

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA MINERAÇÃO DE CALCÁRIO NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

Marcelo Veber Bolzan

Orientador: Régis Sebben Paranhos

RESUMO

Este estudo teve por base os resíduos gerados por empresas de mineração de calcário, que atualmente são descartados sem nenhum tipo de aproveitamento. Estes materiais acabam gerando transtornos e custos às empresas por ficarem armazenados em seus pátios, tendo de serem removidos para aterros controlados. Neste contexto, foi realizado um levantamento dos materiais resíduos e a seleção dos que fizeram parte da produção de corpos de prova. Trata-se da cinza da queima da madeira, da areia fora do padrão e da cal hidráulica que é um produto da empresa, que foram testados para verificar a viabilidade de criação um novo destino a estes materiais, como os blocos de concreto para a construção civil. As empresas produtoras de calcário poderão se beneficiar deste estudo, facilitando também o seu enquadramento dentro das normas ambientais. Foram desenvolvidas etapas como a seleção, caracterização dos materiais, produção de corpos de prova e testes, todas elas respeitando as normas da ABNT. As resistências obtidas alcançaram valores entre 1,53 MPa e 3,13 MPa, sem a adição de cimento, suficientes para a produção dos blocos se comparadas com as normas NBR 6136(2007), que tem exigência mínima de 2MPa e NBR 7170(1983) que necessita de pelo menos 1,5 MPa. Portanto, foi possível comprovar a viabilidade técnica de um novo uso para os resíduos da produção mineral do calcário em Caçapava do Sul/RS.

Palavras-chave: resíduos de calcário, blocos de concreto, cinzas da queima da madeira, resistência à compressão.

1. Introdução

O avanço tecnológico de produtos e serviços traz comodidade e progresso, mas estes mesmos processos geram uma grande quantidade de resíduos e são responsáveis pela contaminação do meio ambiente (água, ar, solo). Podemos citar como formadores desses resíduos as indústrias que atuam na mineração, como por exemplo, as de calcário, que no seu processo acabam produzindo cinza vegetal durante a queima da madeira em seus fornos, além de resíduos provenientes tanto na produção de cal como de calcário.

Neste contexto, além da contaminação do meio ambiente, estes processos geram grandes volumes de materiais, ficando muitas vezes acumulados em pilhas no entorno das próprias empresas, ocupando muitas vezes espaços físicos importantes e necessários para outros fins ou mesmo são apenas colocados em aterros não gerando nenhum tipo de lucro para a empresa.

Atualmente um grande desafio das empresas é o de encontrar alternativas que possam dar uma destinação adequada aos resíduos gerados durante o processo produtivo, que sejam técnica e economicamente viáveis e estejam em acordo com a regulamentação, minimizando ao máximo o impacto ambiental.

Uma destas alternativas é o sistema de reciclagem, onde este material também poderá trazer além dos benefícios ambientais, retorno econômico e adequação às exigências legais.

Sendo assim a produção de blocos para uso em construção civil se mostra como uma boa oportunidade econômica e ambiental para dar destino a estes materiais, que até então não tinham nenhuma utilidade, ficando apenas depositados em aterros. A produção destes blocos baseia-se em encontrar a melhor proporção entre a cinza da queima da madeira e o rejeito gerado durante a produção da cal de modo que se enquadrem nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas com relação a resistência e durabilidade.

Segundo Andrade (1991), a produção de tijolos cerâmicos vem se tornando cada vez mais cara devido ao constante aumento dos combustíveis utilizados no seu processo de queima, o que reforça o interesse pelo estudo de materiais alternativos, como os blocos produzidos a partir do uso de cal hidráulica e resíduos da mineração calcário.

2. Objetivos

2.1 Objetivo global

Considerando o contexto anteriormente descrito, o presente trabalho tem o objetivo de buscar soluções que atenuem o impacto causado pela produção mineral em Caçapava do Sul e que possam diminuir este grande acúmulo de resíduos. Isto, sem dúvida, possibilitará criar um novo uso para este material dentro das empresas produtoras de calcário da região, ou mesmo produzir um novo produto que possa ser comercializado. Em princípio, blocos de concreto para a construção civil.

2.2 Objetivos específicos

- a) Selecionar e classificar materiais (resíduos) que pudessem ser usados para o estudo;
- b) Caracterizar estes materiais;
- c) Elaborar traços, ou seja, a quantidade de materiais que irão compor os corpos de prova, e realizar a moldagem dos mesmos;
- d) Analisar a resistência à compressão das amostras.

3. Estado da arte

3.1 Cinza da queima da madeira

Para a obtenção da cal virgem é necessária a calcinação do carbonato de cálcio. Esta ocorre por meio de fornos que obtem sua energia a partir da queima da madeira em toras ou cavacos gerando cinza durante este processo, estes fornos atingem temperaturas de até 900° (Votorantin,2015).

O uso de cinza vegetal como substituto parcial do cimento Portland é recente e pode contribuir com a redução desse resíduo no meio ambiente e reduzir custo/quantidade do uso de cimento Portland em argamassas e concretos (Lima S.A, 2009).

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2009), o consumo de lenha no Brasil foi de $8,41 \times 10^7$ de toneladas equivalentes de petróleo (tep), e considerando 1% de teor de cinzas isso gerou em torno de $1,2 \times 10^6$ ton de cinzas de madeira.

Segundo Ferreira A.M.C. *et al.* (2010), a cinza de madeira é proveniente dos processos de queima de caldeiras, sendo então um material inorgânico e poroso que ajuda a absorver a umidade encontrada no local onde é depositada. Esta absorção pode ser observada na formação de um compósito com serragem e cinza de madeira para substituição do agregado graúdo no concreto para a produção de blocos, obteve-se resultados de resistência de compressão de 1,2 MPa e absorção de água de 8,7%, sendo considerado resultados satisfatórios para blocos classificados como leve e não estrutural (Souza,F.R. 2010). Além disso, Lima (Lima S.A, 2088) verificou que embora a cinza vegetal tivesse bastante teor de sílica (67,20%), o ensaio de resistência a compressão demonstrou uma redução em torno de 7%, na medida em que ocorria o aumento da substituição de cimento por cinzas.

Segundo Trugilho & Mendes(2009), o conteúdo de cinza da madeira raramente é menor que 0,2% ou maior que 1% do peso seco das madeiras. Para a madeira do gênero *Eucalyptus*, o teor de cinza vegetal raramente chega a 1% do seu peso seco. A presença de alguns desses componentes, como o cálcio, o fósforo e o enxofre, em dosagens elevadas, são prejudiciais e até mesmo limitantes, para determinadas finalidades industriais.

Conforme Andrade (2012), a cinza proveniente da queima da madeira se apresenta na forma sólida, em formatos e dimensões irregulares.

Em média a empresa consome 90 m³ de madeira por dia produzindo em torno de 900 quilos de cinza.

3.2 Cal

A cal tem sido utilizada pela humanidade desde as mais antigas civilizações, tendo participado em grandes obras que marcaram a história, principalmente como ligante dos materiais de construção de vários monumentos (Andrade, 1991). Também segundo Andrade(1991), a cal é usada em grande escala até os dias atuais por ser um dos aglomerantes mais baratos, apesar da tentativa de substituí-la por sais e resinas. Este aglomerante é obtido pela calcinação dos calcários calcínicos (CaCO_3) e dolomíticos (MgCO_3), através de uma reação química de decomposição térmica.

Atualmente a indústria da cal representa um importante papel no desenvolvimento das nações, não só pela multiplicidade de seus usos em uma economia moderna, mas também pelas suas características, e a rigidez locacional das jazidas, de levar empregos ao interior, mantendo o homem no campo. Pela multiplicidade de suas aplicações, a cal, virgem e hidratada, está entre os dez produtos de origem mineral de maior consumo mundial. O produto ganha ainda maior expressão quando se conhece o amplo leque de setores industriais e sociais que dele se utilizam, graças à sua dupla capacidade de agir como reagente químico e aglomerante ou ligante. (Ministério de Minas e Energia, 2009).

As reações químicas e físicas transformam o calcário em cal virgem. A calcinação que acontece no forno (Figura 1), se baseia em: calcário(CaCO_3) + calor = cal virgem ($\text{CaO}+\text{CO}_2$) (óxido de cálcio). É um produto bastante reativo, e quando em contato com água reage produzindo calor e hidróxido de cal (cal hidratada). Depois de concluída esta etapa, o produto ainda na sua forma bruta e “virgem” segue para seu ponto de beneficiamento (redução granulométrica) e estocagem, gerando grande quantidade de cinza (Votorantin, 2015).

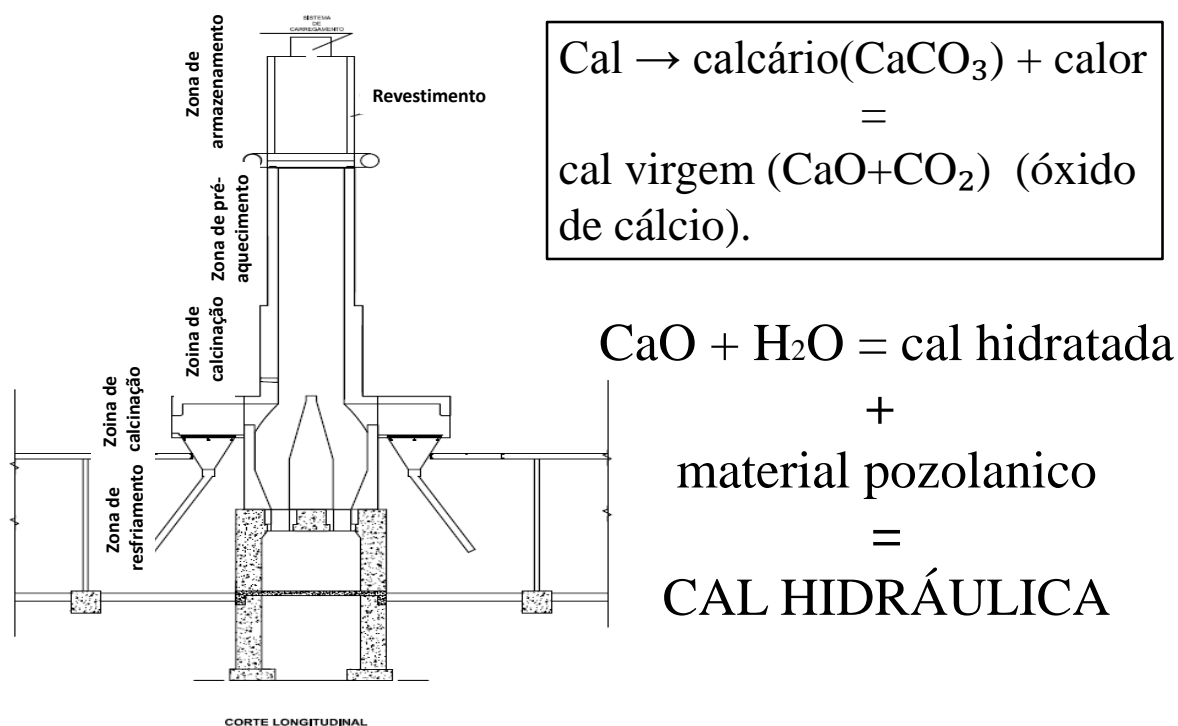


Figura 1- Forno para calcinação da cal.

3.3 Blocos

Bloco de concreto, segundo a norma CB-02(ABNT, 2010), é um componente básico da alvenaria que constitui a estrutura da construção (ver Figura 2). São componentes de grande aceitação na atualidade, versáteis, tendo aplicação na execução de muros divisórios, alvenaria estrutural e de vedação, execução de piscinas, etc. Não é difícil encontrar estes componentes nas lojas que comercializam materiais para construção (Revista escolher e construir, 2012)

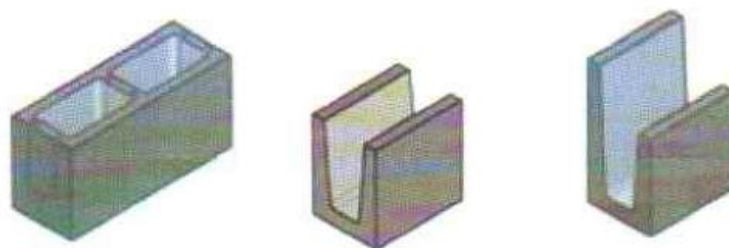


Figura 2- Blocos vazados e do tipo canaleta

Segundo a norma para tijolos maciços – NBR 7170 (ABNT, 1983), a resistência mínima à compressão exigida para tijolos de categoria A seria de no mínimo 1,5 MPa, para tijolos de categoria B, no mínimo 2,5 MPa e para tijolos de categoria C no mínimo 4 MPa.

Porém pela norma para blocos vazados de concreto simples para alvenaria, NBR 6136 (ABNT, 2007), a resistência característica à compressão dos blocos de concreto

estruturais deve ser considerada a partir de 2 MPa, enquadrada na classe D, para a classe C a exigência é de maior ou igual a 3 MPa, para classe B resistência maior ou igual a 4 MPa e para a classe A o bloco deve suportar resistência igual ou superior a 6 MPa, estas definem a construção não somente dos blocos vazados mas também de blocos tipo canaleta.

A partir de um modelo matemático, distribuição normal ou de Gauss, se estabelece um valor de erro para representar de maneira satisfatória a distribuição das resistências à compressão do concreto. O valor de resistência à compressão que apresenta uma probabilidade de 5% de não ser alcançado é denominado resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}). (Pacheco j. & Helene P., 2013)

Um fator importante a considerar é a proporção entre os materiais que irão compor a mistura. Segundo Andrade (1991), em ensaios realizados com cinza e cal acontece um aumento da resistência à compressão do corpo de prova com a concentração de cal na mistura, porém quando esta proporção alcança um quantidade em torno de 15% a 20% de cal, os ganhos de resistência praticamente cessam.

3.4 Meio ambiente e reciclagem

Atualmente grande parte dos processos com atividade econômica é fonte geradora de resíduos, na forma de gases, líquidos e sólidos, causando grande degradação ambiental, não contribuindo para um desenvolvimento sustentável (Moura et al. 2002).

Os impactos causados pela mineração geram conflitos sócio-ambientais pela falta de metodologias de intervenção, que reconheçam a pluralidade dos interesses envolvidos. O minerador brasileiro tem feito esforços para acompanhar as demandas atuais em torno da questão ambiental e a mineração. As empresas estão, em sua maioria, aplicando técnicas mais modernas e ambientalmente mais satisfatórias (Farias, 2012).

Também, segundo Farias (2012), as empresas de mineração estão percebendo a necessidade de internalizar os custos de recuperação ambiental e já reconhecem como legítimas as reivindicações das comunidades, incorporando em suas práticas a responsabilidade social e ambiental.

No modelo atual de produção, os resíduos sempre são gerados seja para bens de consumo duráveis (edifícios, pontes e estradas) ou não-duráveis (embalagens descartáveis). Neste processo, a produção quase sempre utiliza matérias-primas não-renováveis de origem natural. Este modelo não apresentava problemas até recentemente, em razão da abundância de recursos naturais e menor quantidade de pessoas incorporadas a sociedade de consumo. Comparativamente a países do primeiro mundo, a reciclagem de resíduos no Brasil como materiais de construção é ainda tímida, com a possível exceção da intensa reciclagem praticada pelas indústrias de cimento e de aço. Este atraso tem vários componentes. Em primeiro lugar, os repetidos problemas econômicos e os prementes problemas sociais ocupam a agenda de discussões políticas (Ângulo, Zordan e John, 2003).

A reciclagem de materiais tem assumido importância cada vez maior por razões não só econômicas, mas também ambientais, conseqüentemente a indústria mineral deve elaborar novas estratégias para se adequar às novas exigências. O gerenciamento ambiental na indústria brasileira não é uma simples adaptação da lei, sua necessidade pode ser definida como alto interesse esclarecido, que tende a proteger o meio ambiente e as próprias companhias. (Sánchez, L.P., 1993)

Segundo Barreto (2001), devemos ter em mente que o mercado globalizado se tornou altamente competitivo e que os países desenvolvidos detêm melhores condições nas áreas econômica, de recursos humanos, de infra-estrutura e, principalmente, de tecnologia. Por

outro lado, os países latino-americanos possuem grandes depósitos de recursos minerais e tecnologias mais simples e de domínio pleno para sua aplicação no dia a dia, recursos esses de vastas aplicações, em muitos casos insubstituíveis.

Barreto (2001) igualmente cita alguns pontos relevantes sobre sustentabilidade, tais como: buscar sempre atenuar e prevenir a degradação ambiental, reduzir a geração de resíduos e rejeitos, reaproveitar ao máximo os rejeitos primários reciclando e reutilizando novamente na produção ou buscando um novo uso para os materiais, assim executando a limpeza das áreas industriais, reduzindo a deposição dos materiais e consequentemente diminuindo a geração de drenagens ácidas não ameaçando a qualidade das águas. Importante também a redução dos níveis de poeira e gases minimizando os impactos visuais garantindo a segurança, a saúde e a higiene dentro da empresa e nas comunidades do entorno.

4. Materiais e métodos

Para conseguir os objetivos propostos foi aplicada a metodologia descrita abaixo.

Como primeira etapa, realizou-se um levantamento dos materiais existentes que poderiam ser usados na produção de blocos ou outros artefatos de cimento. Este levantamento foi feito por meio de observação em todos os meios de produção da indústria que geram resíduos, como os fornos para a queima da cal, secadores de areia e na moagem do calcário. Esta observação levou em conta a granulometria, a continuidade com que é produzido, o volume de material gerado e o incômodo que é causado pelo espaço que sua deposição ocupa. Além deste material não trazer nenhum tipo de lucro financeiro para a empresa, acaba gerando gastos pois tem de ser transportado para um local adequado. Em seguida foram selecionados os materiais que fariam parte realmente do estudo, tendo como requisitos para esta seleção a granulometria, de modo que a mesma não fosse tão grosseira não exigindo uma redução no tamanho dos grãos e a quantidade de volume que é gerado diariamente.

Na segunda etapa foi realizada a caracterização dos materiais selecionados, sendo feita a análise granulométrica juntamente com a fluorescência de raio X (XRF) que leva em conta a composição química da amostra.

A terceira etapa foi a elaboração de traços para confecção dos moldes, ou seja, a quantidade de cada material que iria compor os corpos de prova. Esta definição foi baseada, inicialmente, em dados bibliográficos. Na sequência foi realizada a confecção das amostras com auxílio de equipamentos do laboratório (empresa parceira), e as mesmas adequadamente colocadas em locais para a cura.

Para a quarta etapa foram dedicados os testes de compressão, continuando também a moldagem dos corpos de prova, pois os mesmos precisam de vinte e oito dias até a cura final.

4.1 Primeira etapa: seleção dos materiais

Nesta etapa foi cumprido o primeiro objetivo específico, determinado quais os materiais que serão usados no estudo, que foram:

4.1.1 Areia

No processo atual, a empresa utiliza areia vinda da cidade de Cacequi (Figura 3,-a), devido à regularidade de qualidade. Porém, esta areia não vem com uma granulometria adequada ao padrão de qualidade da empresa para a produção de suas argamassas. No

momento em que ela passa pelo secador para a retirada de sua umidade, passa também por peneiras, onde a fração que fica retida na peneira de número 16 ($>1,18\text{mm}$) da ABNT é descartada. Mesmo assim, quantidades de areia com granulometrias menores são descartadas junto, o que fica bem explícito na análise granulométrica (Tabela 3).

4.1.2 Cinza da queima da madeira

A cinza da queima da madeira (Figura 3,-b), foi coletada no momento de sua saída do forno pra evitar que houvesse misturas com materiais do seu entorno (resíduos da cal). Foi resfriada com água para permitir seu manuseio e seca. Na sequência, foi peneirada, ficando separada em frações retidas nas peneiras 10, 16, 20, 30 e passante na peneira 30(ASTM USS), sendo que foi usada a fração passante na peneira 30 ($> 0,600\text{ mm}$) por ser a que continha menos quantidade de grãos irregulares.

4.1.3 Cal hidráulica

Fabricada no município de Caçapava do Sul, na empresa Dagoberto Barcellos, foi usada conforme é produzida na empresa, tendo sido utilizado para uso no estudo um saco de 20 kg deste material. A cal hidráulica (Figura 3,-c), é composta de cal hidratada com adição de cinza mineral, sendo sua proporção em média 60 e 40 por cento, respectivamente.

A Figura 3 apresenta os materiais utilizados para a produção dos corpos de prova:



Figura 3- Areia (a), cinza da queima da madeira (b) e cal hidráulica (c).

4.2 Segunda etapa: caracterização

4.2.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica consiste na determinação das dimensões das partículas que constituem as amostras e no tratamento estatístico dessa informação. Sendo realizada a determinação das dimensões das partículas individuais e estudada a sua distribuição, quer pelo peso de cada classe dimensional considerada, quer pelo seu volume, ou ainda pelo número de partículas integradas em cada classe.

No caso da cinza proveniente da queima da madeira esta análise visa encontrar a fração que contenha grãos com a forma parecida, eliminando, neste primeiro estudo, as frações com grãos muito irregulares.

A análise granulométrica foi realizada com a ajuda de peneiras que seguem as normas da ABNT. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Lavra, Planejamento e Tratamento de Minérios (LATRAM) no campus da Unipampa de Caçapava do Sul.

As malhas das peneiras usadas para a análise foram:

PENEIRAS		
ASTM USS	MESH TYLER	ABERTURA mm
7	7	2,8
10	9	2
16	14	1,18
20	20	0,850
30	28	0,600
50	48	0,300

Tabela 1– Abertura das peneiras.

4.2.2 Fluorescência de raio X

A Espectrometria de Fluorescência de Raios X (XRF) é uma das melhores técnicas para análises elementares em qualquer tipo de amostra. Estas podem ter matriz orgânica ou inorgânica, na forma sólida, líquida ou em pó. A técnica utiliza sinais de raios-X para excitar uma amostra desconhecida, os elementos individuais presentes na amostra emitem seus raios-X característicos (fluorescentes).

O equipamento detecta estes raios-X e qualitativamente, determina quais elementos estão presentes no material. O princípio do método é muito simples. Utiliza-se uma fonte de radiação X para ionizar os níveis internos dos átomos constituintes da amostra, por efeito fotoelétrico. Na reorganização do átomo e regresso ao estado fundamental, estes átomos podem libertar o excesso de energia através da emissão de um fóton X, de energia igual à diferença de energia de ligação dos níveis entre os quais se deu a transição. Esta radiação é característica do elemento. A detecção e análise deste espectro permite a identificação e quantificação dos elementos constituintes da amostra. Após o ensaio o programa gera um relatório com o resultado das concentrações e o desvio padrão, para isto em cada análise o equipamento realiza três leituras.

Trata-se de uma técnica não destrutiva e que na maior parte dos casos não necessita de qualquer preparação prévia da amostra, permitindo ainda a detecção simultânea dos diferentes elementos constituintes do material amostrado.

O teste foi realizado no LATRAM no campus da Unipampa de Caçapava o Sul, usando-se a quantidade de 10g de cada material. O mesmo tendo condições originais de como foi coletado para que o resultado se desse com o material com as mesmas especificações que será usado nos testes. O equipamento usado para o ensaio é da marca Bruker, modelo S1 turbo SD (Figura 4).



Figura 4- Equipamento para ensaio de fluorescência de raio x.

4.3 Terceira etapa – elaboração do traço do concreto

A terceira etapa está dedicada a elaboração dos traços para produção dos corpos de prova e a confecção dos mesmos.

4.3.1 Traço

A relação entre as proporções dos materiais componentes (areia, cal, água, cinza da queima da madeira) é denominada traço e pode ser especificado em massa, em volume ou em peso. As proporções de cinza da queima da madeira, cal e areia definirão se as argamassas serão mais fortes e resistentes a agentes agressivos ou não, em função da finalidade de uso.

Determinados os materiais a serem utilizados, foram então definidos os traços (Tabela 2 e Figura 5), para a produção dos corpos de prova. Estas quantidades iniciais foram obtidas através de pesquisa bibliográfica realizada anteriormente.

A umidade dos materiais não foi analisada, pois pretendia-se obter os resultados o mais próximo possível de como seria se realmente acontece a produção dos artefatos.

A quantidade de água usada para um quilo de massa produzida foi de 200 ml. Chegou-se a esta quantidade por meio de tentativa e erro, pois foi-se adicionando água até que a massa ficasse maleável o suficiente (com trabalhabilidade) para ser colocada nas formas.

TRAÇO	AREIA REJEITADA						TOTAL DE AREIA	CINZA DA QUEIMA DA MADEIRA	CAL HIDRÁULICA	TOTAL
	> 2,8mm	> 2mm	> 1,8mm	> 0,850 mm	>0,600mm	> 0,300mm				
1(Quant. %)		10	10	10	10	10	50	30	20	100
2(Quant. %)		10	10	10	10	10	50	20	30	100
3(Quant. %)		10	10	10	10	10	50	10	40	100
4(Quant. %)	10	10	10	15	10	10	65	10	25	100

Tabela 2- Traços separados por frações usados na produção dos corpos de prova.

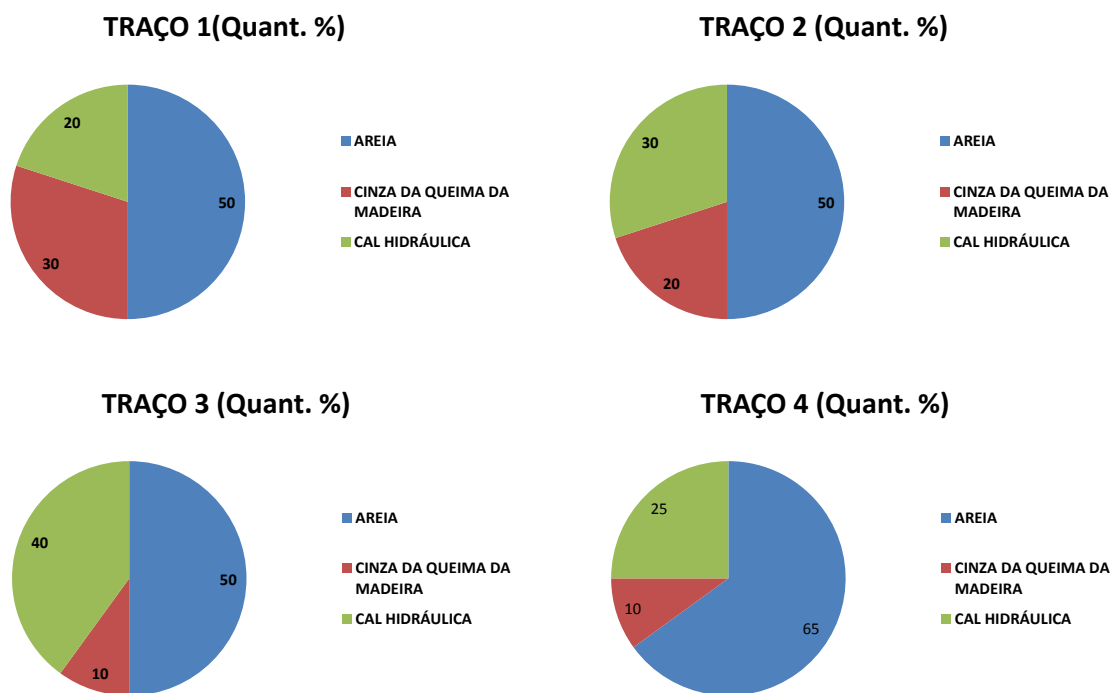


Figura 5- Traços utilizados para produção dos corpos de prova.

4.3.2 Moldagem dos corpos de prova

Após a definição dos traços, foi executada a moldagem dos corpos de prova (Figura 6). Para isto utilizou-se uma balança eletrônica de marca Toledo com capacidade para onze quilos, para pesar os materiais de modo que o traço ficasse exatamente como o definido. Os materiais pesados foram colocados cada um em sua proporção chegando a um montante de dois quilos em uma argamassadeira da marca Emic, modelo AG 5 com capacidade para cinco litros com dois estágios de funcionamento, sendo misturados os materiais no primeiro estágio de funcionamento do equipamento por 4 minutos e por mais um minuto no segundo estágio. Durante este processo ocorreu a adição de água a mistura, sendo a mesma colocada aos poucos e a quantidade de água utilizada foi de 400 ml para dois quilos, de modo que a massa ficou suficientemente maleável.

A massa então foi colocada nos moldes, que são compostos de forma cilíndrica e base, rosqueada, ambas de metal não corrosível, com diâmetro interno de 50 ($\pm 0,2$) mm e altura 100 ($\pm 0,5$) mm, de marca Secmix, vibrada em um agitador de peneiras para evitar que ficassem bolhas de ar no interior da massa e que todos os moldes ficassem completos pelo material de forma homogênea. A superfície do corpo deve estar totalmente plana, pois ao contrário os moldes teriam de ser serrados para que as saliências ou deformidades na superfície do bloco não alterassem os resultados dos testes.

Foram confeccionados para cada traço doze moldes, sendo necessário a produção de duas massas, pois em média com dois quilos é possível preencher seis moldes, do total de moldes produzidos seis ficaram expostos ao tempo e outros seis ficaram em um recipiente totalmente cobertos por água. Os corpos de prova foram desenformados após dois dias, mas ficando nos mesmos locais já citados para sua cura até o final dos testes.



Figura 6- Argamassadeira (a) e corpos de prova sendo preenchidos com massa (b).

4.3.3 Cura

A cura adequada é fundamental para o concreto alcançar um melhor desempenho. Uma cura inadequada causará redução da resistência e da durabilidade do concreto, provocando fissura e deixando a camada superficial fraca, porosa e permeável, vulnerável à entrada de substâncias agressivas provenientes do meio-ambiente.

Segundo a norma da NBR-5338 (ABNT, 2003), durante as primeiras 24 horas todos os corpos de prova devem ser armazenados em local protegido de intempéries sobre uma superfície horizontal rígida livre de vibrações ou qualquer outra coisa que possa perturbar o molde alterando a sua forma, deve ser coberto com material não reativo e não absorvente com a finalidade de evitar a perda de água do concreto.

Para este estudo foi usada a cura úmida, ficando as peças em um recipiente cobertas por água até os vinte e oito dias e a cura a seco onde as peças ficam expostas ao tempo, mas em local coberto durante os dias que antecedem os testes.

4.4 Quarta etapa: ensaios de compressão - ruptura dos corpos de prova

4.4.1 Teste de compressão

A resistência do concreto é basicamente função do volume de vazios. A relação entre a resistência e o volume total de vazios não é uma propriedade apenas do concreto, pois é encontrada também em outros materiais frágeis, nos quais se formam poros por ação da água. Em relação a compressão, ela é diretamente relacionada com a qualidade do material, com a sua estrutura interna e a durabilidade.

Conforme os resultados, se terá a viabilidade da aplicação dos materiais, utilizando como parâmetro as normas para tijolos maciços – NBR 7170 (ABNT, 1983) (Tabela) E para blocos vazados de concreto simples para alvenaria e a NBR 6136 (ABNT, 2007) (Tabela 3).

NBR 7170. Tijolo maciço cerâmico para alvenaria.	NBR 6136- Blocos vazados de concreto simples para alvenaria.
CATEGORIAS	CATEGORIAS
Categoria A($\geq 1,5$ MPa)	Categoria A(≥ 6 MPa)
Categoria B($\geq 2,5$ MPA)	Categoria B(≥ 4 MPA)
Categoria C(≥ 4 MPa)	Categoria C(≥ 3 MPa)
	Categoria D(≥ 2 MPa)

Tabela 3- Categorias segundo a resistência a compressão.

Esta compressão é um esforço axial que tende a provocar um encurtamento ou até mesmo o rompimento do corpo submetido a este esforço. Em ensaios de compressão realizados em concretos são produzidos corpos-de-prova com dimensões padronizadas que são submetidos a uma força axial distribuída de modo uniforme em toda seção transversal da amostra.

Os testes foram realizados com tempos de cura de sete e vinte e oito dias. Para isto foi usada uma prensa elétrica digital com capacidade para 100 toneladas da marca Contenco de modelo I-3025-b, que está no LATRAM da Universidade Federal do Pampa, no campus de Caçapava do Sul.

O equipamento ainda não estava em funcionamento, por conta disto foi necessário participar da sua instalação, atuando na preparação da parte elétrica, instalação e calibração da prensa.

Foram testados três corpos de prova para cada idade e feita uma média para se obter um resultado mais exato e a partir destes três resultados foi gerado também o desvio padrão.

O corpo de prova foi posicionado no equipamento, ficando corretamente centrado para que não ocorressem erros. Após, era ligada a bomba hidráulica do equipamento, fechada a válvula de descarga e aberta a válvula de incremento de carga, assim acionando-se o pistão da prensa que subia a uma velocidade pré-estabelecida, após o rompimento do corpo de prova (Figura 7) o ensaio era encerrado fechando-se a válvula de incremento de carga e sendo aberta a válvula de descarga.

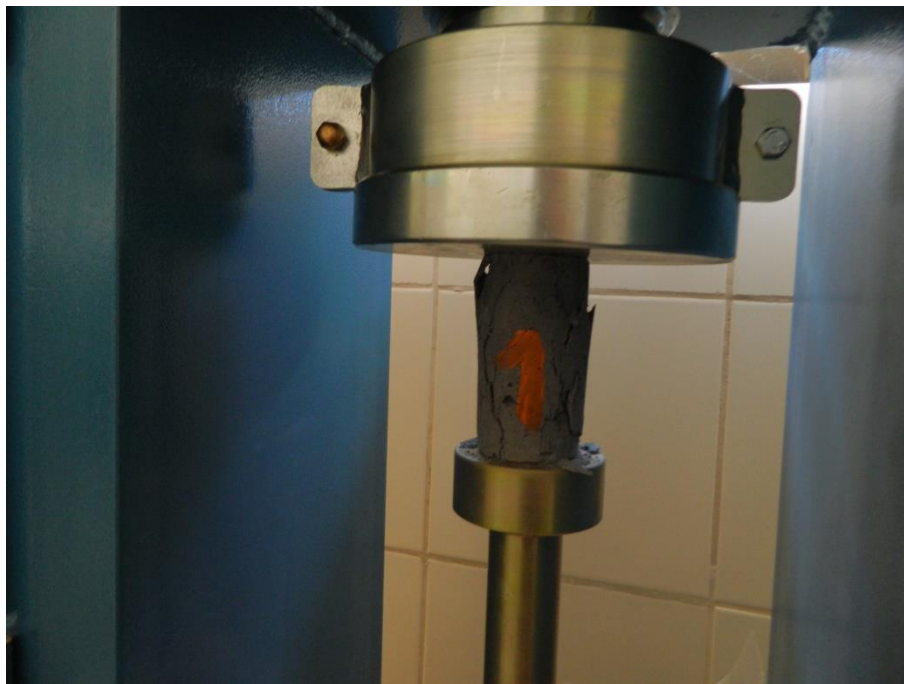
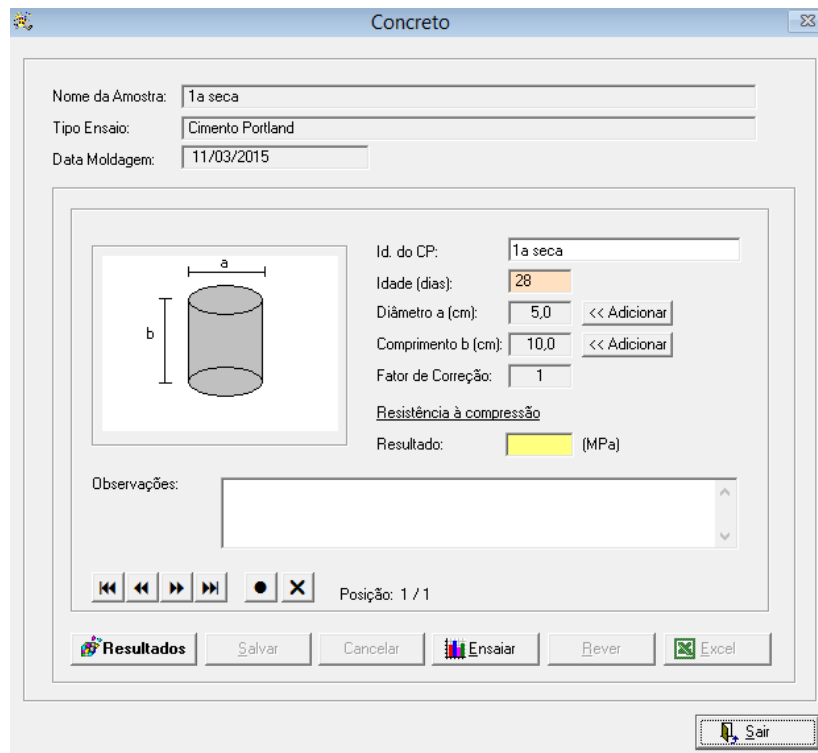


Figura 7- Corpo de prova rompido após o termino do ensaio.

4.4.2 Análise dos resultados

Os resultados foram obtidos a partir dos dados gerados na prensa com o auxílio do software Pavitest para ensaios de concreto. Este software permite a criação de um banco de dados com as amostras, onde são cadastrados os dados do corpo de prova, tais como: número e nome da amostra, a data da moldagem do corpo, o dia de cura em que o teste for realizado, além da norma que será utilizada para o ensaio. Em nossos testes a norma utilizada foi a NBR 7215- Cimento Portland- Determinação de resistência a compressão, norma esta que já vem pré-estabelecida no software. Também deve ser inserido o diâmetro e comprimento do corpo de prova, onde o próprio programa gera o fator de correção (Figura 8).



The screenshot shows the 'Concreto' window in the Pavitest software. It contains the following fields and controls:

- Nome da Amostra: 1a seca
- Tipo Ensaio: Cimento Portland
- Data Moldagem: 11/03/2015
- Diagrama de um corpo cilíndrico com diâmetro 'a' e comprimento 'b'.
- Id. do CP: 1a seca
- Idade (dias): 28
- Diâmetro a (cm): 5,0 (with '<< Adicionar' button)
- Comprimento b (cm): 10,0 (with '<< Adicionar' button)
- Fator de Correção: 1
- Resistência à compressão: Resultado: [] (MPa)
- Observações: []
- Controles de navegação: [] [] [] [] [] [] []
- Posição: 1 / 1
- Botões: Resultados, Salvar, Cancelar, Ensaiar, Rever, Excel, Sair

Figura 8- Software Pavitest: detalhe do cadastro dos corpos de prova.

Depois de iniciado o ensaio, o programa gera um gráfico que pode ser visualizado em termos de tensão (MPa) por tempo (s), ou carga (Kgf) por tempo (s). A leitura de dados deste gráfico dá-se por intervalos já pré configurados e o fim do ensaio acontece por uso do botão finalizar ou quando houver uma redução de carga que é definida antes do início dos testes. Também é possível visualizar as leituras de carga, tensão e tempo na tela do programa.

Sempre que o ensaio é finalizado manual ou automaticamente é aberta uma janela de confirmação de gravação de dados, se confirmada a gravação é gerado um relatório simplificado juntamente com o gráfico e também um arquivo excel com todos os dados do teste.

5. Resultados e discussões

5.1 Análise granulométrica

Na Tabela 3 é apresentada a granulometria dos materiais, ou seja, da areia, da cinza e da cal hidráulica. Observando a granulometria da areia percebemos que mesmo ela sendo retida na peneira 16 (1,18 mm) durante o processo de secagem, contém uma quantidade significativa de granulometrias menores (< 1,18 mm). Já a cinza da queima da madeira teve a sua maior quantidade de retidos na peneira 20 (0,850 mm), mas no estudo foi usado o passante na peneira 30 (0,600 mm) por ser a fração que já não continha grão com formatos muito diferentes entre si. A cal hidráulica neste estudo se mostrou dentro do que estabelece o padrão de qualidade da empresa onde o limite de material retido na peneira 30(0,600 mm) não deve ultrapassar 0,5% da amostra.

PENEIRAS	Areia	Cinza	Cal hidráulica
10	0,8	9,99	0
16	0,68	9,13	0
20	0,68	54,3	0
30	1,98	23,54	0
50	95,44	3	0,44
> 50	0,42	0,04	99,56
TOTAL	100	100	100

Tabela 4- granulometria.

5.2 Composição química-Fluorescência de raio x

Como elementos que mais aparecem temos MgO, Al₂O₃, SiO₂, K₂O, CaO e Fe₂O₃. Sendo que na areia o componente que mais aparece é o SiO₂, que corresponde a 28,9% da composição. A cal hidráulica tem em maior proporção o CaO, mas também contém quantidades significativas de MgO, Al₂O₃, SiO₂ e Fe₂O₃, provenientes da mistura da cinza do carvão mineral vinda de Candiota, que é misturada a cal hidratada para formar a cal hidráulica. A cinza da madeira apresenta um dado interessante que é a quantidade de CaO que chega a 11,8% de sua composição, mas que provavelmente seja devido a alguma contaminação pelo próprio resíduo da cal gerado na calcinação nos fornos ou pela própria poeira da moagem da cal virgem que está sempre presente, também contém Al₂O₃, SiO₂, Fe₂O₃, além de outros elementos como K₂O, P₂O₅, S, Cl, TiO₂. Estes dados estão apresentados na tabela 4.

ELEMENTO	AREIA		CAL HIDRÁULICA		CINZA DA MADEIRA	
	CONCENTRAÇÃO(%)	DESVIO PADRÃO(%)	CONCENTRAÇÃO(%)	DESVIO PADRÃO(%)	CONCENTRAÇÃO(%)	DESVIO PADRÃO(%)
Oxido de magnésio MgO	2,25	1,41	5,24	3,25	0	0
Oxido de alumínio Al ₂ O ₃	1,86	0,26	2,14	0,47	2,82	0,42
Oxido de sílica SiO ₂	28,9	0,38	5,48	0,23	4,92	0,21
Oxido de fósforo P ₂ O ₅	0	0	0	0	0,39	0,05
Enxofre S	0	0	0	0	0,18	0
Cloro Cl	0,03	0	0,11	0	0,61	0
Oxido de potássio K ₂ O	0,27	0	0,45	0,1	3,21	0,01
Oxido de cálcio CaO	0,8	0	29,9	0,03	11,8	0,01
Oxido de titânio TiO ₂	0,06	0	0,1	0,01	0,23	0
Oxido de ferro Fe ₂ O ₃	0,46	0,2	2,11	0,12	2,43	0,09
Oxido de cobalto Co ₃ O ₄	0	0	0,12	0,04	0,05	0,03
Oxido de cobre CuO	0,01	0	0	0	0	0
Oxido de zinco ZnO	0	0	0,01	0	0,02	0

Tabela 5– Concentração química completa dos materiais utilizados obtidos por fluorescência de raios-X.

5.3 Resistência à compressão

Com este ensaio foi possível cumprir o quarto objetivo específico, ao final do mesmo obtemos os resultados de cada corpo de prova em um gráfico e em dados de uma planilha excel.

As figuras 8 e 9 abordam gráficos tensão x tempo produzidos durante testes com a amostra do traço 4, sendo a figura 8 o gráfico da amostra que teve a cura a seco a figura 9 a amostra de cura úmida.

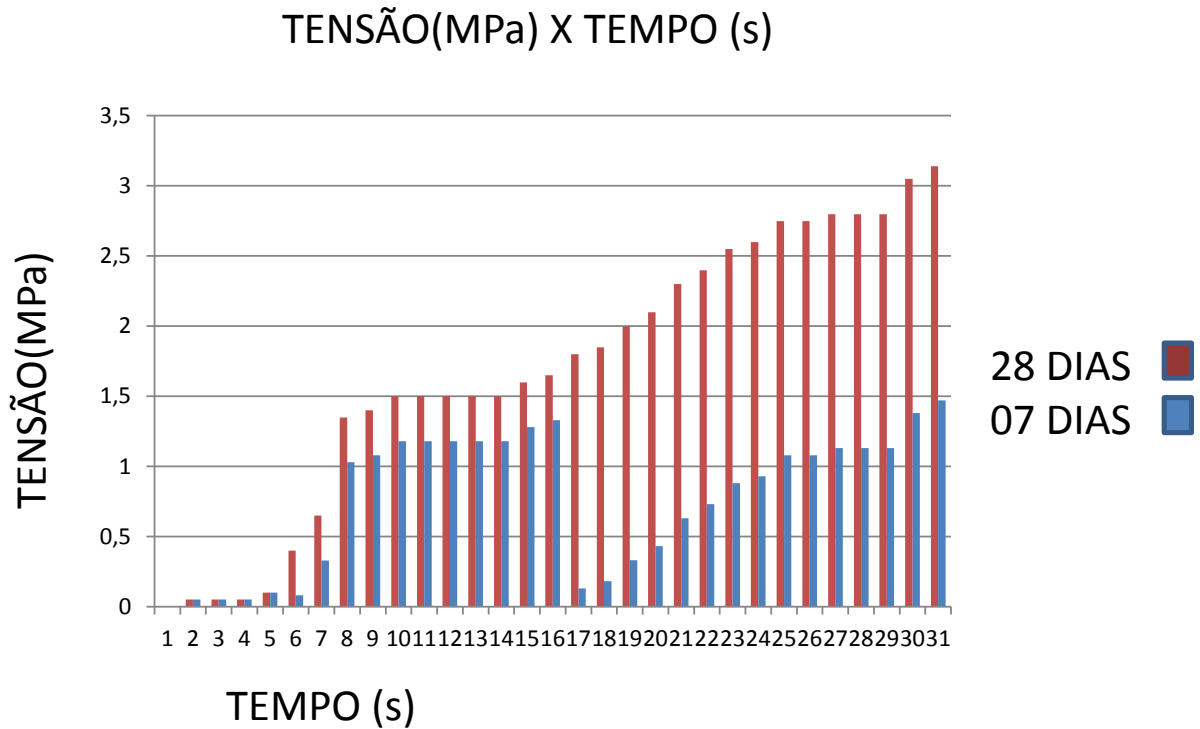


Figura 9– Ruptura da amostra 4 com cura seca.

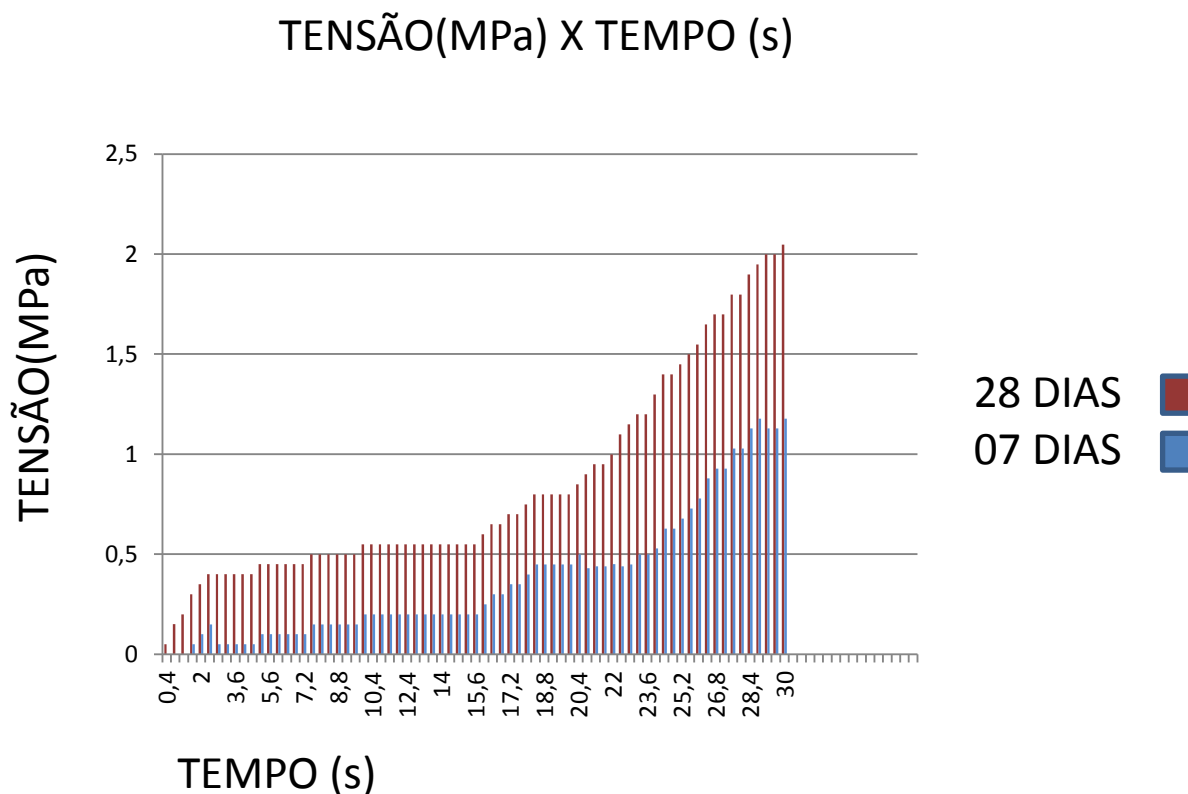


Figura 10- Ruptura da amostra 4 com cura úmida.

É aparente a diferença entre a amostra que teve sua cura a seco e amostra que teve sua cura úmida. O valor da amostra com cura seca chega a ser o dobro da amostra úmida, mas este resultado não representa todos os traços, já que alguns tem resultados bem próximos. Um outro estudo deverá se comprometer a estudar o porquê destes resultados, se esta diferença se dá pela adição da cinza da queima da madeira ou por um outro condicionante.

A tabela 5 e a figura 11 abaixo apresetam os resultados do teste de compressão juntamente com os traços utilizados:

	Nº amostra	Teor de materia prima %de peso			Resistência em MPa (médias)			
		Cinza	Areia	Cal hidráulica	07 dias	Desvio p.	28 dias	Desvio p.
TRAÇO 1	1 seca	30	50	20	1,27	0,06	1,53	0,25
	1 úmida	30	50	20	1	0,25	1,57	0,21
TRAÇO 2	2 seca	20	50	30	1,12	0,11	2,27	0,46
	2 úmida	20	50	30	1,03	0,25	2,03	0,47
TRAÇO 3	3 seca	10	50	40	1,2	0,2	3	0,53
	3 úmida	10	50	40	1,03	0,06	3,07	0,61
TRAÇO 4	4 seca	10	65	25	1,47	0,15	3,13	0,31
	4 úmida	10	65	25	1,12	1,17	2,03	0,67

Tabela 6- Resultado ensaio de compressão.

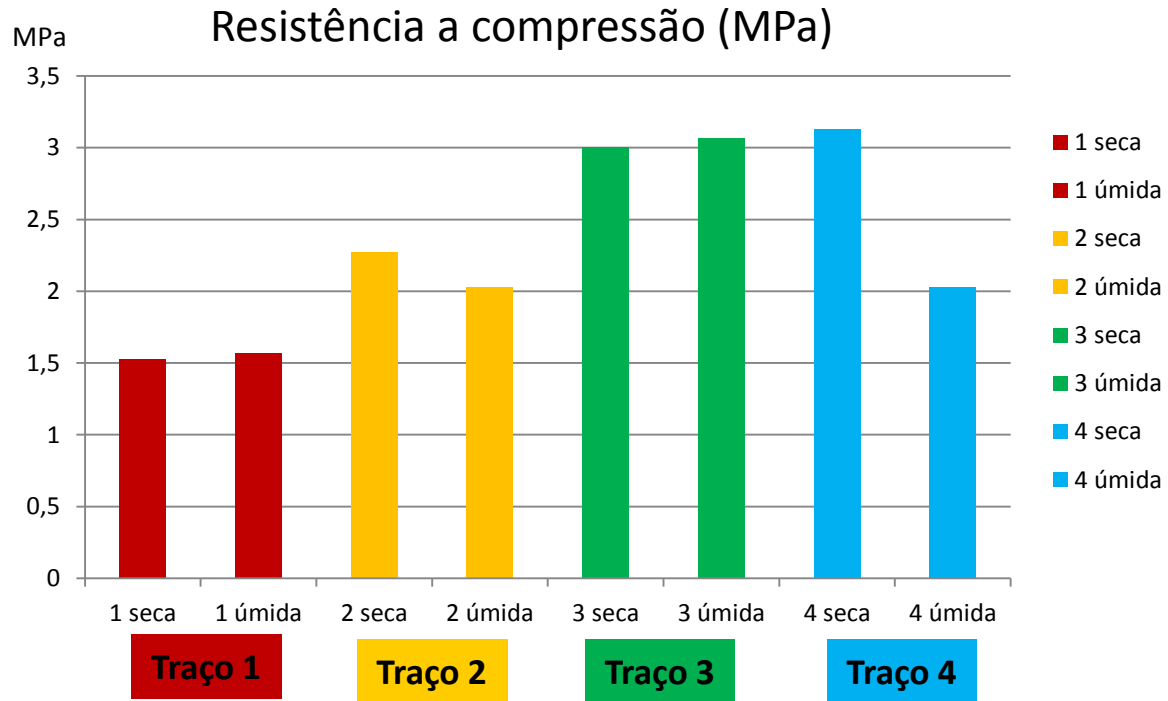


Figura 11- Resultado dos testes de resistência a compressão.

Se analisarmos os dados pela norma para blocos vazados de concreto simples para alvenaria NBR 6136 (ABNT, 2007), a amostra 3 seca se enquadra na categoria D que exige 2MPa, e as amostras 3 úmida e 4 seca estão dentro da classe C que exige resistência igual ou superior a 3 MPa como mostra a tabela 6.

NBR 6136				
CATEGORIAS	TRAÇO 1	TRAÇO 2	TRAÇO 3	TRAÇO 4
Categoria A(≥ 6 MPa)				
Categoria B(≥ 4 MPa)				
Categoria C(≥ 3 MPa)			X	X
Categoria D(≥ 2 MPa)		X		

Tabela 7- Categorias de resistência a compressão segundo a norma da ABNT, NBR-6136

Analisando pela NBR 7170 (ABNT, 1983), norma para tijolos maciços, vemos que todas as amostras, exceto a 4 úmida, se enquadram na norma na classe A com resistência mínima de 1,5 MPa, e as amostras 3 seca e úmida e 4 seca podem ser classificadas como de categoria B, pois ultrapassam os 2,5 MPa exigidos (Tabela 7).

NBR 7170				
CATEGORIAS	TRAÇO 1	TRAÇO 2	TRAÇO 3	TRAÇO 4
Categoria A($\geq 1,5$ MPa)	X	X		
Categoria B($\geq 2,5$ MPa)			X	X
Categoria C(≥ 4 MPa)				

Tabela 8- Categorias de resistência a compressão segundo a norma da ABNT, NBR-7170

Pela tabela 5 percebe-se que as amostras que continham maior quantidade de cal, no caso a amostra 3, teve uma das maiores resistências à compressão, porém se analisarmos a amostra 4, que contém maior quantidade de areia de uma granulometria maior vemos também uma boa resistência.

Comparando os resultados do traço 1 com o traço 3, vemos uma grande diferença nos resultados. Isto se deve a maior proporção de cal hidráulica no traço 3 atuando como ligante e menor proporção de cinza, assim a cal conseguiu ligar a maior parte dos grãos, consequentemente a amostra ficando mais resistente a compressão.

6. Conclusões

Através deste estudo, concluímos que é possível a produção de blocos e tijolos com os materiais resíduos estudados. Ressaltamos que não foi utilizado cimento para a fabricação dos mesmos pois neste primeiro estudo foram usados somente materiais produzidos na empresa, na forma de produtos ou resíduos.

A confecção destes blocos, além de evitar o processo de queima utilizado nos tijolos cerâmicos, onde consequentemente não havendo a queima há uma importante redução na emissão de CO₂, ainda minimiza os impactos ambientais através da redução da extração de mais recursos naturais, diminuindo o consumo de matérias-primas, se comparada com as tecnologias tradicionais de fabricação de blocos cerâmicos. Além disso, aumenta a vida útil dos aterros existentes, disponibilizando estes apenas para o descarte de resíduos sem condições de reciclagem.

Destaco, igualmente, que com a incorporação destes resíduos em novos processos produtivos é possível estimular a redução de preço nos custos de produção, já que não haverá custo para extração do material, além da criação de uma nova fonte econômica há a geração de novos postos de trabalho, propiciando renda para a comunidade.

Por todos estes motivos, torna-se importante estudos de viabilidade econômica, com a incorporação de outros materiais, além do acréscimo de ligantes.

7. Propostas para próximos estudos

Utilizar outros materiais gerados por mineração de calcário como a areia calcária, o resíduo produzido durante as limpezas e o material inerte que vem junto com o material de interesse da mina.

Além disso, seria interessante, também, a adição de cimentos ou outros ligantes aos traços já executados, verificando a melhoria na resistência a compressão. Estes resultados poderiam ser comparados com os resultados obtidos neste estudo, podendo então viabilizar, inclusive, a produção de blocos para pavimentos que necessita de uma resistência a compressão mais elevada.

Em termos de durabilidade, é importante igualmente a realização futura de testes de durabilidade como ataques químicos por cloretos, sulfatos, nevoa salina e carbonatação, além de ensaios de corrosão.

Por fim, faz-se necessário um estudo de viabilidade econômica, fazendo uma comparação de valores com os blocos de concreto e os blocos produzidos com cinza da queima da madeira sem a adição de cimento.

8. Referências bibliográficas.

ANDRADE C.; Materiais para construção civil a base de cinzas de madeira, lodo de eta e resíduos da produção de cal. 56p. (2012)

ANDRADE, A.C.F.; Tijolos de cinza volante e cal, estudo de desempenho quanto a resistência, absorção, durabilidade e aderência. Dissertação de mestrado UFRGS, (1991).

ÂNGULO, S.C.; ZORDAN S. E.; JOHN V. M.; Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. (2003)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12270-2. Componentes cerâmicos Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos. (2005)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738. Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.(2003)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739. Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.(1994)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7170. Tijolo maciço cerâmico para alvenaria.(1983)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215- Cimento Portland- Determinação de resistência a compressão. (1996)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6136- Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos. (2007)

BARRETO M.L.; Ensaio sobre a sustentabilidade da mineração no Brasil. Rio de Janeiro. CETEM/MCT, 130P. 2001.

FARIAS, C.E.G.; Mineração e meio ambiente no Brasil. 40p. (2012)

FERREIRA A. M. C.; TANURE R. L. Z.; Aplicação de resíduos industriais de lodo de papel, cinza de madeira e cal no desenvolvimento de blocos de vedação. (2010)

LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L.S.; ALBUQUERQUE, R. C.; FERREIRA, G.B.; SAMPAIO, L. R.; BELTRÃO, N. E. M. Capacidade da cinza de madeira e do esterco bovino para neutralizar o alumínio trocável e promover o crescimento da mamoneira. Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibras., Campina Grande, v.13, n.1, p.9-17, jan/abr. 2009.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2011, ANO BASE 2010., <https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2011.aspx>

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – PERFIL DA CAL. 39P. (2009)

MOURA A.W.; GONÇALVES J.P.; LEITE R.S.; Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso. (2002)

PACHECO J.; HELENE P.; Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción. Boletín técnico, Controle da resistência do concreto. (2013)

REVISTA ESCOLHER E CONSTRUIR. Rio de Janeiro, ABRAPG, 2012.

SÁNCHEZ L.P.; Gerenciamento ambiental e a indústria da mineração. (1993)

SOUZA, F. R. de Compósito de lodo de estação de tratamento de água e serragem de madeira para uso como agregado graúdo em concreto. 2009. 209 p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, (2010).

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L.M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de Eucalyptus Saligna. http://www.dcf.ufla.br/cerne/artigos/16-02-20093358v2_n1_artigo%2009.pdf

VOTORANTIM. Processo de fabricação da cal. 2013. Disponível em: < http://www.vcimentos.com.br/htms-ptb/Produtos/Cal_procFabricacao.html >. Acesso em: 05 de janeiro de 2015.