como em teto.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao longo deste estudo e considerando a complexidade da temática, constatou-se a impossibilidade de abordar todas as análises e nuances sobre o comportamento da cinza de coco Babaçu em argamassas. Além de alguns ensaios que não puderam ser realizados ficando de sugestão para realizações posteriores:

- Analisar a condição ótima de queima da cinza de coco Babaçu em laboratório a fim de alcançar o grau máximo de amorfização da amostra;
- Testar outras técnicas de moagem, como a moagem em baixa energia, com diferentes tipos de moinhos: bolas, barras e etc. a fim de se obter a melhor moagem para fins pozolânicos;
- Usar outras formulações de traços para aplicações diversas, assim como diferentes tipos de cimento;
- Realizar ensaios de resistência à abrasão nas argamassas;
- Realizar ensaios microestruturais (BET, MEV, DRX e FRX) nas argamassas em seu estado endurecido.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7200:** execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - procedimento. Rio de Janeiro, 1998.
- _____. **NBR 7215:** cimento portland - determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997.
- _____. **NBR 12653:** materiais pozolânicos — requisitos. Rio de Janeiro, 2012.
- _____. **NBR 13276:** argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 13277:** argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 13278:** argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 13279:** argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 13280:** argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 13281:** argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - requisitos. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 13528:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.
- _____. **NBR 15258:** Argamassa para revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 15259:** argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 15895:** materiais pozolânicos – determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado – método Chapelle modificado. Rio de Janeiro, 2010.
- _____. **NBR NM 23:** cimento portland e outros materiais em pó - determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 49:** agregado miúdo - determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 52:** agregado miúdo - determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 248:** agregados - determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5752:** Materiais pozolânicos — Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland — Índice de atividade pozolânica com cimento — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 5752:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

ABREU, A. G. et al. **Efeito da cinza de casca de arroz na durabilidade do concreto em ambiente de íons de cloreto.** CANMET/ACI International Conference of High-Performance Concrete, Proceedings. Gramado, Brasil 1999.

ARAÚJO, M. S.; SANTOS, E. C. S. D.; MOURA, R. P. D. M. Aspectos agrômicos e energéticos da cultura do babaçu. 02 de outubro de 2013 2008.

BORLINI, M. C.; AL., E. Cinza da lenha para aplicação em cerâmica vermelha. parte I: características da cinza. **Cerâmica** v. 51, p. 192-196, 2005.

BRASIL. **Mapeamento e levantamento do potencial das ocorrências de babaçuais: Estados de Maranhão, Piauí, Mato Grosso e Goiás.** COMÉRCIO, M. D. I. E. Brasília 1982.

_____. **Plano-diretor do Corredor da Estrada de Ferro Carajás.** REPÚBLICA, S. D. P. D. P. D. Brasília: 536 p. 1989.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** São Paulo: IBRACON, 2007. p.863-804.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento; Características, propriedades e métodos de ensaio** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 118p.

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**, v. 30, n. 5, p. 410-418, 2008.

CHRISTÓFOLLI, J. L. **Estudo de argilas calcinadas para produção de cimento Portland pozolânico na região de Curitiba**, Paraná-Brasil. 2010. (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia, UFPR, Curitiba.

CRUZ, N. T. C. C. **Estudo da influência da granulometria das areias no desempenho de rebocos de ligante hidráulico**. 2008. Dissertação Grau de Mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos**. São Paulo: Pini, 1994.

FREITAS, E. D. S. **Caracterização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar do município de campos dos Goytacazes para uso na construção civil**. 2005. (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF, Rio de Janeiro

KAWABATA, C. I. **Aproveitamento de cinzas da queima de resíduos agroindustriais na produção de compósitos fibrosos e concreto leve para a construção rural**. 2008. 165 f. Tese (Doutorado). Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo Pirassununga.

LIMA, J. R. O. et al. Biodiesel de babaçu (*orbignya sp.*) Obtido por via etanólica. **Quim. Nova**, v. 30, p. 3, 2007.

MARTIRENA, F. E. A. Rudimentary, low tech incinerators as a means to produce reactive pozzolan out of sugar cane straw. **Cement and Concrete Research**, v. 36, p. p.1056-1061, 2006.

MEDINA, E. A. Pozolanicidade do matacaulim em sistema binários com cimento Portland e hidróxido de cálcio. **USP** 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: Pini, 2008. 581p

MONTEIRO, M. A. **Siderurgia e Carvoejamento na Amazônia: Drenagem energético material e pauperização regional**. Belém: NAEA/UFPA: 251 p. 1998.

PAULA, M. O. **Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland**. 2006. (Dissertação Mestrado.). Universidade Federal de Viçosa, UFV, Minas Gerais.

PINTO, A. et al. **Boas práticas para manejo florestal e agroindustrial de produtos florestais não madeireiros: açaí, andiroba, babaçu, castanha-do- brasil, copaíba e unha-de-gato**. Belém, PA: Imazon; Sebrae, 2010. 180 ISBN 978- 85-86212-32-1.

RILEM. Fly ash in concrete Properties and Performance. In: 67-FAB, T. C., Use of Fly Ash in Building, , 1991. London.

SILVA, N. G. **Argamassa de Revestimento de Cimento, Cal e Areia Britada de Rocha Calcária**. 2006. (Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)). Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR.

SOLER, M. P.; VITALI, A. A.; MUTO, E. F. Tecnologia de quebra do coco babaçu (*Orbignya speciosa*). **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 27, p. 4, out-dez 2007.

SUDAM/PNUD. **Complexos Mínero-Metálicos na Amazônia Legal**. Belém 234 p. 1997.

TAY, J. H.; SHOW, K. Y. Utilization of ashes from oil-palm wastes as replacement material. **Water and Science Technology**, v. 34, p. p.185-192, 1996.

TAYLOR, H. F. W. **Cement Chemistry**. London: Thomas Telford, 1997.

TEIXEIRA, M. A. Biomassa de Babaçu no Brasil. **Departamento de Energia - FEM-UNICAMP**, 2002.

TORRES, C. S.; SHAEFFER, L. Efeito da moagem de alta energia na morfologia e compressibilidade do compósito WC-Ni. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 15, p. 88-95, 2010.

ZAMPERINE, V. A. **Mineralogia e mecanismos de ativação e reação das pozolanas de argilas calcinadas**. 1989. 191p. (Dissertação de Mestrado). Instituto de Geociências, USP, São Paulo.