



Universidade Eduardo Mondlane



FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

Curso de Química

Trabalho de Licenciatura



Substituição parcial de cimento por caulino na produção de argamassas

Autor: Alexandre Joaquim Cuco

Maputo, Fevereiro 2015



Universidade Eduardo Mondlane

FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

Curso de Química

Trabalho de Licenciatura



Substituição parcial de cimento por caulino na produção de argamassas

Autor: Alexandre Joaquim Cuco

Supervisor: Prof. Doutor Pedro Massinga Jr

Maputo, Fevereiro 2015

DEDICATÓRIA

A Deus Pai Todo Poderoso, pelas graças dadas e por me proporcionar momentos felizes e infelizes aqui na terra.

Aos meu pais, em especial a minha querida mãe Aida Machava pelo amor, dedicação e por tudo feito para que nada faltasse durante a minha formação.

À minha família, especialmente meu tio Joaquim Cuco Jr, meus primos Armando David Machava e Joaquim Chirindza e as minhas tias, Lurdes Mucavel e Isabel.

Aos meus amigos, dr. António Teixeira Dias, dr. Alfredo Manjate, dr. Domingos José Cuna, dr. Laice Luciano, dr. José Sibindi, dr. Pérsio de Jesus, Samuel Júlio Manhique, Sérgio Fabião Tamele, dra. Tércia Manhique.

AGRADECIMENTOS

Para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho foi indispensável a cooperação, o apoio e o estímulo de muitas pessoas. Cabe, portanto, agradecer a todos que, directa ou indirectamente, colaboraram para tal, em especial:

- O Prof Doutor Pedro Massinga Jr., por ter aceite supervisionar este trabalho e, por outro lado, pela sua orientação segura e valiosa no desenvolvimento do trabalho, além do apoio e estímulo constantemente dispensados;
- Os funcionários do Laboratório de Engenharia de Moçambique (**LEM**), especialmente aos da Secção de Materiais de Construção e de Química, um muito obrigado pelo apoio;
- O Eng. Rodrigues Salvador Manjate, Sr. António Júnior, Sr. Rogério Benzane, Sr. Arsénio Nhalucué, Eng^a. Luizete Patrício, dr. Moisés Mabui, a dra. Carla Macie e Sr. Macuácuá, pela orientação durante a realização da parte experimental da pesquisa;
- Os funcionários e estudantes do Departamento de Química, especialmente o Sr. Ramiro, o Sr. Macuácuá, o Sr. Hognério e o Sr. Américo, pelo apoio.

DECLARAÇÃO SOB COMPROMISSO DE HONRA

Eu, Alexandre Joaquim Cuco, declaro sob compromisso de honra que o presente Trabalho de Licenciatura foi por mim elaborado, unicamente com base nos recursos a que ao longo do mesmo faço referência, e que não existe nenhuma outra versão igual a esta, editada anteriormente.

Maputo, Fevereiro 2015

O autor

Alexandre Joaquim Cuco

RESUMO

Neste trabalho investigou-se a utilização de caulino proveniente do distrito de Muiane, província da Zambézia como substituinte parcial de cimento na produção de argamassas. Preparou-se composições de argamassas com 10, 20, 30, 40 e 50% em massa de caulino em substituição de cimento. Foram moldados corpos de prova que a posterior foram curados durante 7, 28 e 35 dias.

Após a cura, os provetes foram submetidos à ensaios mecânicos de resistência à compressão e flexão, bem como ao ensaio de absorção de água. De acordo com os resultados obtidos verificou-se que a composição contendo 10% de resíduo de caulino em relação ao cimento pode ser recomendada como ideal para a substituição parcial do cimento.

Palavras-chaves: resíduo de caulino, cimento, resistência a compressão e actividade pozolânica

ÍNDICE

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
DECLARAÇÃO SOB COMPRIMISSO DE HONRA	iii
RESUMO.....	iv
I. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objectivos do trabalho	2
1.1.1 Objectivo geral	2
1.1.2 Objectivos especificos	2
II. REVISÃO BIBLIOGRAFICA	3
2.1 Uso de pozolânas em argamassas.....	3
III. PARTE EXPERIMENTAL	7
3.1. Caracterização física e química de caulino	7
3.2. Preparação de argamassas e de provetes	7
3.3. Testes de propriedades mecânicas.....	9
3.3.1. Resistência à flexão.....	9
3.3.2. Resistência à compressão.....	10
3.4. Absorção de água	10
3.5. Actividade Pozolânica.....	11
IV. Resultados e discussão.....	12
4.1. Resistência à Compressão	12
4.2. Actividade Pozolânica.....	13
4.2.1. Índice de Actividade Pozolânica com o Cimento	13
4.3. Resistência à flexão	14
4.4. Absorção de água	15
V. CONCLUSÕES	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	18
ANEXO.....	A

Lista de figuras

Figura 1: (a) Misturador mecânico usado na preparação da amassadura para argamassas, e (b) Compactador mecânico usado na moldagem de provetes prismáticos	8
Figura 2: Corpos de prova na sala de cura	9
Figura 3: Resultados dos ensaios à compressão aos 7, 28 e 35 dias de idade	13
Figura 4: Resultados de índice de actividade pozolânica	14
Figura 5: Resultados dos ensaios à flexão aos 7, 28 e 35 dias de idade	15

Lista de tabelas

Tabela 1: Composição química do caulino	7
Tabela 2: Proporção dos materiais para produção de argamassas	8
Tabela 3: Valores de resistência à compressão simples dos corpos de prova aos 7 dias de cura....	12
Tabela 4: Valores de resistência à flexão dos corpos de prova aos 7, 28 e 35 dias de cura.....	14
Tabela 5: Valores de absorção de água dos corpos de prova aos 7, 28 e 35 dias de cura em água.	15

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a indústria de exploração mineira de Moçambique tem vindo a crescer. Este crescimento tem resultado em uma exploração acentuada de matérias primas naturais. Alguns estudos mostram que a incorporação de caulino no processo de produção de betões e argamassas, em substituição parcial do cimento, possibilita obter produtos com bom desempenho técnico.

Menezes *et al.* (2009) estudaram a viabilidade de utilização de caulino, tendo concluído que este, na forma calcinada ou não calcinada, quando substitui o cimento em 5% mássicos aumenta a resistência da pasta cimento-agregado em até 78%, em relação a argamassa de control aos 28 dias de cura. Quando a substituição de cimento por caulino, em massa, é de 15%, aos 28 dias de cura, a resistência da pasta cimento-agregado aumenta em até 150% em relação a argamassa de control.

Assim, o caulino podem ser utilizado como matéria-prima alternativa para a produção de argamassas de forma a baixar os custos de produção e ao mesmo tempo melhorar as propriedades mecânicas, tendo em conta a sua actividade pozolânica, resultante da presença de sílica na sua composição química (Menezes *et al.*, 2009).

O presente trabalho visa avaliar a possibilidade da utilização de caulino em seu estado natural na produção das argamassas, substituindo parcialmente o cimento portland, com a finalidade de reduzir a porosidade das argamassas e aumentar o tempo de vida destas. Usando só cimento portland nas argamassas, tem surgido fissuras que causam muitos problemas nas infra-estruturas. Porém, com a incorporação de caulino, a sílica (SiO_2) presente na sua composição reage com o hidróxido de cálcio [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] produzido nas reacções de hidratação dos compostos do cimento para formar silicato de cálcio hidratado ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Este silicato deposita-se nos poros da argamassa reduzindo a quantidade de poros (Menezes *et al.*, 2009).

Esta utilização de caulino pode agregá-lo valor económico e reduzir o consumo do cimento, baixando o custo de produção de argamassas (Vieira, 2005).

1.1. Objectivos do trabalho

1.1.1 Objectivo geral

O presente trabalho tem como objectivo principal avaliar o desempenho mecânico de argamassas usando caulino proveniente do distrito de Muiane, província da Zambézia, para reduzir a quantidade do ligante cimento.

1.1.2 Objectivos específicos

Para a concretização do objectivo geral, foram estabelecidos os seguintes objectivos específicos:

- ✚ Determinar o índice de actividade pozolânica do caulino com cimento através do ensaio de resistência por compressão mecânica;
- ✚ Averiguar a influência do uso de caulino nas propriedades de transporte de água, através do ensaio de absorção;
- ✚ Investigar o teor ideal do caulino a usar como substituinte.

II. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 Uso de pozolânas em argamassas

Argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo (areia) e água, podendo ainda conter ou não aditivos e adições minerais. Quando recém-misturadas e frescas, as argamassas possuem boa plasticidade. Mas quando endurecidas, possuem rigidez, resistência e aderência (NBR 13281:2001).

A água, combinada com o aglomerante, dá trabalhabilidade a mistura, promovendo o endurecimento e aumento da resistência mecânica (Roque, 2012). Os aglomerantes promovem a união dos grãos do material inerte (agregados). O cimento é o aglomerante utilizado em argamassas. É definido, na construção civil, como um ligante hidráulico que tem um poder de juntar materiais inertes tais como areia, pedra britada e outros, conferindo ao conjunto uma coesão e resistência que o torna apto a ser utilizado em argamassas e betões (Coutinho, 2006). Por sua vez, os agregados são materiais pétreos fragmentados que actuam nas argamassas e betões como elementos que não sofrem transformações. Entre os agregados inclui-se areia, pedriscos, pedras, etc.

Os agregados (material inerte) são incorporados na argamassa para promover estabilidade dimensional (minimizar os efeitos da retracção) e tornar o material mais económico uma vez este ser uma matéria-prima de baixo custo em relação ao cimento (Roque, 2012). Os agregados melhoram algumas das suas propriedades das argamassas, por exemplo: trabalhabilidade, tempo de pega, controlo do desenvolvimento de resistência, resistência à fissuração, designam-se pozolânas.

Pozolâna é um material inorgânico, natural ou artificial, silicoso ou alumino-silicoso, que apresenta propriedades aglomerantes quando finamente moído e em presença de água e hidróxido de cálcio (Dias, 2010). Além da acção química, têm uma acção física que melhora o

empacotamento do sistema, pois actua como material de preenchimento, aumentando a densidade e a resistência (Menezes *et al.*, 2009; Silva, 2007).

O emprego de pozolâna como material ligante remonta à antiguidade. Há cerca de 2000 anos, os romanos já utilizavam em suas construções uma cinza pozolânica. Essa cinza de origem vulcânica, era proveniente da localidade de Pozzuoli, o que conferiu a denominação "pozolâna" ao material (Cordeiro e Désir, 2010).

A principal propriedade de uma pozolâna é sua capacidade de reagir e de se combinar com o hidróxido de cálcio proveniente da pasta hidratada de cimento, formando silicatos e aluminatos de cálcio hidratados que contribuem para se obter uma pasta mais dura (Braga e Brito, 2011).

Durante as reacções de hidratação do cimento portland ocorre a libertação do hidróxido de cálcio, Ca(OH)_2 , em torno de 10% da massa dos compostos hidratados (Nóbrega, 2007). A reacção entre compostos amorfos presentes na pozolâna, como a sílica e a alumina, e o hidróxido de cálcio da hidratação do cimento produz silicatos e aluminatos de cálcio hidratados, similares aos produzidos na hidratação do cimento. Essas reacções são denominadas de pozolânicas (Castro, 2007).

O hidróxido de cálcio, ao contrário dos silicatos e aluminatos de cálcio hidratados, contribui muito pouco para a resistência da pasta de cimento hidratada e é, dentre os produtos da hidratação, o primeiro a ser solubilizado e lixiviado pela água (Rocha *et al.*, 2008). Assim, o consumo do hidróxido de cálcio pela pozolâna produz benefícios para a argamassa, como aumento da resistência mecânica e da durabilidade no estado endurecido (Oliveira, 2012).

Os efeitos benéficos da utilização de pozolânas em argamassas não se limitam à reacção pozolânica. Ocorre também um efeito físico, que é a capacidade que estes materiais têm de posicionarem-se nos interstícios entre partículas de cimento e na interface agregado-pasta. Este efeito é conhecido como efeito de preenchimento (Cordeiro e Désir, 2010).

Para que haja actividade pozolânica, é necessário que a sílica e o alumínio presente no material não estejam em elevado grau de cristalinidade (o quartzo, por exemplo, é inerte) (Nascimento, 2009). A reactividade da pozolâna está vinculada a sua estrutura interna, portanto, será tanto maior quanto menos fases cristalinas estiverem presentes (Nascimento, 2009).

As pozolânas são classificadas em naturais e artificiais. As naturais são provenientes de magmas durante uma erupção, solidificam rapidamente e apresentam a forma amorfa (Nascimento, 2009). Devem possuir na sua constituição um teor mínimo de 65% de SiO₂ (Freitas e Silva, 2005). As pozolânas artificiais são provenientes das indústrias. São sub-produtos tais como argilas (natural e calcinadas), cinzas de carvão de centrais térmicas, etc (Silva, 2011).

Algumas das vantagens técnicas resultantes do emprego de pozolânas em argamassa são: a resistência mecânica é melhorada, a resistência a cloretos, sulfatos e água do mar pode ser melhorada, a permeabilidade pode ser reduzida e a libertação de calor diminuída. Além destas vantagens técnicas, tem-se o benefício económico obtido por um consumo menor de cimento portland, mantendo ou aumentando a resistência mecânica e melhorando a durabilidade (Pontes, 2007).

O uso de pozolânas tem benefícios ecológicos, contribui para um aproveitamento de resíduos industriais, como o caso das cinzas voláteis transportadas pelos gases de exaustão das centrais térmicas, da microssílica oriunda das indústrias de ferro-silício e silício metálico e até mesmo os resíduos de cerâmica moída (Barbosa e Oliveira, 2006).

O caulino é uma rocha de cor branca ou esbranquiçada, de fórmula química Al₂O₃.SiO₂.2H₂O, constituída de material argiloso e com baixo teor de ferro. Os caulinos apresentam na sua constituição alguns minerais acessórios, tais como o quartzo, a mica e os minerais de ferro (Mota *et al.*, 2006).

Na construção civil, o caulino pode ser adicionado na confecção de argamassas ou betões na forma calcinada (metacaulino) ou sem ser calcinado (natural). Este quando calcinado apresenta uma maior actividade pozolânica (Menezes *et al.*, 2009; Nita e John, 2007), uma vez que inter-

converte-se de uma forma cristalina para uma amorfa – o metacaulino. Este possui na sua composição química 40% de alumina (Al_2O_3) e sílica a 52% (SiO_2), perfazendo um total de 92% em massa (Nita e John, 2007).

Menezes *et al.* (2009) constataram que usando caulino calcinado, os resultados de resistência mecânica são superiores a aqueles que usam caulino não calcinados. Isto está associado a maior actividade pozolânica dos resíduos calcinados face aos não calcinados, conferindo-os maior acção química que os não calcinados.

III. PARTE EXPERIMENTAL

A parte experimental deste trabalho foi realizada no Laboratório de Engenharia de Mocambique-LEM, usando caulino da província da Zambézia, distrito de Muiane.

3.1. Caracterização física e química de caulino

O caulino de Muiane, usado neste trabalho, foi analisado quanto a sua composição mineralógica e química por Madivate *et al.* (2004), quando estes desenvolveram massas para a produção de cerâmica branca usando matéria-prima local. Estes autores usaram os métodos de Difracção de Raios-X e a Fluorescência de Raios-X para a análise mineralógica e química, respectivamente.

A análise mineralógica indicou que o caulino de Moiane contém como fases principais a caulinite e a haloisite, possivelmente com resto de feldspato. A análise química resultou na composição apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Composição química do caulino (Madivate *et al.*, 2004)

Componentes	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	H ₂ O	P.R ¹
Composição Química (%)	44,32	35,64	0,85	0,62	0,02	6,46	12,75

3.2. Preparação de argamassas e de provetes

Antes da utilização, o caulino foi passado por um peneiro de 75µm para separar a fracção das partículas de maiores dimensões das partículas de menores dimensões, uma vez que as de maiores dimensões apresentam formas irregulares e com cantos agudos o que poderia prejudicar no empacotamento das argamassas. A fracção da amostra com menos de 75µm foi misturada com cimento e areia em diversas proporções para preparação de argamassas, conforme indicado na Tabela 2.

¹ Perda ao rubro

Tabela 2: Proporção dos materiais para produção de argamassas

Amostra	Areia (g)	Água (ml)	Cimento (g)	Caulino (g)	Cimento substituído (%)
L	1350	225	450	0	0
K10			405	45	10
K20			360	90	20
K30			315	135	30
K40			270	180	40
K50			225	225	50

A relação mássica aglomerante/areia foi mantida fixa em 1:3 em peso. A relação água/aglomerante foi mantida constante em 1:2. Na preparação da amassadura para argamassas designada Amostra L (Tabela 2), pesou-se 450 g de cimento, 1350g de areia, mediu-se 225 ml de água, e colocou-se num misturador mecânico (Figura 1 (a)) conforme descrito na norma NM NP EN 196-1 (2000). Efectuou-se três amassaduras para as idades de 7, 28 e 35 dias. Após a amassadura realizou-se a moldagem, feita em duas camadas, compactadas em compactador mecânico (Figura 1 (b)).

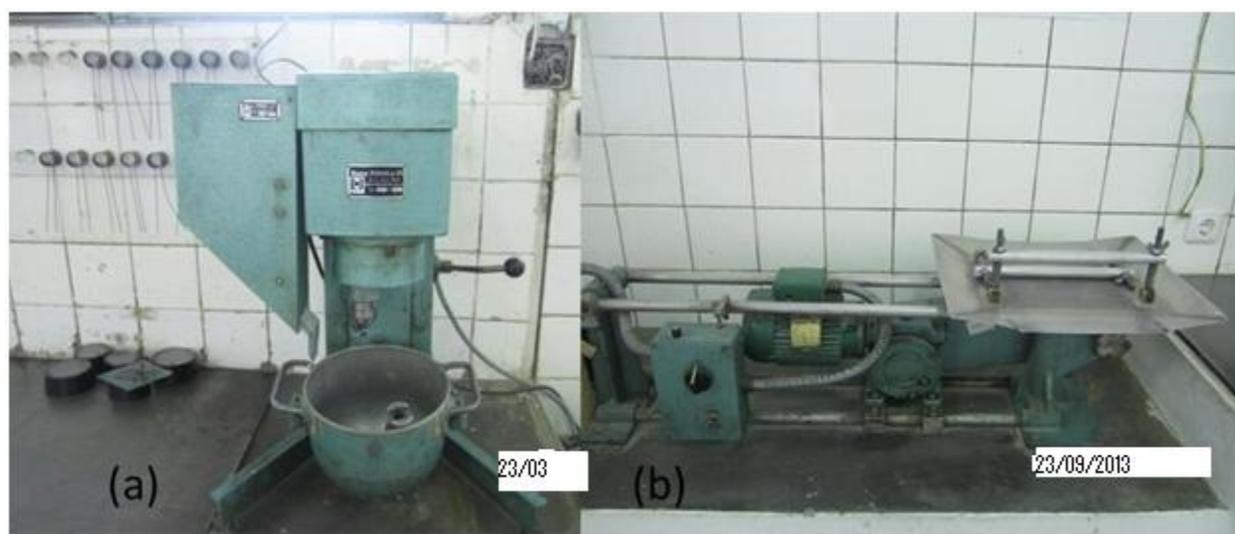


Figura 1: (a) Misturador mecânico usado na preparação da amassadura para argamassas, e (b) Compactador mecânico usado na moldagem de provetes prismáticos

Após a moldagem, os provetes foram conservados em uma câmara de cura por 24 horas. Depois, foram acondicionados na sala de cura (Figura 2) por períodos de 7, 28 e 35 dias, para a continuação da cura até o dia de teste.



Figura 2: Corpos de prova na sala de cura

3.3. Testes de propriedades mecânicas

Após os períodos de cura de 7, 28 e 35 dias, os corpos de prova foram submetidos a ensaios de resistência mecânica, compressão simples e flexão. A cada idade procedeu-se à determinação das resistências mecânicas à flexão e compressão na seguinte ordem: (i) flexão e (ii) compressão, usando as metades resultantes do ensaio de flexão.

3.3.1. Resistência à flexão

Neste ensaio de resistência à flexão, o provete foi colocado na prensa e aplicada uma carga no centro do provete, quebrando em duas metades. Todos os resultados são expressos em MPa e calculados de acordo com a equação 1.

$$\delta = 0,00148 * F_{média}; [MPa] \quad (1)$$

onde:

δ - Resistência à flexão (MPa)

$F_{média}$ - carga aplicada no centro do prisma na rotura (N/mm^2)

3.3.2. Resistência à compressão

Neste ensaio de resistência à compressão são colocadas as metades resultantes do ensaio de resistência à flexão na prensa e aplicada sobre elas uma carga, esmagando-as no seu todo. Para o ensaio à compressão aplicou-se uma carga constante de 2400N/s, à uma velocidade de 1.5 m/s. O cálculo da resistência à compressão obedece a equação 2. O resultado obtido multiplica-se por um factor 1.15 de correcção da areia. As areias usadas no Laboratório de Engenharia de Moçambique possui 85% de sílica.

$$\delta = 0,000625 * F_{média}; [MPa] \quad (2)$$

onde:

δ - Resistência à compressão (MPa);

$F_{média}$ -Carga aplicada ao centro do prisma na rotura (N/mm²).

3.4. Absorção de água

A absorção de água serve para determinar a permeabilidade através da imersão em água. Após a cura os corpos de prova, foram colocados numa estufa à temperatura de 120°C por 24 horas. Depois de 24 horas é registado o peso de cada corpo de prova com auxílio de uma balança. De seguida, são colocados num recipiente com água da torneira por um período de 24 horas para determinar a quantidade de água que elas absorviam.

A relação que exprime a absorção da água é dada abaixo:

$$ABA = \frac{\text{massa húmida} - \text{massa seca}}{\text{massa seca}} 100\% \quad (3)$$

onde:

Massa húmida: massa do corpo de prova em cura na água da torneira por um período de 24 horas;

Massa seca: massa do corpo de prova seco na estufa.

3.5. Actividade Pozolânica

O índice de actividade pozolânica (IAP) é uma das exigências físicas para a classificação de um material como sendo pozolânico e substituir o cimento na produção de argamassas (Menezes *et al.*, 2009).

De acordo com a norma ASTM C-618 (1992), a determinação do índice de actividade pozolânica tem como objectivo comparar a resistência à compressão de duas argamassas. A argamassa de controlo é preparada com areia normal, usando-se como aglomerante apenas o cimento Portland, no traço de 1:3 (em massa).

A equação 3 serve para calcular o índice de actividade Pozolânica para cada percentagem de substituição do cimento.

$$IAP = \frac{F_{cp}}{F_{cc}} * 100\% \quad (3)$$

Onde:

- ✚ Fcp é resistência à compressão dos corpos de prova (moldados com areia, cimento, cimento Portland e caulino material pozolânico);
- ✚ Fcc é resistência à compressão dos corpos de controlo (moldados com os mesmos materiais, excepto caulino)
- ✚ IAP- índice de actividade pozolânica

IV. Resultados e discussão

4.1. Resistência à Compressão

Os valores das resistências à compressão dos corpos de prova curados durante 7, 28 e 35 dias estão apresentados na Tabelas 3.

Tabela 1: Valores de resistência à compressão simples dos corpos de prova aos 7 dias de cura

Amostras	Média (MPa) \pm erro		
	7 dias	27 dias	35 dias
L	29,3 \pm 1,87	39,1 \pm 5,41	38,83 \pm 4,32
K10	29,13 \pm 0,56	34,00 \pm 2,30	34,00 \pm 3,51
K20	20,53 \pm 2,46	29,07 \pm 2,23	30,13 \pm 2,42
K30	16,60 \pm 1,39	23,83 \pm 1,07	23,73 \pm 2,51
K40	12,30 \pm 1,17	18,83 \pm 2,52	17,80 \pm 3,74
K50	8,77 \pm 0,55	13,57 \pm 0,57	12,40 \pm 0,38

Na Figura 3 estão ilustrados os resultados médios da resistências à compressão referentes as composições em estudo. Do ilustrado observa-se que:

- ✚ As resistências à compressão mecânica diminuem com a substituição do ligante pelo resíduo;
- ✚ Só a composição K20 aumenta a resistência mecânica durante o tempo de cura;
- ✚ O aumento da resistência mecânica para as composições com substituição parcial do cimento (K20) é devido a diminuição de índices de vazios, o que produz um arranjo mais eficiente na interface agregado-pasta de cimento aumentando a resistência;
- ✚ Para outras composições, a diminuição da resistência pode ser devido a diminuição da produção da cal proveniente da hidratação do cimento. A mesma conclusão foi feita por Rocha *et al.* (2008).

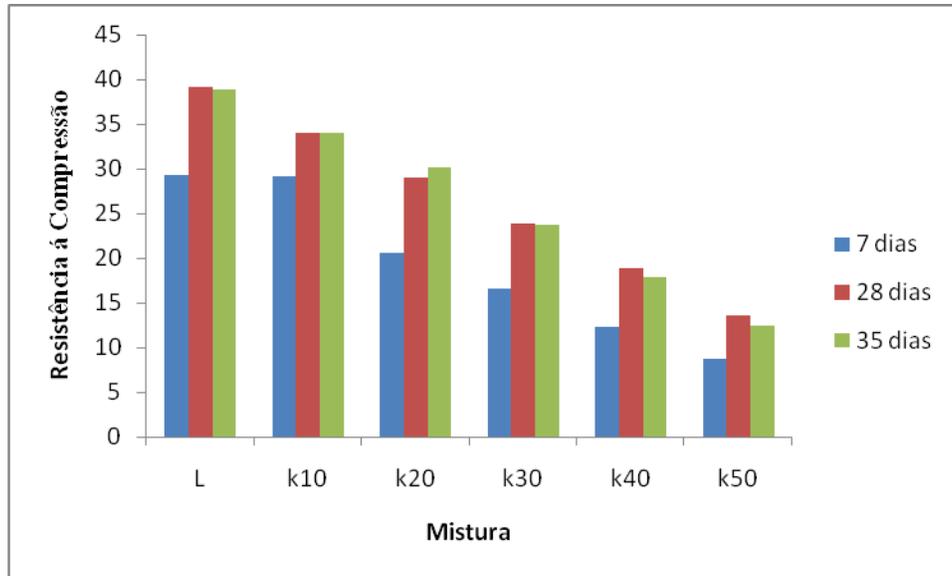


Figura 3: Resultados dos ensaios à compressão aos 7, 28 e 35 dias de idade

4.2. Actividade Pozolânica

4.2.1. Índice de Actividade Pozolânica com o Cimento

A norma ASTM C618 (1992) estipula que só são aceites materiais que tenham um valor mínimo de 75% de índice de actividade pozolânica com o cimento aos 28 dias de cura e as que tiverem um valor de 85% após 28 dias.

Na Figura 4 estão apresentados os resultados obtidos para os ensaios do índice de actividade pozolânica com cimento.

- ✚ Conforme a norma, só as misturas K10 e K20 apresentaram índices de actividade pozolânica com o cimento satisfatório superiores a 75% aos 28 dias;
- ✚ Depois de 28 dias de cura, só a composição K10 apresenta um índice de 85% aceite pela norma.

Apesar do índice de actividade da composição K10 diminuir após 28 dias, a resistência mecânica desta composição (Figura 4) não varia muito após 28 dias, o que demonstra que este caulino apresenta alguma actividade pozolânica apesar de possuírem fases cristalinas.

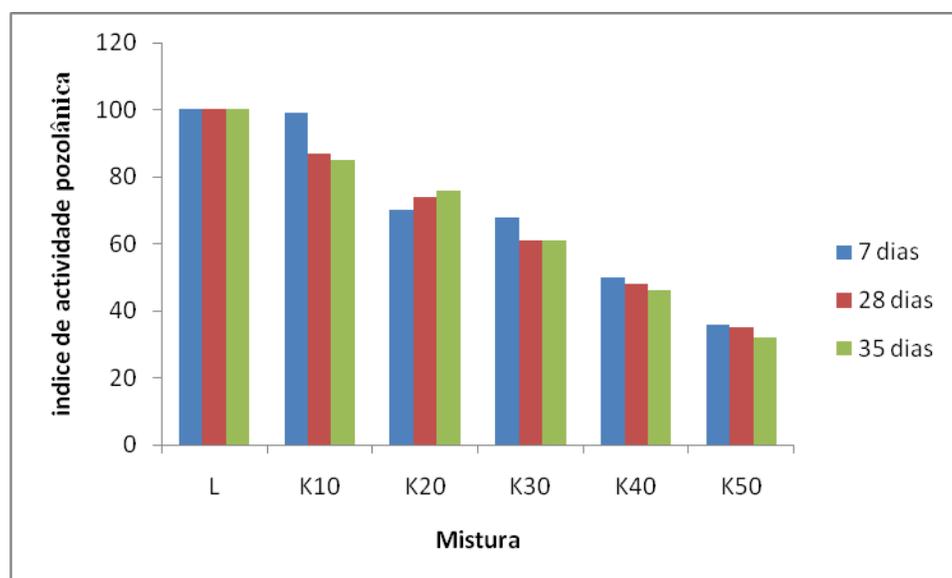


Figura 4: Resultados de índice de actividade pozolânica

4.3. Resistência à flexão

Os valores das resistências à flexão dos corpos de prova curados durante 7, 28 e 35 dias estão apresentados nas Tabelas 4.

Tabela 4: Valores de resistência à flexão dos corpos de prova aos 7, 28 e 35 dias de cura

Amostras	Valor médio (MPa) ± erro		
	7 dias	28 dias	35 dias
L	2,78±0,52	4,83±1,00	5,00±1,24
K10	3,20± 0,00	3,97±1,72	4,80±0,50
K20	2,83±0.72	3,57±0,29	3,77±1,15
K30	2,20±0.99	3,23±0,57	3,13±0,72
K40	1,60±0.20	2,57±0,14	2,50±0,66
K50	0.83±1.17	1,60±0,25	1,43±0,29

Na Figura 5 estão ilustrados os resultados médios das resistências à flexão obtida referente as composições em estudo. Observa-se que:

- ✚ As resistências à flexão mecânica diminuem com a substituição do ligante pelo residuo exepcto nos 7 dias iniciais;
- ✚ As composições K10, K20, e amostra de referência aumetam a resistência mecânica durante o tempo de cura.

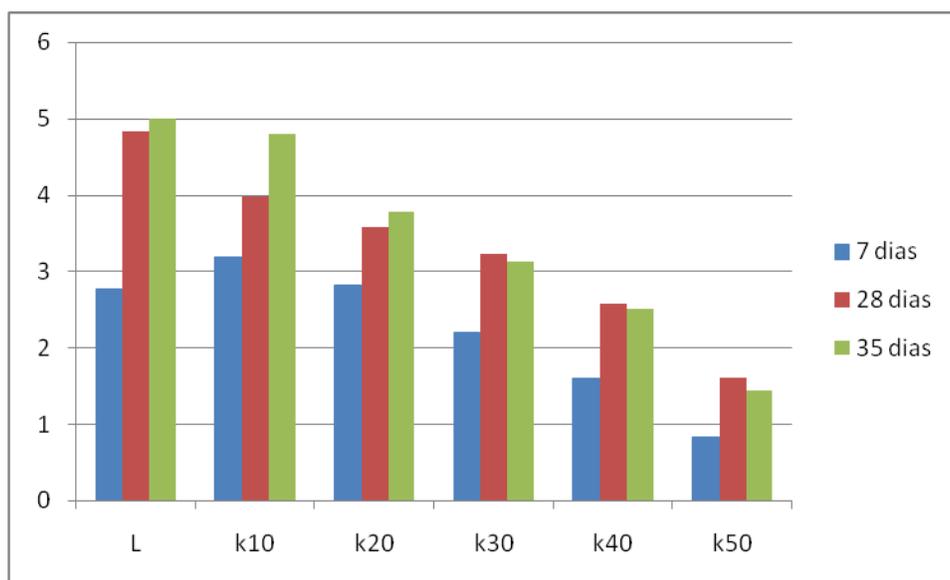


Figura 5: Resultados dos ensaios à flexão aos 7, 28 e 35 dias de idade

4.4. Absorção de água

Na Tabela 5 estão apresentados os valores de absorção de água dos corpos de prova após 7, 28 e 35 dias de cura.

Tabela 5: Valores de absorção de água dos corpos de prova aos 7, 28 e 35 dias de cura em água

Amostra	Teor de caulino	7 dias	28 dias	35 dias
L	0	9,86	9,33	10,68
K ₁₀	10	9,12	9,00	9,99
K ₂₀	20	8,17	9,16	10,29
K ₃₀	30	11,71	9,31	11,31
K ₄₀	40	9,09	10	13,25
K ₅₀	50	10,18	10,09	11,18

Dos valores apresentados na Tabela 5 observa-se que o aumento do caulino origina um aumento da absorção de água com o tempo de cura, excepto para K_{10} e K_{20} . Estas composições apresentam valores de absorção de água menores em todas as idades, o que sugere maior empacotamento do sistema (agregado-cimento-água). Esta melhoria de empacotamento reduz o índice de vazios, o que melhora a resistência mecânica.

V. CONCLUSÕES

Neste trabalho investigou-se a utilização de caulino proveniente do distrito de Muiane, província da Zambézia como substituinte parcial de cimento na produção de argamassas. De acordo com os resultados obtidos na parte experimental é possível verificar que:

Só as misturas K10 e K20 apresentaram índices de actividade pozolânica com o cimento satisfatório, superiores ao mínimo de 75% aos 28 dias, conforme a norma ASTM C618 (1992) estipula para aprovação. Depois de 28 dias de cura, só a composição K10 apresenta um índice de 85% aceite pela norma.

Apesar do índice de actividade da composição K10 diminuir após 28 dias, esta apresentam alguma actividade pozolânica, conforme sugere a sua resistência mecânica. As propriedades mecânicas (flexão e compressão) decrescem ao adicionar caulino.

Existe potencial para utilização do caulino em argamassas em substituição parcial ao cimento. O caulino em teores até 10% não prejudica as propriedades mecânicas das argamassas produzidas, podendo ser utilizado em substituição parcial ao cimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Barbosa, N P e Oliveira, M. P. de. (2006). *Potencialidades de um caulim calcinado como material de substituição parcial do cimento portland em argamassas.*([Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental](#)); 10 (2) 490–496
2. Braga, M. e Brito, J. (2011). *Redução do teor de cimento em argamassas com agregados finos de betão incorporados.* ([Engenharia Civil . UM](#)) 20 (1) 5-20
3. Castro, W. (2007). *Incorporação de resíduos de caulim em argamassas de assentamento e revestimento para uso em construção civil.* Dissertação de Mestrado; Universidade de Campina Grande.
4. Cordeiro, G. C. e Désir, J. M., (2010). *Potencial de argila caulinítica de Campos dos Goytacazes, RJ, na produção de pozolana para concreto de alta resistência.* [Cerâmica](#) 56 (1) 71-76
5. Coutinho, A. de S. (2006). *Fabrico e propriedade do betão*, 4ª edição, vol. 1, LNEC, Lisboa.
6. Dias, S. L. (2010). *Incorporação de resíduos de caulim em argamassas de assentamento e revestimento para uso em construção civil- avaliação da atividade pozolânica.* Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande.
7. Freitas, S. S. de e Silva, G. A. (2005). *Estudo do aproveitamento do resíduo do beneficiamento de caulim como matéria-prima na produção de clínquer para cimento portland.* Universidade Estadual da Paraíba; <http://www.blogdocancado.com/wp-content/uploads/2011/02/30.pdf> Acessado em 10.05.2014
8. Mota, J. D.; Oliveira, D. de F. e Trajano, M. F. (2006). *Aproveitamento dos resíduos de granito e caulim com os materiais Aditivos na produção de tijolos ecológicos.* Campus Universitário, Bodocongó. <http://annq.org/eventos/upload/1331651809.pdf>
9. Madivate, C.; Manhique, A. e Massinga Jr., P. (2004) ”*Desevolvimento de massas para a produção de cerâmica branca usando matéria prima local*” Universidade Eduardo Mondlane, departamento de Química; Relatório Técnico
10. Menezes, R.; Almeida, S. R.; Neves, L.; Lira, H.; Ferreira, H.. (2009). *Análise da co-utilização do resíduo do beneficiamento do caulim e serragem de granito para produção de blocos e telhas cerâmicos.* [Revista Eletrônica de Materiais e Processos](#) 6 (3) 163-169.

11. Oliveira N. Do A. (2012) *Estudo da substituição parcial do cimento portland por resíduos de cerâmica vermelha*. Monografia para obtenção do Título de Bacharel Universidade Federal Rural do Semi-Árido..
12. Nascimento, R. M. (2009). *Estudo da aditivação do metacaulim de alta reactividade, produzido por meio do método de calcinação flash em cimento portland*. Dissertação de Mestrado; Universidade Federal Do Paraná;
13. Nita, C. e John, V. M. (2007). *Materiais Pozolanicos: O metacaulim e a sílica activa*. Boletim Técnico. http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00451.pdf acessado em 02.05.2014
14. Nóbrega, A. F. da. (2007). *Potencial de aproveitamento de resíduos de caulim paraibano para o desenvolvimento de argamassas de múltiplo uso*. Dissertação de Mestrado; Universidade Federal da Paraíba;
15. Pontes, R. (2007). *Disseminação de ions cloreto na Orla marítima do Bairro de Boa Viagem, Recife-Pe*. Dissertação de Mestrado. Universidade Católica de Pernambuco.
16. Rocha, A; Neves ,G. de A.; Ferreira, H. C.(2008). *Argamassas mistas para alvenaria utilizando resíduo de caulim - Parte I: comportamento mecânico*. Revista Escola de Minas 61(4)
17. Roque, A. B. (2012): *influencia do resíduo cerâmico nas propriedades de argamassas no estado fresco*. Tese de bacharel em Engenharia Civil na Universidade Estadual de Feira de Santana. Brazil
18. Silva, F. A. N. G. da (2007) *Estudos de caracterização tecnológica e beneficiamento do caulino da região borborema-seridó*. Dissertação de Mestrado; Universidade Federal do Rio de Janeiro;
19. Silva, M.V (2011) *Desevolvimento de tijolos com incorporação de cinzas de carvão e lodo provenientes de estacao de tratamento de água*; Dissertação de Mestrado; Universidade de São Paulo
20. Vieira, A. de A. P. (2005) *Estudo do aproveitamento de resíduos de Cerâmica vermelha como substituição pozolânica em argamassas e concretos*; Dissertação de Mestrado; Universidade Federal da Paraíba

Normas consultadas

1. ASTM- International Standards. C-618 (1992): Pozzolan. United States.
2. NM NP EN 196-1 (2000): Métodos de ensaios de cimento. Parte 1: Determinação das resistências mecânicas.
3. NBR 13281-2001: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2001

ANEXO

Tabela A1: Valores de resistência à flexão dos corpos de prova aos sete (7) dias de cura

Amostra	Flexão individual dos corpos de prova (MPa)			Média (MPa) ± erroacidental	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
	1	2	3			
L	3,0	2,7	2,6	2,78±0,52	0.21	7.52
K10	3,2	3,2	3,2	3,20± 0,00	0,00	0,00
K20	3,0	3,0	2,5	2,83±0.72	0.29	0,08
K30	1,8	2,6	2,2	2,20±0.99	0.40	0,16
K40	1,6	1,8	1,4	1,60±0.20	0.20	0,04
K50	1,2	0,3	1,0	0.83±1.17	0.47	0,22

Tabela A2: Valores de resistência à flexão dos corpos de prova aos 28 dias de cura

amostra	Flexão individual dos corpos de prova (MPa)			Média (MPa) ± erroacidental	Desviopadrão	Coeficiente de variação (%)
	1	2	3			
L	4,4	4,9	5,2	4,83±1,00	0,40	0,16
K10	4,0	3,9	4,0	3,97±1,72	0,70	0,48
K20	3,7	3,5	3,5	3,57±0,29	0,12	0,01
K30	3,1	3,5	3,1	3,23±0,57	0,23	0,05
K40	2,6	2,6	2,5	2,57±0,14	0,06	0,003
K50	1,6	1,5	1,7	1,60±0,25	0,10	0,01

Tabela A3: Valores de resistência à flexão dos corpos de prova aos 35 dias de cura

Misturas	Flexão individual dos corpos de prova (MPa)			Média (MPa) ± erroacidental	Desviopadrão	Coeficiente de variação (%)
	1	2	3			
L	5,0	5,5	4,5	5,00±1,24	0,50	0,25
K10	4,8	5,0	4,6	4,80±0,50	0,20	0,04
K20	3,5	3,5	4,3	3,77±1,15	0,46	0,21
K30	2,8	3,3	3,3	3,13±0,72	0,29	0,08
K40	2,4	2,3	2,8	2,50±0,66	0,26	0,07
K50	1,3	1,5	1,5	1,43±0,29	0,12	0,01

Tabela B1: Valores de resistência à compressão dos corpos de prova aos sete dias de cura

Amostras	Resistência individual dos corpos de prova (MPa)						Média (MPa) ± erro acidental	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
	1	2	3	4	5	6			
L	26,4	29	29,2	31,2	31,2	29,0	29,3 ± 1,87	1,77	3,16
K10	29,0	29,0	30,0	28,4	29,4	29,0	29,13 ± 0,56	0,53	0,28
K20	19,0	17,0	20,0	22,4	21,4	23,4	20,53 ± 2,46	2,35	5,51
K30	18,0	16,4	17,4	14,2	17,2	16,4	16,60 ± 1,39	1,33	1,76
K40	11,0	13,4	13,0	10,8	12,6	13,0	12,30 ± 1,17	1,12	1,24
K50	9,0	9,2	8,6	8,0	9,4	8,4	8,77 ± 0,55	0,55	0,28

Tabela B 2: Valores de resistência à compressão simple aos 28 dias de cura

Amostr s	Resistência individual dos corpos de prova (MPa)						Média (MPa) ± erro acidental	Desvi opadr ão	Coeficien te de variação (%)
	1	2	3	4	5	6			
L	36,0	46,0	40,0	37,0	32,0	43,6	39,1± 5,41	5.16	26,62
K10	31,0	35,0	37,0	35,0	32,0	34,0	34,00 ± 2.30	2.19	4,8
K20	29,0	28,0	29,0	32,4	26,0	30,0	29,07±2,23	2.12	4,51
K30	24,4	24,0	24,0	25,0	22,0	23,6	23,83± 1,07	1,02	1,03
K40	22,0	20,0	20,0	19,0	16,0	16,0	18,83±2,52	2,40	5,77
K50	12,8	13,6	13,0	14,0	14,0	14,0	13,57± 0,57	0,54	0,29

Tabela B3 :Valores de resistência à compressão simple aos 35 dias de cura

Amostras	Resistência individual dos corpos de prova (MPa)						Média (MPa) ± erro acidental	Desvio padrão	Coeficint e de variação (%)
	1	2	3	4	5	6			
L	40	40	31	38	42	42	38,83 ± 4,32	4,12	16,97
K10	34,0	38,0	30,0	30,0	36,0	36,0	34,00± 3.51	3.35	11,2
K20	30,0	30,0	26,0	31,0	30,8	33,0	30,13 ± 2,42	2,30	5,31
K30	23,0	20,4	27,0	22,0	25,0	25,0	23,73± 2.51	2,39	5,71
K40	12,6	20,4	20,0	20,8	14,0	19,0	17,80± 3,74	3,56	12,70
K50	12,4	12,4	12,0	12,0	12,8	12,8	12,40± 0,38	0,36	0,13