

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

BRUNO ACOSTA FLORES

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS ORIUNDOS DA MINERAÇÃO NA
PRODUÇÃO DE BLOCOS ECOLÓGICOS**

Caçapava do Sul/RS

2017

BRUNO ACOSTA FLORES

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS ORIUNDOS DA MINERAÇÃO NA
PRODUÇÃO DE BLOCOS ECOLÓGICOS**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação *Stricto sensu* em Tecnologia Mineral da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Tecnologia Mineral.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Daniel da Cunha Kemerich

Caçapava do Sul

2017

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

F634a FLORES, Bruno Acosta
APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS ORIUNDOS
DA MINERAÇÃO NA PRODUÇÃO DE BLOCOS
ECOLÓGICOS / Bruno Acosta FLORES.

62 p.

Dissertação(Mestrado)-- Universidade Federal do Pampa,
MESTRADO EM TECNOLOGIA MINERAL, 2017.
"Orientação: Prof. Dr. Pedro Daniel da Cunha Kemerich".

1. Mineração. 2. Resíduo. 3. Sustentabilidade. 4. Blocos.
5. Ecológicos. I. Título.

BRUNO ACOSTA FLORES

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS ORIUNDOS DA MINERAÇÃO NA PRODUÇÃO DE
BLOCOS ECOLÓGICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação
Stricto sensu em Tecnologia Mineral da Universidade
Federal do Pampa, como requisito parcial pra obtenção do
Título de Mestre em Tecnologia Mineral.

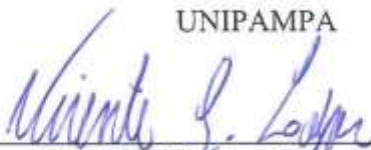
Área de concentração: Gestão ambiental e sustentabilidade
na mineração

Dissertação defendida e aprovada em: 15 de setembro de 2017.

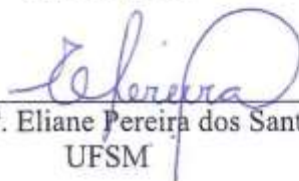
Comissão examinadora:



Prof. Dr. Pedro Daniel da Cunha Kemerich
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Dr. Vicente Guilherme Lopes
UNIPAMPA



Prof.ª Dr.ª Eliane Pereira dos Santos
UFSM



Prof. Dr.ª Anelise Marlene Schmidt
UNIPAMPA

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus,

À toda minha família,

Agradeço a Dagoberto Barcellos que abriu as portas para que eu pudesse desenvolver minha pesquisa e seus colaboradores,

Agradeço a UNIPAMA e a todos os colaboradores da mesma.

Ao LATRAM - Laboratório de Lavra e Tratamento de Minérios, onde foram realizados os ensaios de resistência.

Agradeço ao meu professor, orientador e amigo Pedro Daniel da Cunha Kemerich pelo empenho na orientação do presente trabalho.

Agradeço aos meus amigos Gustavo Scaburi e Willian Borba, que contribuíram para a conclusão deste estudo.

A Cristina Bertoi Fleck pela sua colaboração, que foi de grande importância, principalmente nas etapas em que foi necessário realizar os ensaios em laboratório.

Ao Marcelo Veber, Guilherme Ilha, Jonas Beraldo, Mab Raisal Leão, Cassia Freitas, que tiveram papel fundamental nesta pesquisa, não medindo esforços para colaborar com o desenvolvimento deste trabalho.

A minha amiga, colega e namorada Joseane Schroeder, que também teve um papel crucial neste trabalho, me auxiliando nas pesquisas e me aturando nas horas mais complicadas.

Agradeço aos professores, Regis Paranhos, Anelise Schmidt, Ítalo Goncalves e Vicente Lopes que colaboraram com o desenvolvimento deste trabalho, tanto em sugestões como em orientações e nas bancas (qualificação e defesa).

“Os meus caminhos foram curtos sem fronteiras
Ultrapassa-los na verdade nunca quis
Quando o homem ultrapassa seus limites
Como as plantas perdem a força na raiz”

(Meus caminhos - Miguel Bicca e Caéco)

RESUMO

A mineração é um setor importante no desenvolvimento global, no entanto a atividade é responsável pela geração de uma grande quantidade de rejeito nos processos de beneficiamento do mineral. Esse rejeito necessita de um destino ambientalmente correto, sendo o reaproveitamento do mesmo uma forma de destinação correta, mitigando os impactos ambientais. Este estudo consiste na utilização de resíduos da mineração para a confecção de tijolos ecológicos, resíduos tais como cinza mineral, cinza vegetal, areia calcária e areia de rio, além de aglomerantes como o cimento e a cal. Analisou-se o efeito do processo em cura úmida (saturada em água) e cura ambiente, com tempo de 7 e 28 dias, para testes de resistência à compressão. Para a obtenção das resistências mecânicas das amostras foi utilizado o procedimento da NBR 7215/1996 – Resistência à compressão do cimento Portland.

Os resultados finais evidenciaram que 100% dos traços compostos com cimento apresentaram resistências satisfatórias, se enquadrando em pelo menos uma das classes das normas que norteiam o estudo. Conclui-se que é possível produzir tijolos ecológicos como o reaproveitamento de materiais e com custo menor que o preço do mercado.

Palavras-chave: Resíduos, Cura, Resistência à Compressão.

ABSTRACT

The mining is an important sector in the global development, however the activity is responsible of a large reject generation in the mineral processing. This waste requires an environmentally correct destination, being the reuse an correct destination form, mitigating the environmental impacts. This study consists in the use of mining waste to manufacture ecological bricks, residues such as mineral ash, vegetable ash, limestone and river sand, as well as cement and lime. It was tested the effect of the process on wet (saturated in water) curing and ambient cure, with a time of 7 and 28 days, for compressive strength tests. To obtain the mechanical strength of the samples, the procedure of the NBR 7215/1996 standart - Resistance to compression of the Portland cement was used. The final results showed that 100% of the composite traces with cement presented satisfactory resistance, being classified in at least one of the classes of norms that guide the study. It is concluded that it is possible to produce ecological bricks which the reuse of materials and at a lower cost than the market price.

Keywords: Waste, Maturing, Compressive Strength

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3 ESTADO DA ARTE	15
3.1 Mineração e os problemas relacionados ao meio ambiente	16
3.2 Resíduos da Mineração e Reciclagem	18
3.3 Materiais utilizados	19
3.3.1 Cal.....	19
3.3.2 Cinza Mineral	20
3.3.3 Cinza Vegetal	21
3.3.3 Cimento Portland.....	22
3.4 Blocos	25
3.4.1 Blocos de concreto.....	25
3.4.2 Blocos Ecológicos	26
4 METODOLOGIA.....	28
4.1 Contexto do Espaço de Pesquisa	28
4.2 Geologia Local	28
4.3 Modelagem	34
4.3.1 Primeira Etapa	34
4.3.2 Segunda etapa	35
4.4 Teste de compressão.....	37
4.5 Análise dos Resultados.....	39
5. RESULTADOS	40
5.1 Resultados primeira etapa.....	40
5.1.1 Composição dos traços	40

5.1.2 Resistência à compressão	40
5.2.1 Composição dos traços	36
5.2.2 Resistência à compressão	45
6 CONCLUSÃO.....	57
7. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa geológico regional simplificado	29
Figura 2 - Areia rejeito	30
Figura 3 - Cinza vegetal.....	31
Figura 4 - Cinza mineral	31
Figura 5 - Areia calcária	32
Figura 6 - Misturador planetário.....	33
Figura 7 - Materiais ensaiados nos moldes.....	33
Figura 8 - Agitador de peneiras, utilizado para vibrar as amostras	33
Figura 9 - Prensa elétrica utilizada para realização dos testes.....	38
Figura 10 - Corpo de prova sendo ensaiado na prensa	38
Figura 11 - Gráfico gerado pelo software Pavitest	39
Figura 12 - Resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão	44
Figura 13 - Resistência a compressão em cura úmida com 7 dias de cura.....	49
Figura 14 - Resistência a compressão em cura úmida com 7 dias de cura.....	50
Figura 15 - Resistência a compressão em cura úmida com 28 dias de cura.....	51
Figura 16 - Resistência a compressão em cura úmida com 28 dias de cura.....	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Composição dos traços da primeira etapa	35
Quadro 2 - Composição dos traços da segunda etapa do estudo	36
Quadro 3 - Categoria segundo a resistência à compressão, conforme NBR 7170 e NBR 6136	37
Quadro 4 - Resistência à compressão (MPa), referente a cada ensaio realizado e a respectiva média de cada traço	41
Quadro 5 - Composições dos traços e suas respectivas classificações conforme as NBR	43
Quadro 6 - Composição dos 4 traços (T3, T4, T10 e T11) selecionados	44
Quadro 7 - Resistência à compressão (MPa), referente a cada ensaio realizado e a respectiva média de cada traço	45
Quadro 8 - Composições dos traços da segunda etapa	47
Quadro 9 - Classificações dos traços conforme as NBR	48
Quadro 10 - Custo de mercado dos blocos	53
Quadro 11 - Custo material utilizado no estudo	54
Quadro 12 - Custo de produção de cada bloco	55
Quadro 13 - Custo de produção dos blocos, comparados com o valor de mercado	55

LISTA DE SIGLAS

UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa

LATRAM - Laboratório de Lavra e Tratamento de Minérios

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

MPa - Mega Pascal

DB – Dagoberto Barcellos S/A

T – Traço

EPI – Equipamento de Proteção Individual

INSS - Instituto Nacional do Seguro Social

FGTS – Fundo de Garantia e Tempo de Serviço

CO₂ – Dióxido de Carbono

1 INTRODUÇÃO

A mineração é um setor importante no desenvolvimento global, no entanto a atividade é responsável pela geração de uma grande quantidade de rejeito nos processos de beneficiamento do mineral. Segundo Trevizan (2013), nos últimos anos, devido à escassez de jazidas com elevados teores e a crescente demanda de recursos minerais, o aproveitamento de rejeitos de mineração tem se intensificado em todo o mundo. Com isso, buscam-se alternativas sustentáveis para reaproveitamento desses materiais.

O aproveitamento de resíduos para a geração de subprodutos como uma forma de reciclagem é um tema que está ganhando muita repercussão atualmente, principalmente com a publicação da Lei Federal 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Na mineração, o aproveitamento de resíduos/rejeitos é uma das muitas condições para aumentar a sustentabilidade econômica e ambiental, uma vez que a geração desses é inevitável no processo produtivo. As vantagens potenciais do aproveitamento para a sociedade são, entre outras, a preservação de recursos naturais, redução do volume de aterros, redução da poluição, redução do custo do controle ambiental pelas indústrias e produção de um ou mais sub produtos ecológicos (ÂNGULO et. al, 2001)

Além disso, o aproveitamento de resíduos torna-se ainda mais atrativo quando possibilita a produção de um novo produto. A partir desta ideia, empresas de todos os ramos tem se despertado para os investimentos em pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias a fim de melhorar seu conceito socioambiental, além de obter benefícios econômicos.

Um das alternativas é a produção de blocos ecológicos, no caso das minerações, são diversos os resíduos que podem ser utilizados na produção desse produto, tais como, areia, areia calcária, cinza mineral e cinza vegetal. O bloco ecológico é desenvolvido para diminuir os impactos ambientais, sendo que além de reciclar resíduos o mesmo não necessita da queima para produção e ainda, atende as expectativas do mercado, este produto é obtido de forma prática e de baixo custo.

Desta forma, o presente estudo busca realizar a produção de blocos ecológicos para a construção civil a partir de rejeitos oriundos da mineração de uma indústria do município de Caçapava do Sul-RS, sendo as principais matérias primas utilizadas: cinza mineral, cinza vegetal, areia calcária, cal e areia de granulometria indesejável, todos considerados como rejeitos pela mineradora.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o potencial de aproveitamento de resíduos oriundos da mineração na produção de blocos ecológicos com diferentes composições.

2.2 Objetivos Específicos

Essa pesquisa visa contribuir para a redução dos impactos causados pelas mineradoras ao meio ambiente, com os seguintes objetivos:

- Identificar as vantagens da produção do bloco ecológico;
- Analisar o custo de produção dos blocos ecológicos;
- Avaliar a resistência à compressão dos blocos ecológicos com diferentes percentuais de inclusão dos rejeitos da mineração;
- Determinar a composição ideal dos blocos, com a adição dos diferentes materiais;

3 Referencial bibliográfico

3.1 Mineração e os problemas relacionados ao meio ambiente

No estado do Rio Grande do Sul a geologia contribui muito para a atividade mineradora, pois possui quatro províncias geomorfológicas distintas, sendo elas o Escudo Sul-rio-grandense, Depressão Central, Planalto e Planície Costeira (LEMOS et. al., 2010).

Minerar é arte de extrair economicamente bens minerais da crosta terrestre, utilizando técnicas adequadas a cada situação. Estas técnicas visam minimizar os impactos ambientais ao meio ambiente, dentro dos princípios da conservação mineral, e têm como compromisso a recuperação das áreas mineradas durante a extração e após a desativação, dando a estas áreas um outro uso apropriado (OLIVEIRA JÚNIOR, 2001).

Na maioria das vezes os locais de ocorrência de minerais na crosta terrestre são ambientalmente sensíveis e importantes para a preservação da biodiversidade, dos recursos hídricos, da paisagem ou de demais recursos naturais com função ambiental de grande importância. Assim, além da necessidade frequente de escavações vultosas para a retirada do bem mineral, que resultam em grandes alterações no meio ambiente, a mineração é considerada como um dos grandes causadores de impactos ambientais onde está instalada (MECHI; SANCHES, 2010).

Os principais problemas oriundos da mineração podem ser englobados em quatro categorias: a poluição da água, poluição do ar, poluição sonora e subsidência do terreno, sendo esse conjunto de efeitos indesejados podendo ser denominado de externalidades (MECHI; SANCHES, 2010).

Os tipos de mineração e as características do depósito mineral, em particular, afetam a paisagem. A lavra subterrânea causa, usualmente, pequenos danos à superfície e a reabilitação de áreas como barragens de rejeitos, remoção das construções e equipamentos fazem da área mais segura. A lavra a céu aberto resulta da destruição da vegetação existente e do perfil do solo. Remoção do capeamento e rocha estéril colocada em pilhas ou cava extinta, podem significar mudanças na topografia e estabilidade da paisagem. Alguns materiais do capeamento podem liberar sais ou conter material sulfídrico os quais podem gerar drenagem ácida de mina. Estes materiais podem e devem ser selecionados e dispostos de maneira que não causem problema ou podem requerer tratamentos especiais e reabilitação.

Os impactos causados pela mineração geram conflitos socioambientais 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 (CHAVES, 2013).

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. (ÂNGULO et. al, 2001).

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, 1993).

Segundo Barreto (1999), 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 infraestrutura 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 (1999) 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 conseqüentemente 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.

3.2 Resíduos da Mineração e Reciclagem

A disposição inadequada dos resíduos é fonte potencial de contaminação ambiental e de riscos à saúde pública e deve ser entendida como uma das prioridades de ação dos empreendimentos. O aumento da geração de resíduos sólidos é um dos maiores problemas que afeta o mundo de forma generalizada, isso se deve não só ao aumento populacional, mas também pelo padrão de consumo globalizado, excessivo e incompatível com o nosso planeta.

Segundo Castro (2016), a questão ambiental está se tornando um tema relevante que precisa ser discutido em toda extensão da sociedade civil. Além da discussão, também se faz necessário que sejam empreendidas ações em vários níveis, tais como: individual, empresarial, institucional, governamental, não governamental, local, regional, nacional e internacional.

Segundo art. 8º da Lei 9.921/93 a coleta, o transporte, o tratamento, o processamento e a destinação final dos resíduos sólidos de estabelecimentos industriais, comerciais e de prestação de serviços, inclusive de saúde, são de responsabilidade da fonte geradora independentemente da contratação de terceiros, de direito público ou privado, para execução de uma ou mais dessas atividades.

A gestão integrada de resíduos deve priorizar a não geração, a minimização da geração e o reaproveitamento dos resíduos, apontando e descrevendo as ações relativas ao seu manejo, visando à minimização na geração de resíduos e suas etapas, a fim de evitar os efeitos negativos sobre o meio ambiente e a saúde pública (FRANÇA, et.al.,2014).

A mineração é um setor importante no desenvolvimento global, no entanto a atividade é responsável pela geração de uma grande quantidade de rejeito nos processos de beneficiamento do mineral. Segundo Trevizan (2013), nos últimos anos, devido à escassez de jazidas com elevados teores e a crescente demanda de recursos minerais, o aproveitamento de rejeitos de mineração tem se intensificado em todo o mundo. Com isso, buscam-se alternativas sustentáveis para reaproveitamento desses rejeitos e assim atender em partes a demanda por esses minerais.

O processamento mineral produz uma grande quantidade de resíduos, que necessita de acondicionamento apropriado para não causar danos ao meio ambiente.

Conforme Andrade (1991), a cal é proveniente da calcinação do carbonato de cálcio, ocorre em fornos que obtém sua energia a partir da queima da madeira em toras ou cavaco, gerando a cinza vegetal como resíduo.

Os finos gerados no beneficiamento da rocha calcária, se devidamente processados, podem vir a substituir a areia natural (ALMEIDA, 2000).

De acordo com Vaz & Dias (2006) um material pozolânico é um tipo de material inerte em si, mas quando em contato com cal e água, o mesmo reage, resultando em materiais cimentantes. A cinza é rica em sílica, por isto são excelentes pozolanas.

A cinza mineral vinda de Candiota apresentam-se normalmente, com tonalidade cinza claras o que indica teores muito baixos de materiais carbonosos (VAZ; DIAS, 2006).

O aproveitamento de resíduos para a geração de subprodutos como uma forma de reciclagem é um tema que está ganhando muita repercussão atualmente, principalmente com após a publicação da Lei Federal 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Com isso, surgem alternativas de reaproveitamento de resíduos, onde se destaca o tema proposto no presente estudo.

A razão para isto é principalmente o esgotamento de reservas e também para a conservação de fontes não renováveis (ENBRI, 1994), a preservação de recursos naturais, redução do volume de aterros, redução da poluição, redução do custo do controle ambiental pelas indústrias e produção de um ou mais produtos ecológicos (ABRELPE, 2014).

Um das alternativas é a produção de blocos ecológicos, no caso das minerações, são diversos os resíduos que podem ser utilizando na produção desse produto, como, areia, areia calcária, cinza mineral e cinza vegetal.

A fabricação de blocos ecológicos traz grandes vantagens, pois pode garantir produtos mais resistentes e baratos, com uma alta aceitação nas construções, além disso, trará inúmeros benefícios ao meio ambiente. (MONTOVANI, 2012).

3.3 Materiais utilizados

3.3.1 Cal

A cal é um dos materiais mais antigos e mais utilizados na construção ao longo dos anos (ROHDE, et. al., 2012). 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.

É constituída de um aglomerante obtido do calcário com a formação do óxido de cálcio e liberação de gás carbônico. Se o calcário for dolomítico (apresenta carbonato de

magnésio), há a formação de óxido de cálcio e de óxido de magnésio e a cal resultante é chamada de cal dolomítica. Quando o calcário é desprovido de magnésio, a cal resultante é chamada de alcítica. A cal assim obtida, sem nenhum outro processamento é chamada de cal virgem (DIAS; VAZ, 2004).

As reações químicas e físicas transformam o calcário em cal virgem. A calcinação que acontece no forno se baseia na calcinação do carbonato de cálcio e magnésio, resultando em óxido de cálcio e magnésio, conhecido por cal virgem.

A cal 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).

A cal hidratada resulta do prosseguimento do processo industrial que dá origem à cal virgem. A reação química que a produz, com a presença de água, é uma clássica reação de fases sólido-líquida. Dependendo do volume de água utilizada para a reação, o produto final pode ser seco ou com aspecto de creme, lama leite ou solução saturada (GUIMARÃES, 2002).

Segundo Guimarães (2002), a cal hidráulica pode ser classificada como um produto intermediário entre a cal virgem e o cimento Portland. Resulta da calcinação de calcários argilosos, procedimento que produz a combinação do óxido de cálcio com a sílica-quartzo e os minerais argilosos, formando relativa porcentagem de compostos com propriedades hidráulicas.

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. (MME, 2009).

3.3.2 Cinza Mineral

A cinza mineral deste item, refere-se àquela gerada na cidade de Candiota-RS, resíduo proveniente do beneficiamento do carvão da CGTE.

As cinzas geradas em Candiota são compostas basicamente por Cinzas Volantes e Cinzas Pesadas. As cinzas volantes são aquelas de textura mais fina, normalmente em tonalidades cinza claras, indicando teores muito baixos de materiais carbonosos (combustíveis). Compostas por materiais particulados sílico-aluminosos, de textura siltosa, remanescentes da matéria mineral calcinada nos processos de combustão de carvão pulverizado. São classificadas como materiais pozolânicos ou pozolanas artificiais, devido a capacidade de reação com a cal em presença de água, dando origem a compostos hidratados estáveis que possuem propriedades ligantes (DIAS; VAZ, 2004).

As cinzas pesadas representam cerca de 15 a 20% das cinzas produzidas, são aquelas que possuem textura mais grosseira, que caem no fundo da fornalha em tanques de resfriamento e, removidas hidráulicamente por fluxos de água. (DIAS; VAZ, 2004).

3.3.3 Cinza Vegetal

A cinza vegetal se apresenta na forma sólida o que facilita seu manuseio, porém a mesma apresenta dimensões irregulares e bastante variáveis (ANDRADE, 2012). Para a obtenção da cal virgem é necessária a calcinação do carbonato de cálcio. Esta ocorre por meio de fornos que obtém sua energia a partir da queima da madeira (acácia, pinus, eucalipto) em toras ou cavacos gerando cinza durante este processo, estes fornos atingem temperaturas de até 900° (VOTORANTIN, 2015).

Segundo Lima et. al. (2009), a cinza vegetal pode substituir parcialmente o cimento Portland, podendo contribuir na redução de resíduo e reduzir o consumo de cimento Portland em argamassas e concretos.

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 et. al., 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, Tunure e Okimoto (2010), a cinza de madeira é proveniente dos processos de queima em 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 composto com serragem e cinza de madeira para substituição do agregado graúdo no concreto para a produção de blocos.

Além disso, Lima et. al. (2009) 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.

3.3.3 Cimento Portland

O cimento portland é constituído de um pó fino com propriedades hidráulicas, aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece quando em contato com a água. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido a ação da água, o cimento portland não sofre mais decomposição (ABCP, 2002).

Há muitos anos havia apenas um tipo de cimento Portland no Brasil. Atualmente, com a evolução do conhecimento sobre o assunto, foram fabricados novos tipos constituídos de diversa misturas.

O componente principal dos diferentes tipos de cimentos é o clínquer portland. É da composição química e cristalina do clínquer, que derivam as propriedades aglomerantes e hidráulicas dos diferentes tipos de cimento (LIMA, 2011).

Outros componentes que podem estar presentes no cimento são o calcário puro, escória de alto forno e cinza volante pozolanas naturais ou artificiais, podem estar, os quais formam os diversos tipos de cimento definidos por norma, cada um com suas características próprias (LIMA, 2011).

A maioria dos tipos de cimento portland hoje existentes no mercado servem para o uso geral. Alguns deles, entretanto, tem certas características e propriedades que os tornam mais adequados para determinados usos, permitindo que se obtenha um concreto ou uma argamassa com a resistência e durabilidade desejadas, de forma bem econômica (ABCP, 2002).

Os principais tipos de cimento Portland utilizados no Brasil são:

- Cimento Portland Comum CP I
 - CP I-S
- Cimento Portland Composto CP II:
 - CP II-E
 - CP II- Z
 - CP II-F
- Cimento Portland de Alto Forno CP III
- Cimento Portland Pozolânico CP IV
- Cimento Portland de Alta Resistência Inicial CP V – ARI
- Cimento Portland Branco
- Cimento Portland Resistente aos Sulfatos - RS

O cimento CP I foi o primeiro cimento portland lançado no mercado brasileiro. Não possui qualquer adição além do gesso, o qual é utilizado como retardador da pega. Ele acabou sendo considerado como termo de referência para comparação com as características e propriedades dos tipos de cimento que apareceram posteriormente. Foi a partir do conhecimento sobre o cimento portland comum que se pôde desenvolver outros tipos de cimento, com o objetivo de atender a casos especiais (ABCP, 2002).

O Cimento CP II possui composição química intermediária entre o cimento Portland comum e os cimentos com adição. São atualmente os mais encontrados no mercado respondendo por aproximadamente 75 da produção industrial Brasileira. São encontradas na forma de CP II-E, com adições de escória granulada de alto forno; CP II Z com adições de materiais pozolânicos que variam de 6 a 14%; CP II- F com adições de materiais carbonílicos, sendo o mais utilizado (NNANG, 2015).

Segundo Machado & Araújo (2014) o Cimento Portland CP II gera calor numa velocidade menor do que o gerado pelo Cimento Portland Comum, devido a essa característica seu uso é mais indicado em maciços de concreto e em obras correntes de engenharia civil sob a forma de argamassa, concreto simples, elementos pré-moldados e artefatos de cimento.

O cimento CP III Alto-Forno, possui adições de escórias granuladas de alto forno, agregando propriedades hidráulicas latentes, isto é, da forma como são obtidas endurecem quando misturadas com água. Contudo, as reações de hidratação das escórias são tão lentas que limitariam sua aplicação prática se agentes ativadores, químicos e físicos, não acelerassem o processo de hidratação.

A cal liberada durante a hidratação do clínquer é o principal ativador químico da escória quando esta é adicionada ao cimento, ao passo que a ativação física é conseguida pelo aumento da finura quando a escória é moída separada ou conjuntamente com o clínquer.

No cimento CP IV- Pozolânico ocorre a adição de materiais pozolânicos que, ao contrário das escórias granuladas de alto-forno, não reagem com a água da forma como são obtidos. Entretanto, quando finamente divididos, reagem com o hidróxido de cálcio em presença de água e na temperatura ambiente, dando origem a compostos com propriedades aglomerantes. Por essa razão, os materiais pozolânicos são utilizados conjuntamente com o clínquer, pois o hidróxido de cálcio é um produto normalmente resultante da hidratação deste (ABCP, 2002).

A adição de escória e materiais pozolânicos modifica a microestrutura do concreto, diminuindo a permeabilidade, a difusibilidade iônica e a porosidade capilar, aumentando a estabilidade e a durabilidade do concreto. Esses fatores repercutem no comportamento do concreto, melhorando seu desempenho ante a ação de sulfatos e da reação álcali-agregado. Outras propriedades são também alteradas, incluindo a diminuição do calor de hidratação, o aumento da resistência à compressão em idades avançadas, a melhor trabalhabilidade e outros (ABCP, 2002).

Os cimentos com adição de escórias granuladas de alto-forno e os materiais pozolânicos podem apresentar, em igualdade de condições, menor desenvolvimento inicial de resistência. No entanto, na prática, verifica-se que as resistências efetivamente alcançadas em todas as idades superam os limites mínimos estabelecidos pelas normas técnicas da ABNT, que especificam os valores necessários às aplicações mais usuais (ABCP, 2002).

O cimento CP V - Alta Resistência (ARI) é um tipo articular de cimento Portland composto, que tem a peculiaridade de atingir altas resistências já nos primeiros dias da aplicação. O desenvolvimento da alta resistência inicial é conseguido pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, bem como pela moagem mais fina do cimento, de modo que, ao reagir com a água, ele adquira elevadas resistências, com maior velocidade (NNANG, 2015).

O cimento que se diferencia dos demais devido sua coloração é o Cimento Portland Branco, cor esta conseguida a partir de de matérias-primas com baixos teores de óxidos de ferro e manganês e por condições especiais durante a fabricação, especialmente com relação ao resfriamento e à moagem do produto. (ABCP, 2002).

Por último o cimento Portland Resistente aos sulfatos são aqueles que têm a propriedade de oferecer resistência aos meios agressivos sulfatados, tais como os encontrados

nas redes de esgotos de águas servidas ou industriais, na água do mar e em alguns tipos de solos. De acordo com a norma NBR 5737, quaisquer um dos cinco tipos básicos (**CP I, CP II, CP III, CP IV** e **CP V-ARI**) podem ser considerados resistentes aos sulfatos, desde que obedecem a algumas condições.

3.4 Generalidades sobre blocos

3.4.1 Blocos de concreto

O bloco de concreto é um componente da alvenaria que constitui a estrutura de uma construção. Um bloco conforme deve oferecer qualidade e economia as edificações. Isso significa que deve apresentar: dimensões e formas adequadas, compacidade, resistência, bom acabamento geométrico, boa aparência visual sobretudo quando o projeto não prevê revestimento. Além disso, deve garantir isolamento termo acústico. Estes parâmetros são determinantes para a qualidade dos blocos e tem seus limites estabelecidos em normas técnicas apropriadas (FILHO, 2007).

Segundo a norma para tijolos maciços – NBR 7170 (ABNT, 1983), a resistência mínima à compressão mínima exigida para tijolos de categoria A é de 1,5 Mpa, para tijolos de categoria B, de 2,5 Mpa e para tijolos de categoria C 4 Mpa.

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

Um fator importante a considerar é a proporção entre os materiais que irão compor a mistura (clínquer). Segundo Andrade (1991), em ensaios realizados com cinza e cal, ocorre 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.

3.4.2 Blocos Ecológicos

Para a confecção dos blocos deve-se seguir algumas normas técnicas, segundo a norma CB-02 (ABNT, 2010). De acordo com a norma para tijolos maciços – NBR 7170 (ABNT, 1983), os tijolos são classificados em comum e especial, os comuns são de uso corrente e formato específico e podem ser classificados em A, B e C. para cada uma dessas classificações é determinada a resistência mínima à compressão, para 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. Já os tijolos especiais podem ser fabricados em formatos e especificações acordadas entre as partes, desde que atenda as restrições da norma.

Já a 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.

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}) (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2004).

Em estudo realizado por Luz (2012), sobre a importância da sustentabilidade na construção civil com a utilização de tijolos ecológicos, relata que as construções sustentáveis estão deixando de ser uma tendência, para se tornarem uma necessidade urbana, com vantagens ambientais e econômicas.

Os tijolos/blocos ecológicos vem de encontro com a proposta de reaproveitamento dos resíduos, uma inovação na área de materiais de construção, capazes de provocar uma revolução nas estruturas de alvenaria. São constituídos de solo, cimento e água, compactados em prensa hidráulica e, permitem a adição de resíduos, sem a perda de características essenciais. (VALADÃO; VILELA, 2015).

Segundo Pisani (2015) os tijolos ecológicos são encontrados em diversos tamanhos e modelos, sendo escolhidos de acordo com o projeto, mão de obra, materiais e equipamentos locais, além de outras condicionantes específicas. Durante o processo de execução deve-se atender a muitos detalhes para que a qualidade desejada dos tijolos seja

alcançada, e o resultado final conclua-se em um componente para alvenarias com menor impacto ambiental que os tradicionais.

Segundo Machado & Araújo (2014), um dos grandes atrativos dos tijolos ecológicos são os seus baixos índices de poluição, pois não utilizam argila pura, que é extraída do fundo de várias encostas de rios, impactando a vegetação ao seu redor.. Entre as inúmeras vantagens temos que: o tijolo ecológico não passa pelo processo de queima, apresenta maior resistência mecânica, possui maior isolamento acústico e térmico, combate a umidade e possui um menor peso.

O aproveitamento dos rejeitos através de estudos capazes de detectar suas potencialidades e viabilizar sua seleção preliminar é encarado hoje como atividade complementar, que pode contribuir para diversificação dos produtos, diminuição dos custos finais, além de resultar em novas matérias-primas para uma série de setores industriais, incluindo a construção civil. (VALADÃO; VILELA, 2015).

O emprego de resíduos na construção civil pode se tornar uma atividade de extrema importância e mais frequente, dada a diversidade, a quantidade disponível e as suas potencialidades evidenciando-se por uma esperada redução no consumo de energia e matéria-prima, além do aproveitamento de materiais regionais trazendo riqueza ao nosso estado. Em vista dessa necessidade, a reutilização de matérias primas oriundas de rejeitos de indústrias, construções, etc. para a composição de tijolos ecológicos, tem sido uma alternativa, tanto ecológica como econômica, para a Construção Civil.

4 METODOLOGIA

4.1 Contexto do Espaço de Pesquisa

O presente projeto baseia-se no gerenciamento dos resíduos, com ênfase no aproveitamento de resíduos gerados pela mineração local. Sendo que o estudo foi desenvolvido na empresa Dagoberto Barcellos (DB), localizada no município de Caçapava do Sul. A empresa trabalha com a extração de rocha calcária e beneficiamento da mesma para produção de Cal, Calcário, Argamassa e Fertilizante.

A empresa está em atividade há quase cem anos. Atualmente é responsável por cerca de 70% do mercado da cal e 25% do mercado de calcário no estado. Há produção de aproximadamente 100.000 toneladas de produtos finais por mês, o que acaba gerando uma grande movimentação de *run of mine* e também de material estéril depositado em pilhas (SANTOS et. al., 2015).

4.2 Geologia Local

A área de estudo encontra-se em maior abrangência, assentada em metassedimentos do Complexo Metamórfico Vacacaí, caracterizado por anfibolitos, mica-xisto, talco-xisto e lentes de mármore, tendo parte da área abrangendo a Suíte Granítica Caçapava do Sul, como mostra a Figura 1 (DORNELES, DE SOUZA; NETO, 2014).

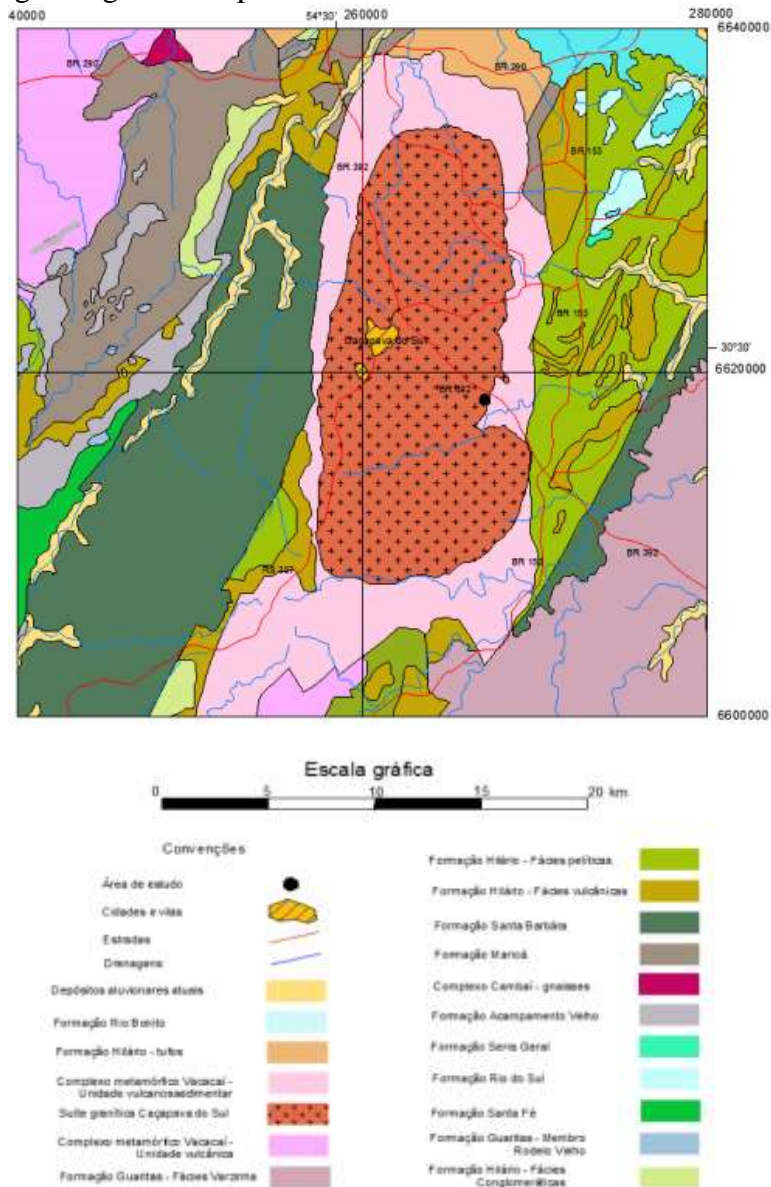
Segundo Bortolotto (1987), na região é realizada a extração de calcário metamorfizado (do tipo marga) ou mármore, uma rocha metamórfica que possui entre 50% e 95% de carbonatos formados a partir de calcários e dolomitos submetidos a pressões e temperaturas elevadas.

Entre as camadas (ou bandamentos) ocorrem intrusões graníticas supergênicas, em sentido concordante em relação ao calcário e, em algumas partes, em sentido discordante. Observam-se também intrusões de diabásio (formado posteriormente ao granito), intrudidos em sentido discordante àquele do calcário. O material pode apresentar-se tanto de forma calcítica [CaCO_3] ou dolomítica [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] (DORNELES, DE SOUZA; NETO, 2014).

De acordo com a mineralogia e, conseqüentemente, sua composição química, diferentes destinações são dadas ao minério: enquanto o material calcítico, após passar por

processo de calcinação, é empregado na fabricação de cal e argamassa, o calcário dolomítico, em função das características químicas, é empregado como corretivo de solo. Em função desta complexidade geológica, com grande presença de intrusões e alto grau de fraturamento, não é possível a utilização destas rochas para fins ornamentais e de revestimento.

Figura 1 - Mapa geológico regional simplificado



Fonte: Dorneles, De Souza e Neto (2014).

4.3 Características dos materiais utilizados no estudo

O projeto consiste em aproveitar os resíduos que apresentam potencial para produção de blocos ecológicos, resíduo os quais são gerados na DB e em outra mineradora,

como é o caso da cinza mineral que é um resíduo gerado por outra mineradora e aproveitado pela DB na produção de cal hidráulica e argamassa.

Baseado neste contexto, o projeto busca além de diminuir a geração final de resíduo, tornar o mesmo um subproduto para a construção civil. Para isso o estudo foi dividido em duas etapas, onde na primeira etapa realizou-se ensaios preliminares, em busca dos melhores resultados, baseado nestes resultados se iniciou a segunda etapa. Os 4 (quatro) traços que apresentaram melhores resultados na primeira etapa foram selecionados para serem utilizados na segunda etapa, esta etapa tem o intuito de aperfeiçoar dos traços confeccionados na etapa anterior, na busca de melhores resultados. Todo o material utilizado no estudo foi adquirido na empresa em estudo.

Os materiais utilizados no projeto são os seguintes:

Cal: Devido à alta variação do resíduo da cal, está sendo utilizado o produto final da empresa.

Areia: Areia com granulometria indesejável, a qual passou pelo sistema de peneiramento e foi rejeitada (Figura 2). Areia é um conjunto de partículas de rochas degradadas, um material de origem mineral finamente dividido em grânulos ou granito, composta basicamente de dióxido de silício (SiO_2).

Figura 2 - Areia rejeito



Fonte : O autor.

Cinza vegetal (Figura 3): Resíduo oriundo dos fornos de calcinação (queima de acácia, eucalipto e pinos).

Figura 3 - Cinza vegetal



Fonte : O autor.

Cinza mineral (Figura 4): Material que na DB não é resíduo, mas como citado anteriormente, para outras mineradoras é rejeito.

Figura 4 - Cinza mineral



Fonte : O autor.

Areia calcária (Figura 5): Rejeito do sistema produtivo. Este rejeito é comercializado, doado e/ou utilizado em reparo de estradas.

Figura 5 - Areia calcária



Fonte : O autor.

Foram realizados ensaios com diferentes composições e proporções dos materiais citados anteriormente.

Primeiramente realizou-se o levantamento dos materiais existentes na empresa que poderiam ser utilizados na produção de blocos ou outros artefatos de cimento. Levou-se em consideração as questões ambientais e econômicas.

Após o levantamento dos resíduos com potencial para contribuir na confecção de blocos, iniciou-se a elaboração dos traços (composição). Elaborados os traços inicia-se a confecção dos corpos de prova.

Este levantamento e a formulação dos traços foram baseados em estudos literários e auxílio o engenheiro civil da empresa em estudo.

Definido os traços, executou a moldagem dos corpos de prova conforme NBR 7215 - Cimento Portland- Determinação de resistência a compressão (1996) e NBR 5738 - Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (2003). Após a pesagem dos materiais, os mesmos foram encaminhados para o misturador planetário (Figura 6), para que o composto pudesse ser homogeneizado, sendo utilizado dois quilos de material para confecção de cada traço, mais a adição água (variando de 200 a 500 ml, conforme a maleabilidade da massa) , a homogeneização leva de 5 a 10 minutos (variando conforme a composição). O composto deve estar suficientemente maleável.

Figura 6 - Misturador planetário



Fonte : O autor.

Logo após a homogeneização da massa, a mesma foi colocada nos moldes (Figura 7), de formato cilíndrica e base rosqueada, ambas de metal não corrosível, com diâmetro interno de 50 mm e altura 100 mm, em seguida o material foi vibrado em um agitador de peneiras (Figura 8) para compactar, evitar bolhas de ar no interior da massa e que todos os moldes fossem completos pelo material de forma homogênea.

Figura 7 - Materiais ensaiados nos moldes



Fonte : O autor.

Figura 8 - Agitador de peneiras, utilizado para vibrar as amostras



Fonte : O autor.

4.3 Modelagem

4.3.1 Primeira Etapa

Na primeira etapa foram confeccionados 6 moldes para cada traço, sendo que três moldes ficaram expostos ao tempo (cura ambiente) e os outros três ficaram em um recipiente totalmente cobertos por água (cura úmida). Desta forma efetuou-se a cura de 50% dos testes ambiente (Figura 9A) e 50% e úmido (Figura 9B), ambos em locais cobertos. O tempo de cura foi de 28 dias, seguindo a NBR 5739.

Na primeira etapa foram realizados 15 (quinze) traços distintos (quadro 1), totalizando 90 (noventa) corpos de prova (6 corpos de prova para cada traço) destes traços foram selecionados os 4 (quatro) que apresentaram os melhores resultados à resistência a compressão, e em seguida aprofundados os estudos visando o melhor resultado possível.

Selecionados os 4 (quatro) traços que apresentaram melhores resultados referente a resistência a compressão, cada traço da primeira etapa originou 4 (quatro) traços

novos, com intuito de aperfeiçoar os resultados obtidos na primeira etapa, totalizando 16 traços na segunda etapa.

Quadro 1 - Composição dos traços da primeira etapa

Traço	Areia calcária (%)	Areia (%)	Cinza vegetal (%)	Cinza Mineral (%)	Cal Hidratado (%)	%
1	0	50	30	8	12	100
2	0	50	20	12	18	100
3	0	50	10	16	24	100
4	0	65	10	10	15	100
5	0	70	10	8	12	100
6	0	50	20	12	18	100
7	0	50	10	16	24	100
8	0	50	30	8	12	100
9	0	65	25	4	6	100
10	60	0	0	16	24	100
11	60	0	0	16	24	100
12	0	65	0	14	21	100
13	0	60	0	16	24	100
14	65	0	0	14	21	100
15	60	0	0	16	24	100

Os corpos de prova foram desenformados após 2 (dois) dias de cura (podendo variar conforme o traço), e mantidos em seu local de cura até os dias dos testes (resistência à compressão), que foram realizados com 28 (vinte e oito) dias de cura, seguindo a NBR 5739.

4.3.2. Segunda etapa

Na segunda etapa foram confeccionados 12 moldes para cada traço, totalizando 192 (cento e noventa e dois), conforme quadro 2, sendo 6 (seis) moldes expostos ao tempo (cura ambiente), destes, 3 (três) foram rompidos com 7 (sete) dias de cura e 3 (três) com 28 (vinde e oito) dias de cura; os outros 6 (seis) ficaram em um recipiente totalmente cobertos por água (cura úmida), destes, 3 (três) foram rompidos com 7 (sete) dias de cura e 3 (três) com 28 (vinde e oito) dias de cura. Desta forma efetuou-se a cura de 50% dos testes ambiente e 50% e úmido, ambos em locais cobertos.

Quadro 2 - Composição dos traços da segunda etapa do estudo

Traços	Areia Calcária (%)	Areia (%)	Cinza Vegetal	Cinza Mineral	Cal Hidratado	Cimento	TOTAL (%)
T 31	0	46,51	9,30	14,88	22,33	6,98	100
T 32	0	44,44	8,89	14,22	21,33	11,11	100
T 33	0	41,67	8,33	13,33	20	16,67	100
T 34	0	41,67	8,33	30	20	0	100
T 41	0	60,47	9,30	9,30	13,95	6,98	100
T 42	0	57,78	8,89	8,89	13,33	11,11	100
T 43	0	54,17	8,33	8,33	12,5	16,67	100
T 44	0	54,17	8,33	25	12,5	0	100
T 101*	55,81	0	0	14,88	22,33	6,98	100
T 102*	53,33	0	0	14,22	21,33	11,11	100
T 103*	50,00	0	0	13,33	20	16,67	100
T 104*	50,00	0	0	30	20	0	100
T 103*	55,81	0	0	14,88	22,33	6,98	100
T 112*	53,33	0	0	14,22	21,33	11,11	100
T 113*	50,00	0	0	13,33	20	16,67	100
T 114*	50,00	0	0	30	20	0	100

Esta metodologia seguiu as diretrizes da NBR 7215 e NBR 5739, sendo que esta norma apresenta ensaios de rompimento dos corpos de prova com 24 horas, 3, 7, 28 e 91 dias, neste estudo optou-se por realizar os ensaios com 7 e 28 dias. Os traços foram realizados em triplicatas para apresentar maior confiabilidade nos resultados.

Os corpos de prova foram desenformados após 2 (dois) dias de cura (podendo variar conforme o traço), e mantidos em seu local de cura até os dias dos testes (resistência à compressão).

Na segunda etapa foram realizados 16 (dezesesseis) traços distintos, totalizando 192 (cento e noventa e dois) corpos de prova (12 corpos de prova para cada traço).

Segundo a norma da NBR-5738 (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.

5.2.1 Composição dos traços

Para elaborar os traços foram utilizados os seguintes componentes:

Primeira etapa: Areia calcária, areia, cinza vegetal, cinza mineral, cal hidratada

Segunda etapa: Areia calcária, areia, cinza vegetal, cinza mineral, cal hidratada e cimento CIIIZ-32 da Votorantim em diferentes proporções (quadro 2).

Os traços 3, 4, 10 e 11 serviram de base para confecção dos traços novos. Para cada um dos quatro traços, foram elaborados quatro novos traços (T31, T32, T33, T34, T41, T42, T43, T44, T101, T102, T103, T104, T111, T112, T113 e T114).

A segunda etapa baseia-se em adição gradativa de cimento nos traços que apresentaram melhores resultados na primeira etapa. Sendo T3 com 6,98% de cimento, igual a T31, T3 com 11,11% de cimento, igual a T32, T3 com 16,67% de cimento, igual a T33...T11 com 16,67% de cimento, igual a T113 e assim consecutivamente. Já o T34, T44, T104 e T114 não foram utilizadas cimento e sim 16,67% de cinza mineral. Foi utilizado o valor de 16,67% devido aos resultados apresentados com a utilização de 16,67% de cimento nos traços anteriores, que foram os que apresentaram os melhores resultados entre os 3 (três) (6,98 % 11,11% e 16,67%) testes realizados.

4.4 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. (SILVA; LIBORIO, 1999).

No quadro 1 são representadas as principais normas que norteiam este estudo e seus respectivos parâmetros para resistência à compressão.

Quadro 3 - Categoria segundo a resistência à compressão, conforme NBR 7170 e NBR 6136

NBR 7170 TIJOLO MACIÇO CERÂMICO PARA ALVENARIA	NBR 6136 BLOCO VAZADO DE CONCRETO SIMPLES PARA ALVENARIA
Categoria	Categoria
A ($\geq 1,5$ MPa)	A (≥ 6 MPa)
B ($\geq 2,5$ MPa)	B (≥ 4 MPa)
C (≥ 4 MPa)	C (≥ 3 MPa)
	D (≥ 2 MPa)

As categorias variam conforme a resistência à compressão, a NBR 7170 não especifica o modo de uso conforme a categoria, apenas difere três categorias (A, B e C) com qualidades distintas. Já a NBR 6136 especifica o uso correto para cada categoria, sendo A – com função estrutural, para uso em elemento de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo; B – com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo; C – com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do uso do solo (edificações de no máximo 1 pavimento); D – sem função estrutural, para uso em elemento de alvenaria acima do nível do solo.

Os testes foram realizados com tempo de cura de 7 (sete) e 28 (vinte e oito) dias. Para isto foi utilizada uma prensa elétrica digital com capacidade para 100 toneladas da marca Contenco de modelo I-3025-b (Figura 10), disponível no LATRAM (Laboratório de Lavra e Tratamento de Minérios) da Universidade Federal do Pampa, no *campus* de Caçapava do Sul.

Figura 9 - Prensa elétrica utilizada para realização dos testes



Fonte : O autor.

O corpo de prova foi posicionado no equipamento, ficando devidamente centralizado para a leitura (Figura 11). Assim dando início aos testes conforme o manual no equipamento.

Figura 10 - Corpo de prova sendo ensaiado na prensa



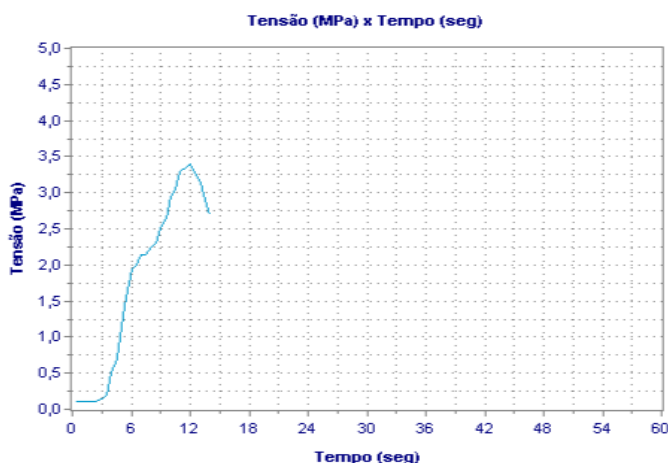
Fonte : O autor.

4.5 Determinação da resistência à compressão

Esta etapa foi realizada no LATRAM (Laboratório de Lavra e Tratamento de Minério). 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. No equipamento a norma utilizada é a NBR 7215- Cimento Portland- Determinação de resistência a compressão (1996), norma esta que já vem pré-estabelecida no software.

Iniciado o ensaio, o programa gera um gráfico (Figura 12) que pode ser visualizado em termos de tensão (MPa) por tempo (s), ou carga (Kgf) por tempo (s), gerando também resultados no software Excel.

Figura 11 - Gráfico gerado pelo software Pavitest



Fonte : O autor.

A leitura de dados deste gráfico dá-se por intervalos já pré configurados e o fim do ensaio acontece por uso da ferramenta 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 real na tela da prensa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente estudo foi realizado em duas etapas, sendo que na primeira etapa foram confeccionados 15 traços distintos (Quadro 2), já na segunda etapa foram confeccionados 16 traços distintos, (Quadro 5), utilizando como referência os 4 melhores traços da primeira etapa do projeto.

5.1 Resultados primeira etapa

5.1.1 Composição dos traços

Para elaborar os traços foram utilizados os seguintes componentes: Areia calcária, areia, cinza vegetal, cinza mineral e cal hidratada, em diferentes proporções.

5.1.2 Resistência à compressão

Todos os corpos de provas foram rompidos com 28 dias de cura, os resultados variaram de 0,9 a 3,6 MPa, conforme representado no Quadro 2. Baseado na média, apenas o traço 6 (cura ambiente) e os traços 5, 6,7 e 8 (cura úmida) não se enquadraram nas categorias das normas que norteiam o estudo (NBR 7170 e NBR 6136).

Quadro 4 - Resistencia à compressão (MPa), referente a cada ensaio realizado e a respectiva média de cada traço

Traços	CURA SECA				CURA ÚMIDA			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média Seco	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média úmido
1	1,5	1,8	1,3	1,53	1,8	1,4	1,5	1,57
2	2	2	2,8	2,27	1,5	2,2	2,4	2,03
3	2,4	3,2	3,4	3,00	3,6	2,4	3,2	3,07
4	3,4	3,2	2,8	3,13	1,6	1,7	2,8	2,03
5	2	1,8	1,9	1,90	0,9	0,9	1,1	0,97
6	1,1	1,2	1,2	1,17	1,2	1	1,1	1,10
7	2,1	1,8	1,7	1,87	1	1,2	1,4	1,20
8	2,3	1,9	2,1	2,10	1,3	1,2	1,5	1,33
9	2,8	2,6	2,2	2,53	2,4	2,5	1,6	2,17
10	2,8	3,1	3	2,97	2,9	2,8	1,6	2,43
11	3	3	3	3,00	2,9	3,65	2,9	3,15
12	2,4	2,3	2	2,23	2	1,7	1,8	1,83
13	1,6	1,9	2,1	1,87	1,7	1,7	1,8	1,73
14	1,7	1,7	2	1,80	2,1	2,2	2	2,10
15	2,2	2,4	2	2,20	2,05	2	2,2	2,08

Legenda:

Nº = Traços que apresentaram valores médios que não se enquadram em nenhuma norma que norteia o estudo.

Nº = Traços que apresentaram os maiores valores médios.

Os resultados apresentaram diferenças entre os traços e até mesmo diferença nos resultados de cura ambiente e cura úmida de um mesmo traço.

É possível explicar os resultados obtidos. A maioria dos traços em que foi utilizada uma quantidade inferior a 15% de cal e 10% de cinza mineral, não estão entre os melhores resultados obtidos. Os traços constituídos com percentual superior a 10% de cinza vegetal, não se destacaram. Outra questão importante é o fracionamento equivalente da granulometria da areia, pois é muito importante o preenchimento dos vazios, o que não ocorre nos traços T6, T7, T8 e T9 onde foi utilizada apenas areia passante na peneira 7, o que deixa muito indefinida a granulometria da areia, podendo dar predominância a uma certa granulometria, dificultando o encaixe correto do material agregado. Destacando-se os traços que apresentaram maior uniformidade na utilização da areia, o que favorece os preenchimentos dos vazios.

5.1.2.1 Descrição detalhada dos traços

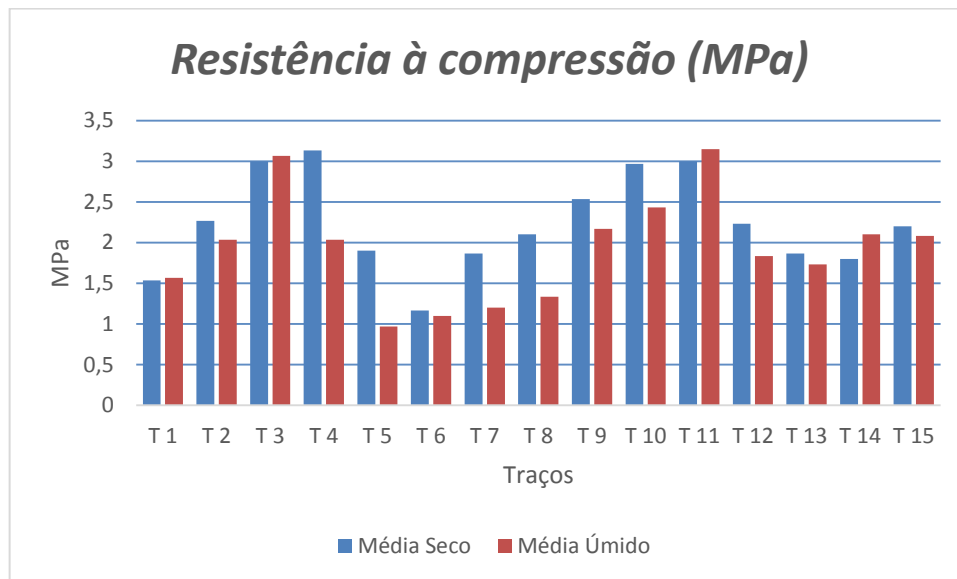
No Quadro 4 estão representados os 15 (quinze) traços elaborados na primeira etapa do estudo, com suas respectivas composições, resultados e classificações conforme a norma.

Quadro 5 - Composições dos traços e suas respectivas classificações conforme as NBR

COMPOSIÇÕES DOS TRAÇOS E SUAS RESPECTIVAS CLASSIFICAÇÕES																	
COMPOSIÇÃO DO TRAÇO												CURA AMBIENTE (28 DIAS) MPa	CLASSIFICAÇÃO		CURA ÚMIDA (28 DIAS) MPa	CONFORME NBR	
TRAÇOS	AREIA REJEITADA						TOTAL AREIA (%)	CINZA VEGETAL	CINZA MINERAL	CAL HIDRATADO	TOTAL (%)		NBR 7170	NBR 6163		NBR 7170	NBR 6163
	R-7	R-10	R-16	R-20	R-30	R-50		P-30	P-50	P-100							
T1	0	10	10	10	10	10	50	30	8	12	100	1,53	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu	1,57	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu
T2	0	10	10	10	10	10	50	20	12	18	100	2,27	A (≥ 1,5 MPa)	D (≥ 2 MPa)	2,03	A (≥ 1,5 MPa)	D (≥ 2 MPa)
T3	0	10	10	10	10	10	50	10	16	24	100	3,00	B (≥ 2,5 MPa)	C (≥ 3 MPa)	3,07	B (≥ 2,5 MPa)	C (≥ 3 MPa)
T4	10	10	10	15	10	10	65	10	10	15	100	3,13	B (≥ 2,5 MPa)	C (≥ 3 MPa)	2,03	A (≥ 1,5 MPa)	D (≥ 2 MPa)
T5	0	10	15	15	15	15	70	10	8	12	100	1,90	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu	0,97	Não atingiu	Não atingiu
T6	Areia passante na peneira 7						50	20	12	18	100	1,17	Não atingiu	Não atingiu	1,10	Não atingiu	Não atingiu
T7	Areia passante na peneira 7						50	10	16	24	100	1,87	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu	1,20	Não atingiu	Não atingiu
T8	Areia passante na peneira 7						50	30	8	12	100	2,10	A (≥ 1,5 MPa)	D (≥ 2 MPa)	1,33	Não atingiu	Não atingiu
T9	Areia passante na peneira 7						65	25	4	6	100	2,53	B (≥ 2,5 MPa)	D (≥ 2 MPa)	2,17	A (≥ 1,5 MPa)	D (≥ 2 MPa)
T10*	10	10	10	10	10	10	60	0	16	24	100	2,97	B (≥ 2,5 MPa)	D (≥ 2 MPa)	2,43	A (≥ 1,5 MPa)	D (≥ 2 MPa)
T11*	0	15	15	15	15	0	60	0	16	24	100	3,00	B (≥ 2,5 MPa)	C (≥ 3 MPa)	3,15	B (≥ 2,5 MPa)	C (≥ 3 MPa)
T12	10	10	15	0	15	15	65	0	14	21	100	2,23	A (≥ 1,5 MPa)	D (≥ 2 MPa)	1,83	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu
T13	10	15	10	12,5	12,5	0	60	0	16	24	100	1,87	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu	1,73	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu
T14*	10	10	10	10	10	15	65	0	14	21	100	1,80	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu	2,10	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu
T15*	10	15	10	12,5	12,5	0	60	0	16	24	100	2,20	A (≥ 1,5 MPa)	D (≥ 2 MPa)	2,08	A (≥ 1,5 MPa)	D (≥ 2 MPa)

Os resultados da primeira etapa apresentaram 83% dos traços com resultados satisfatórios, se enquadrando em pelo menos uma das classes das normas que norteiam este estudo. A Figura 14 representa em forma de gráfico os resultados referentes a cada traço (cura ambiente e úmida).

Figura 12 - Resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão



Após analisar os resultados dos ensaios realizados, selecionou-se os que apresentaram os melhores resultados em relação a resistência à compressão.

Os traços (T) selecionados foram baseados nas medias de cada traço, onde os traços 3,4,10 e 11 foram os que apresentaram maior resistência à compressão, composição descrita no Quadro 4.

Quadro 6 - Composição dos 4 traços (T3, T4, T10 e T11) selecionados

Traços	Areia Rejeito						Cinza vegetal	Cinza Mineral	Cal Hidratado	%
	Retida						Passante			
	7#	10#	16#	20#	30#	50#	30#	50#	100#	
T 3	0	10	10	10	10	10	10	16	24	100
T 4	10	10	10	15	10	10	10	10	15	100
Traços	Areia Calcária						-	-	-	
T 10	10	10	10	10	10	10	0	16	24	100
T 11	0	15	15	15	15	0	0	16	24	100

Os traços selecionados servem de base para continuidade do estudo na segunda etapa. Os resultados apresentam variação média de 2,97 à 3,13 MPa para cura ambiente e 2,03 à 3,15 para cura úmida. Os 4 traços selecionados atendem os padrões referente a resistência a compressão da NBR 7170 e NBR 6136. Atendendo as categorias A e B da NBR 7170 e categorias C e D da NBR 6136.

5.2 Resultados segunda etapa

5.2.2 Resistência à compressão

Os corpos de provas foram rompidos com 7 e 28 dias de cura, os resultados variaram de 1 a 14,1 MPa, conforme representado no quadro 6.

Efetuuou-se o rompimento dos corpos de prova com 7 e 28 dias para poder acompanhar a evolução quanto a resistência à compressão sendo uma exigência de NBR 5739.

Quadro 7 - Resistência à compressão (MPa), referente a cada ensaio realizado e a respectiva média de cada traço

Traços	Resistência à compressão (MPa)															
	7 dias								28 dias							
	Úmida			Média	Ambiente			Média	Úmida			Média	Ambiente			Média
T 31	2,2	1,9	1,5	1,9	1,4	1,9	2,3	1,9	8,1	7,3	7,6	7,7	2,7	2,3	2,4	2,5
T 32	2,6	3,0	3,1	2,9	3,1	3,9	3,0	3,3	12	11,8	12,4	12,1	5,1	4,4	5,6	5,0
T 33	6,3	5,8	5,4	5,8	7	8,6	8,0	7,9	9,5	12,3	15,0	12,3	9,4	9,1	8,5	9,0
T 34	2,3	1,6	1,9	1,9	1,7	2,2	2,6	2,2	2	1,9	1,9	1,9	1,7	1,7	1,9	1,8
T 41	1,2	1,5	1,7	1,5	1,4	1,7	2,0	1,7	4,0	3,6	3,4	3,7	1,4	1,6	2,0	1,7
T 42	4,2	5,3	4,8	4,8	4,7	5,3	4,5	4,8	9,5	10,7	8,5	9,6	5,2	4,2	5,9	5,1
T 43	5,1	4,6	5,5	5,1	6,5	5,3	5,7	5,8	14,9	13,4	14,1	14,1	7,0	6,5	7,7	7,1
T 44	1,5	1,3	1,8	1,5	2,2	1,6	1,4	1,7	1,0	0,9	1,1	1,0	1,0	1,3	1,2	1,2
T 101*	1,5	1,9	1,5	1,6	2,7	2,1	1,9	2,2	8,6	8,9	8,5	8,7	4,4	3,7	3,2	3,8
T 102*	1,7	2,3	2,1	2,0	2,1	2,5	1,7	2,1	9,2	9,0	8,6	8,9	3,4	3,6	3,1	3,4
T 103*	4,8	4,0	4,2	4,3	3,2	4,0	3,8	3,7	10,6	9,6	10,0	10,1	4,9	5,2	4,8	5,0
T 104*	1,6	1,3	1,8	1,6	2,1	1,9	1,9	2,0	1,3	1,1	1,3	1,2	1,8	1,9	1,7	1,8
T 103*	1,4	1,6	2,0	1,7	1,7	2,3	1,6	1,9	2,8	5,3	4,2	4,1	1,8	1,7	1,6	1,7
T 112*	2,8	3,6	3,4	3,3	3,1	3,3	2,7	3,0	7,7	9,4	10,9	9,3	3,3	3,2	3,6	3,4
T 113*	4,1	4,3	3,4	3,9	2,7	3,8	3,4	3,3	12,3	12,9	11,4	12,2	5,0	6,6	5,7	5,8
T 114*	2,3	1,5	1,7	1,8	1,7	2,4	1,7	1,9	1,2	1,5	1,5	1,4	1,2	1,0	1,3	1,2

Legenda:

* = Traços realizados com areia calcária

Nº = Resultados que apresentaram as maiores médias entre cada traço.

Os resultados apresentaram diferenças significantes entre os traços e até mesmo a diferença nos resultados de cura ambiente e cura úmida de uma mesmo traço e quanto ao tempo de cura.

Os traços T34, 44, T104 e T114 não utilizaram cimento em sua composição e apresentaram resultados interessantes, onde todos os 4 traços apresentaram uma melhor resistência a compressão (MPa) com cura de 7 dias, diferente dos demais traços que apresentaram melhores resultados com 28 dias de cura.

Com tempo de cura de 7 dias, a cura úmida e a cura ambiente se equivalem, para as composições que utilizam cimento. Já para cura com 28 dias, a cura úmida apresentou resultados significativamente melhores. Onde mais de 90% dos traços de cura úmida com 28 dias apresentaram valores duas vezes maiores que os traços em cura ambiente.

Em relação a adição de cimento nas fórmulas, é notável a melhora dos resultados com adição gradativa do cimento. Onde uma composição com 6,98% de cimento chegou a resistência média de 3,7 MPa, o mesmo traço, porém com 16,7% de cimento, apresentou a resistência média de 14,1MPa, o que se explica a importância do cimento para a obtenção de melhores resultados.

5.2.2.1 Descrição detalhada dos traços

No Quadro 7 estão representados os 16 (dezesseis) traços elaborados na segunda etapa do estudo.

Quadro 8 - Composições dos traços da segunda etapa

COMPOSIÇÃO DO TRAÇO											
TRAÇOS	AREIA REJEITADA						TOTAL AREIA (%)	CINZA VEGETAL	CINZA MINERAL	CAL HIDRATADO	CIMENTO
	R-7	R-10	R-16	R-20	R-30	R-50		P-30	50#	100#	
T 31	0,0	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	46,5	9,3	14,9	22,3	7,0
T 32	0,0	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	44,4	8,9	14,2	21,3	11,1
T 33	0,0	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	41,7	8,3	13,3	20,0	16,7
T 34	0,0	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	41,7	8,3	30,0	20,0	0,0
T 41	9,3	9,3	9,3	14,0	9,3	9,3	60,5	9,3	9,3	14,0	7,0
T 42	8,9	8,9	8,9	13,3	8,9	8,9	57,8	8,9	8,9	13,3	11,1
T 43	8,3	8,3	8,3	12,5	8,3	8,3	54,2	8,3	8,3	12,5	16,7
T 44	8,3	8,3	8,3	12,5	8,3	8,3	54,2	8,3	25,0	12,5	0,0
T 101*	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	55,8	0,0	14,9	22,3	7,0
T 102*	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	53,3	0,0	14,2	21,3	11,1
T 103*	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	50,0	0,0	13,3	20,0	16,7
T 104*	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	50,0	0,0	30,0	20,0	0,0
T 103*	0,0	14,0	14,0	14,0	14,0	0,0	55,8	0,0	14,9	22,3	7,0
T 112*	0,0	13,3	13,3	13,3	13,3	0,0	53,3	0,0	14,2	21,3	11,1
T 113*	0,0	12,5	12,5	12,5	12,5	0,0	50,0	0,0	13,3	20,0	16,7
T 114*	0,0	12,5	12,5	12,5	12,5	0,0	50,0	0,0	30,0	20,0	0,0

* Utilização de areia calcária na composição

No quadro 9 estão representados os resultados (MPa) e classificação dos 16 (dezesseis) traços elaborados na segunda etapa do estudo.

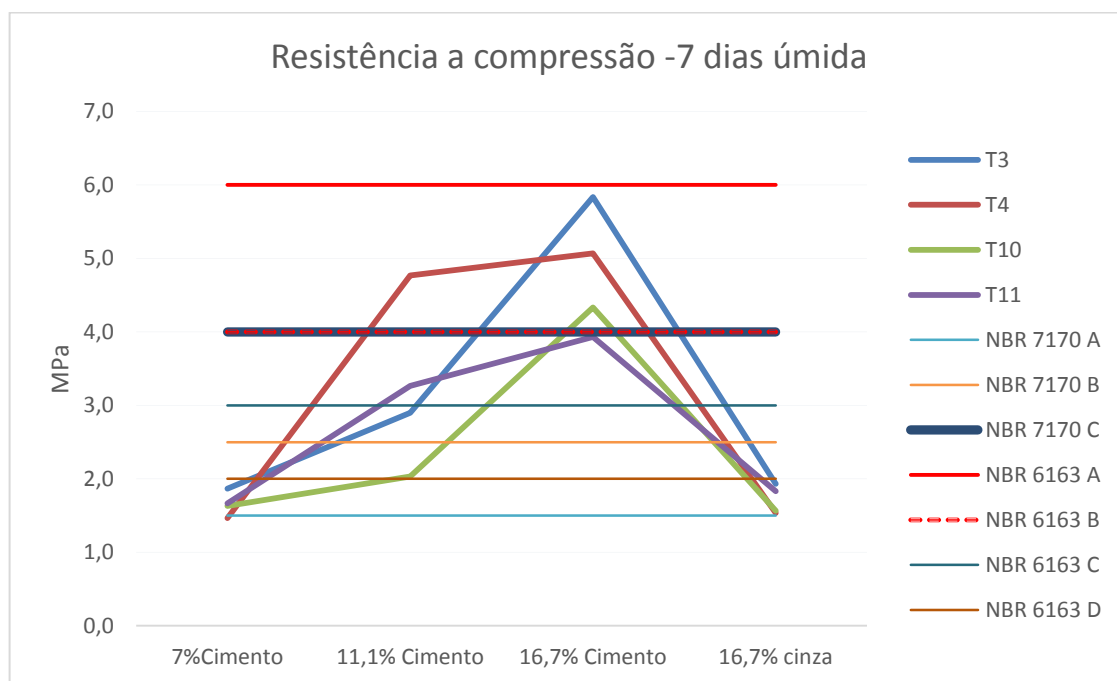
Quadro 9 - Classificações dos traços conforme as NBR

CLASSIFICAÇÃO DOS TRAÇOS												
TRAÇOS	CURA AMBIENTE (7 DIAS) MPa	CLASSIFICAÇÃO		CURA AMBIENTE (28 DIAS) MPa	CLASSIFICAÇÃO		CURA ÚMIDA (7 DIAS) MPa	CLASSIFICAÇÃO		CURA ÚMIDA (28 DIAS) MPa	CLASSIFICAÇÃO	
		NBR 7170	NBR 6163		NBR 7170	NBR 6163		NBR 7170	NBR 6163		NBR 7170	NBR 6163
T 31	1,87	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu	2,47	A (≥ 1,5 MPa)	D (≥ 2 MPa)	1,87	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu	7,67	C (≥ 4 MPa)	A (≥ 6 MPa)
T 32	3,33	B (≥ 2,5 MPa)	C (≥ 3 MPa)	5,03	C (≥ 4 MPa)	B (≥ 4 MPa)	2,90	B (≥ 2,5 MPa)	D (≥ 2 MPa)	12,07	C (≥ 4 MPa)	A (≥ 6 MPa)
T 33	7,87	C (≥ 4 MPa)	B (≥ 4 MPa)	9,00	C (≥ 4 MPa)	A (≥ 6 MPa)	5,83	C (≥ 4 MPa)	C (≥ 3 MPa)	12,27	C (≥ 4 MPa)	A (≥ 6 MPa)
T 34	2,17	A (≥ 1,5 MPa)	D (≥ 2 MPa)	1,77	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu	1,93	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu	1,93	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu
T 41	1,70	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu	1,67	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu	1,47	Não atingiu	Não atingiu	3,67	B (≥ 2,5 MPa)	C (≥ 3 MPa)
T 42	4,83	C (≥ 4 MPa)	B (≥ 4 MPa)	5,10	C (≥ 4 MPa)	B (≥ 4 MPa)	4,77	C (≥ 4 MPa)	B (≥ 4 MPa)	9,57	C (≥ 4 MPa)	A (≥ 6 MPa)
T 43	5,83	C (≥ 4 MPa)	B (≥ 4 MPa)	7,07	C (≥ 4 MPa)	A (≥ 6 MPa)	5,07	C (≥ 4 MPa)	B (≥ 4 MPa)	14,13	C (≥ 4 MPa)	A (≥ 6 MPa)
T 44	1,73	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu	1,17	Não atingiu	Não atingiu	1,53	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu	1,00	Não atingiu	Não atingiu
T 101*	2,23	A (≥ 1,5 MPa)	D (≥ 2 MPa)	3,77	B (≥ 2,5 MPa)	C (≥ 3 MPa)	1,63	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu	8,67	C (≥ 4 MPa)	A (≥ 6 MPa)
T 102*	2,10	A (≥ 1,5 MPa)	D (≥ 2 MPa)	3,37	B (≥ 2,5 MPa)	C (≥ 3 MPa)	2,03	A (≥ 1,5 MPa)	D (≥ 2 MPa)	8,93	C (≥ 4 MPa)	A (≥ 6 MPa)
T 103*	3,67	B (≥ 2,5 MPa)	C (≥ 3 MPa)	4,97	C (≥ 4 MPa)	B (≥ 4 MPa)	4,33	C (≥ 4 MPa)	B (≥ 4 MPa)	10,07	C (≥ 4 MPa)	A (≥ 6 MPa)
T 104*	1,97	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu	1,80	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu	1,57	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu	1,23	Não atingiu	Não atingiu
T 103*	1,87	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu	1,70	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu	1,67	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu	4,10	C (≥ 4 MPa)	B (≥ 4 MPa)
T 112*	3,03	B (≥ 2,5 MPa)	C (≥ 3 MPa)	3,37	B (≥ 2,5 MPa)	C (≥ 3 MPa)	3,27	B (≥ 2,5 MPa)	Não atingiu	9,33	C (≥ 4 MPa)	A (≥ 6 MPa)
T 113*	3,30	B (≥ 2,5 MPa)	D (≥ 2 MPa)	5,77	C (≥ 4 MPa)	B (≥ 4 MPa)	3,93	B (≥ 2,5 MPa)	C (≥ 3 MPa)	12,20	C (≥ 4 MPa)	A (≥ 6 MPa)
T 114*	1,93	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu	1,16	Não atingiu	Não atingiu	1,83	A (≥ 1,5 MPa)	Não atingiu	1,4	Não atingiu	Não atingiu

Os resultados da segunda etapa apresentaram 100% dos traços com resultados satisfatórios, para os traços que possuem cimento, se enquadrando em pelo menos uma das classes das normas que norteiam este estudo. Já os traços que não possuíam cimento em sua composição, apresentaram resultados insatisfatórios, onde 93,75 dos resultados não se enquadraram nos parâmetros da NBR 6163 e apenas 68,75 dos resultados se enquadraram nos parâmetros da NBR 7170.

Na Figura 15 são representados os dos traços 3, 4, 10 e 11 com a adição gradativa de cimento (7%, 11,1% e 16,7%) e cinza mineral (16,7%). A quantidade de cinza utilizada equivale a quantidade de cimento que apresentou os melhores resultados entre as três medidas (7%, 11,1% e 16,7%).

Figura 13 - Resistência a compressão em cura úmida com 7 dias de cura



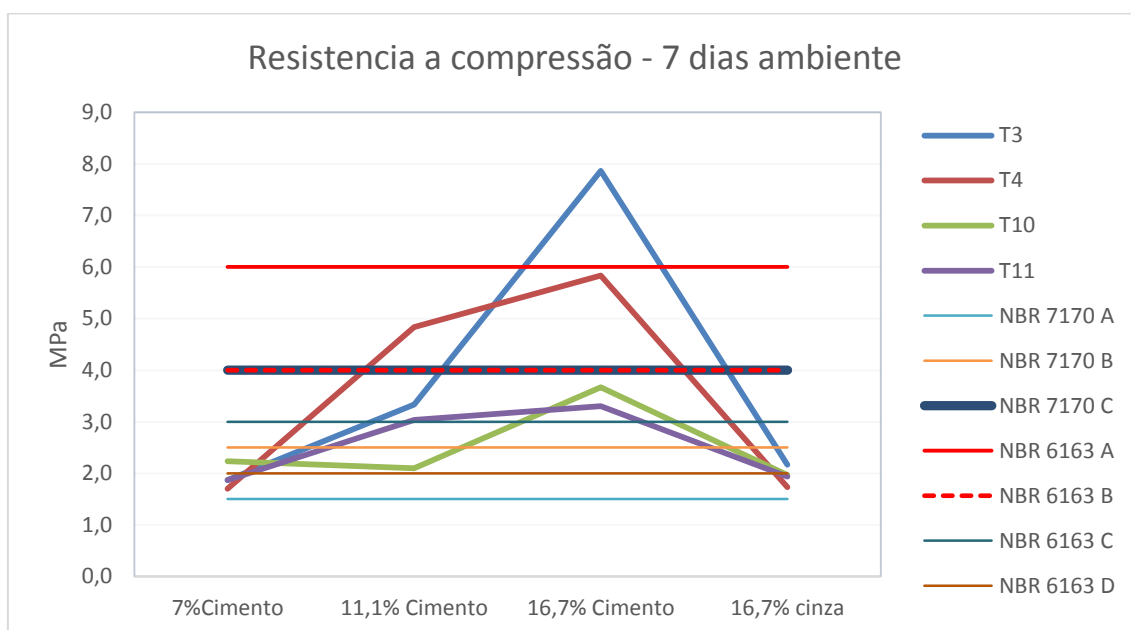
Com cura úmida de sete dias já é possível encontrar resultados satisfatórios, principalmente para os traços com utilização de 16,7% de cimento, onde o T3, T4 e T10 somente não se enquadram nas exigências da NBR 6163 categorias A (com função estrutural, para uso em elemento de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo). Em destaque para o T4 que com 11,1% de cimento apresentou auto índice de resistência a compressão (4,8 MPa).

É possível perceber a importância da adição do cimento para o aumento na resistência dos blocos. A substituição íntegra do cimento por cinza mineral apresentou

resultados insatisfatórios, sendo que os resultados com adição de 16,7% de cinza mineral se equivalem aos resultados obtidos na primeira fase do experimento (inexistência de cimento nas fórmulas).

Já na Figura 16 são apresentados os valores referentes a cura ambiente com tempo de cura igual a 7 dias.

Figura 14 - Resistência a compressão em cura úmida com 7 dias de cura



Com cura ambiente de sete dias já é possível encontrar resultados satisfatórios, principalmente para o traço T3 que com a utilização de 16,7% de cimento atendeu todas as normas que norteiam este estudo. O T4 novamente apresentou ótimos resultados, sendo que com a adição de 11,1% e 16,7% de cimento já atingiu as exigências das NBR 7170 (categoria C) e NBR 6163 (categoria B).

Os demais resultados se enquadraram nas exigências inferiores das normas que norteiam este estudo, podendo ser utilizados com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do uso do solo (edificações de no máximo 1 pavimento) e sem função estrutural, para uso em elemento de alvenaria acima do nível do solo.

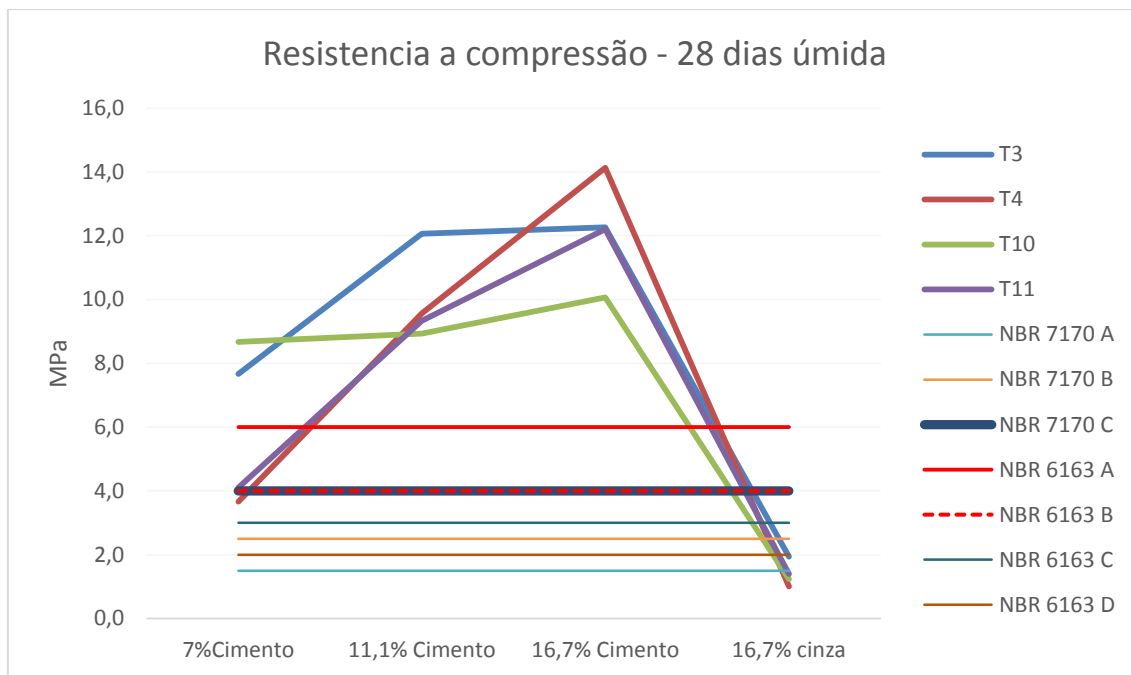
Na figura 17 são representados os resultados dos traços 3, 4, 10 e 11 com a adição gradativa de cimento (7%, 11,1% e 16,7%) e cinza mineral (16,7%).

Os melhores resultados obtidos foram nos traços com 28 dias em cura úmida, onde todos os traços com 11,1% e 16,7% de cimento atingiram as exigências de todas as normas

que norteiam este estudo. Em destaque para o T3 e T10 que atingiram as exigências de todas as normas que norteiam este estudo com a adição de apenas 7% de cimento.

É possível perceber que adição excessiva de cinza resulta em redução da resistência conforme o tempo de cura.

Figura 15 - Resistência a compressão em cura úmida com 28 dias de cura



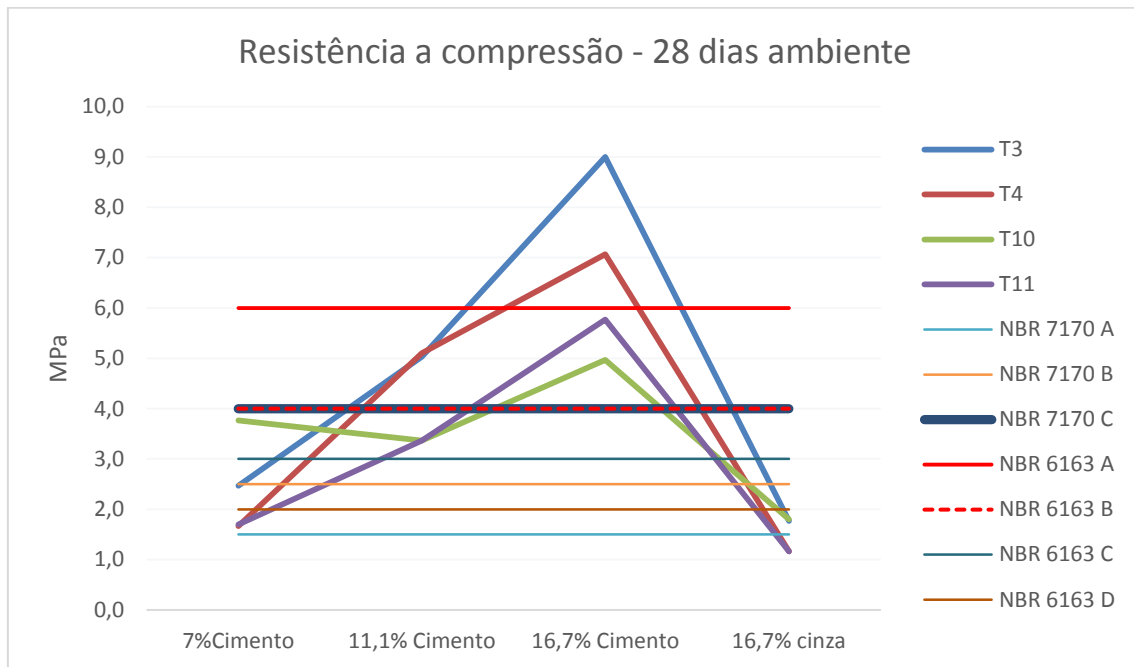
Na Figura 18 são representados os resultados obtidos com o tempo de 28 dias de cura.

Os traços com 28 dias de cura ambiente apresentaram resultados satisfatórios, porém os resultados foram consideravelmente inferiores aos com cura úmida com 28 dias.

Os traços T3 e T4 com 16,7% de cimento apresentaram os melhores resultados, se enquadrando nas exigências de todas as normas que norteiam este estudo. Já os traços T10 e T11 se enquadraram nas exigências das normas NBR 7170 (categoria C) e NBR 6163 (categoria B).

Referente a adição de cinza, ocorreu o mesmo que a cura úmida de 28 dias, resultando em redução da resistência conforme o tempo de cura.

Figura 16 - Resistência a compressão em cura úmida com 28 dias de cura



5.4 Análise geral

Os resultados com 7 dias de cura apresentaram grande diferença conforme o tipo de cura e também a formulação dos traços, no que se refere a resistência à compressão, porém os traços que apresentaram melhor desempenho para cura seca também apresentaram melhores desempenho na cura úmida. Os traços T3 e T4 apresentaram melhores resultados na cura seca, já os traços T10 e T11 apresentaram melhores resultados na cura úmida.

Os resultados com 28 dias apresentaram grande diferença conforme o tipo de cura e também a formulação do traço. A cura úmida com 28 dias de cura apresentou os melhores resultados, sendo que com adição de 7% de cimento, os traços T3 e T10 atenderam as exigências estabelecidas. Com a adição de 11,1% e 16,7% todos os traços (T3, T4, T10 e T11) atenderam as exigências das normas que norteiam este estudo.

Para cura seca de 28 dias os resultados foram satisfatórios, porém inferiores aos resultados da cura úmida, sendo que para cura seca, apenas os traços T10 e T11 com 16,7% de cimento se enquadraram em todas as categorias das normas que norteiam este estudo.

Para fins de utilização na construção civil, só é considerado os resultados obtidos com cura de 28 dias. Desta forma, para melhor discutir as relações econômicas da confecção desses blocos, é considerado apenas as curas com 28 dias.

5.5 Relação econômica

A metodologia para efetuar os custos, foi elaborada pelo autor, onde levou em consideração o custo de aquisição dos equipamentos e produtos para a confecção dos blocos ecológicos, assim comparados com o preço de mercado.

Para efetuar esta comparação, efetuou-se uma pesquisa no mercado regional. Para quantificar o custo do bloco confeccionado no estudo utilizou-se os valores gastos pela empresa para compra ou produção do produto.

Primeiramente efetuou-se o custo inicial para a fabricação dos blocos pela empresa, que seria de R\$ 10.000,00, sendo R\$ 7.000,00 em moldes (400 moldes), R\$ 2.000,00 em uma betoneira de 400 litros e R\$ 1.000,00 em materiais em gerais.

Para adquirir o valor de mercado, efetuou-se a pesquisa em três empresas no Rio Grande do Sul, sendo uma na região central, uma localizada no noroeste do estado e a última na região metropolitana, no quadro 7 seguem os valores adquiridos em contato com as empresas.

Quadro 10 - Custo de mercado dos blocos

Relação do custo e a resistência a compressão			
Região do estado	Dimensões (cm) LxAxC	Resistência a compressão (MPa)	Valores unitário (R\$)
Central	14x19x39	4	2,54
	14x19x39	6	2,92
	14x19x39	9	3,3
Noroeste	14x19x39	4	2,65
	14x19x39	6	2,95
	14x19x39	9	3,40
Metropolitana	14x19x39	4	2,50
	14x19x39	6	2,88
	14x19x39	9	3,3

Após fazer um levantamento no mercado, efetuou-se o cálculo de custo de produção nesta mesma empresa onde os produtos foram adquiridos.

Para efetuar a contabilidade de custo dos blocos ecológicos, foi necessário efetuar um levantamento dos produtos utilizados na fabricação dos blocos ecológicos, sendo que alguns produtos são gerados na empresa e outros são adquiridos através da compra de outras empresas, os valores encontrados, consideram os impostos, valores dos produtos, mão de obra e fretes. No quadro 8 estão apresentados os valores dos produtos utilizados na fabricação dos blocos ecológicos.

Quadro 11 - Custo material utilizado no estudo

Custo dos Produtos	
Produto	Valor/Tonelada
Areia	R\$ 20,00
Cinza Vegetal	R\$ 0,00
Cinza Mineral	R\$ 39,10
Cal Hidratada	R\$ 171,00
Cimento	R\$ 464,47

O valor da areia refere-se ao valor de venda, pois refere-se resíduo gerado na secagem da mesma. A cinza mineral apresenta custo zero, pelo motivo de não haver mercado para comercialização, sendo disposto em aterro. O valor da cinza mineral refere-se ao valor que a empresa paga pelo resíduo. O valor da cal, equivale ao custo para a empresa produzir o produto. Já o cimento refere-se ao valor que a empresa paga pelo produto.

Para efetuar o cálculo referente ao custo da mão de obra para a fabricação dos blocos ecológicos, levou em consideração o custo com o colaborador (salário, férias, INSS, FGTS, alimentação, plano de saúde, EPIs, custos médicos) o rendimento diário e 30 (trinta) dias de férias. Um colaborador trabalha 220 horas/mês, com rendimento de 25 blocos/hora, totalizando 5500 blocos/mês, já o custo com o colaborador é R\$ 2.400,00, sendo o custo da mão de obra de R\$ 0,44 por bloco, nos cálculos de custo dos blocos considerou-se acréscimo de 10%, custando R\$ 0,50 por bloco.

Considerando os produtos utilizados e a mão de obra, foi possível calcular o custo dos blocos conforme os traços (Quadro 9)

Quadro 12 - Custo de produção de cada bloco

Traços	Média	Custo em Reais						
	MPa	Areia	Cinza Vegetal	Cinza Mineral	Cal Hidratado	Cimento	Mão de obra	Total
T 31	7,7	0,10	0,00	0,06	0,40	0,34	0,50	1,40
T 32	12,1	0,09	0,00	0,06	0,38	0,54	0,50	1,58
T 33	12,3	0,09	0,00	0,05	0,36	0,81	0,50	1,81
T 34	1,9	0,09	0,00	0,12	0,36	0,00	0,50	1,07
T 41	3,7	0,13	0,00	0,04	0,25	0,34	0,50	1,26
T 42	9,6	0,12	0,00	0,04	0,24	0,54	0,50	1,44
T 43	14,1	0,11	0,00	0,03	0,22	0,81	0,50	1,69
T 44	1,0	0,11	0,00	0,10	0,22	0,00	0,50	0,94
T 101*	8,7	0,12	0,00	0,06	0,40	0,34	0,50	1,42
T 102*	8,9	0,11	0,00	0,06	0,38	0,54	0,50	1,60
T 103*	10,1	0,11	0,00	0,05	0,36	0,81	0,50	1,83
T 104*	1,2	0,11	0,00	0,12	0,36	0,00	0,50	1,09
T 103*	4,1	0,12	0,00	0,06	0,40	0,34	0,50	1,42
T 112*	9,3	0,11	0,00	0,06	0,38	0,54	0,50	1,60
T 113*	12,2	0,11	0,00	0,05	0,36	0,81	0,50	1,83
T 114*	1,4	0,11	0,00	0,12	0,36	0,00	0,50	1,09

Os resultados econômicos foram satisfatórios se comparados com o custo de mercado, sendo que além de valores menores apresentaram valores de resistência a compressão superiores aos do mercado. Sendo os únicos que não apresentaram resultados positivos foram os traços que não apresentam cimento na composição.

O Quadro 10 demonstra um comparativo entre os blocos fabricados e os blocos no mercado

Quadro 13 - Custo de produção dos blocos, comparados com o valor de mercado

Origem dos Blocos	Resistencia a compressão	Valor
Fabricados	4,1	R\$ 1,40
	7,7	R\$ 1,42
	9,3	R\$ 1,60
Valor de mercado	4	R\$ 2,50
	6	R\$ 2,88
	9	R\$ 3,30

Para esse comparativo foram utilizados os valores (MPa) que se aproximaram mais dos valores de mercado (4, 6 e 9 MPa), desta forma é possível perceber o quanto é rentável financeiramente para a empresa a confecção de blocos ecológicos. Sendo o custo do

investimento de R\$ 10.000,000, para quitar este investimento é necessário a fabricação de 10.000 blocos, que equivale a 2 meses de produção, sendo apenas 1 colaborador. 10.000 blocos equivalem a cerca de 750 m² de parede, sendo possível a construção de cerca de 4 casas com 70 m².

6 CONCLUSÃO

A confecção dos blocos ecológicos, além de evitar o processo de queima utilizado nos tijolos cerâmicos que reduz a emissão de CO₂, ainda minimiza os impactos ambientais através da redução da extração de mais recursos naturais, diminuindo o consumo de matérias-primas. Além disso aumenta a vida útil dos aterros, disponibilizando apenas para o descarte de resíduos sem condições de reciclagem.

Os materiais utilizados neste estudo apresentam potenciais para serem utilizados na produção de blocos, se utilizados da forma correta. A cinza mineral apresenta propriedades pozolânicas e se combinado com cal e/ou cimento nas medidas adequadas são obtidos ótimos resultados, mas se utilizada em excesso, prejudica o composto, assim como a cinza mineral que em maiores proporções apresentou resultados insatisfatórios. O material agregado (areia) é de extrema importância e essencial para a composição, mas se o fracionamento da granulometria da areia não for equivalente, resulta em vazios que prejudica a composição do produto. Os aglomerantes utilizados (cal e cimento) agregam grande importância na confecção dos blocos, porém são os materiais que apresentam maior valor agregado, acarretando em custo no produto final. Por este motivo a importância de verificar a necessidade de uso do produto, pois os resultados (resistência a compressão) estão diretamente proporcionais ao uso dos aglomerantes.

Destacando, o custo de produção dos blocos que variou de R\$ 1,40 (4,2 MPa) a R\$ 1,60 (9,3 MPa) enquanto o custo de mercado varia de R\$ 2,50 (4 MPa) a R\$ 3,30 (9 MPa), além de outros resultados com maior resistência e valores satisfatórios, porém não se enquadram nos produtos encontrados no mercado.

Por todos estes motivos, é notável a possibilidade e a viabilidade econômica e de uso desta técnica para fabricação de blocos para a construção civil, frisando a importância de seguimento deste estudo. realizando outros ensaios como tração direta, tração por compressão diametral, resistência à tração na flexão, módulo de elasticidade, coeficiente de permeabilidade à água, abrasão hidráulica, absorção entre outros, para poder avaliar o potencial para outros usos.

7 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2014**. Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Disponível em: . Acesso em: 11 jul. 2017.

ALMEIDA, Salvador. Luiz. Matos de. **Aproveitamento de rejeitos de pedreiras de Santo Antônio de Pádua, RJ para produção de brita e areia**. São Paulo, 2000. 118 p. Tese Departamento de Engenharia e Minas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ANDRADE, Ana Clarice Figueiredo de. **Tijolos de cinza volante e cal, estudo de desempenho quanto a resistência, absorção, durabilidade e aderência**. 1991. Dissertação Engenharia Civil, UFRGS.

ANDRADE, Clarice de. **Materiais para construção civil a base de cinzas de madeira, lodo de ETA e resíduos da produção de cal**. 2012. Dissertação Engenharia e Ciência dos Materiais UFPR.

ÂNGULO, Sérgio Cirelli; ZORDAN, Sérgio Edurado.; JOHN, Vanderley Moacyr **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construção civil**. In: IV Seminário Desenvolvimento sustentável a reciclagem na construção - práticas recomendadas, 2001, São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND- ABCP. **Guia Básico de utilização do cimento Portland**. 7. ed. São Paulo, 28 p.,2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. NBR 6136: blocos vazados de concreto simples para alvenaria- requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. NBR 7170: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS, NBR 7215: Cimento Portland- Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

BRASIL. Lei n. 12.305 de 02 de agosto 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 02 ago.

2010. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636> >. Acesso em: 16 jul. 2017.

BRASIL. Lei n. 9921 de 27 de julho de 1993. Dispõe sobre a gestão dos resíduos sólidos, nos termos do artigo 247, parágrafo 3º da Constituição do Estado e dá outras providências. Disponível em: < <http://www.proamb.com.br/downloads/mjea3g.pdf> >. Acesso em: 10 abr. 2017.

BARRETO, Maria Laura. **Desenvolvimento sustentável: uma abordagem conceitual**. Arché Interdisciplinar 25. Ano VIII, 1999. Rio de Janeiro: UCAM 28P. 1999.

BORTOLOTTO, O. J. **Petrografia dos Mármore de Caçapava do Sul**. Ciência e Natura: v. 9, p. 37-65, 1987.

CASTRO, Andrey Eduardo Marques. **Papel da educação ambiental na gestão do aterro sanitário de Araranguá/SC**. Disponível em: <file:///C:/Users/Joseane/Downloads/andrey-eduardo-marques-castro-16171184.pdf>. Acesso em: 09 nov. de 2017. Revista Online IPOG Especialize.

CHAVES, Laura Shirley Santana. **Impactos Ambientais Gerados por Mineração no Município de Capanema – PA**. Anais IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Salvador-Bahia, 2013.

DIAS, Cláudio Renato Rodrigues; VAZ, Joaquim. **A fabricação de tijolos ecológicos usando areia, cinza e cal na Cooperativa de Moradia e Construção Comunitária-Rio Grande**. Relatório de Testes- Caixa Econômica Federal, 2004.

DORNELES, Felipe Tavares; DE SOUZA, Luis Eduardo; NETO, Raul Oliveira. **Controle e previsão de níveis de ruído e vibrações gerados pelo desmonte de rochas com explosivos**. REMOA v.13, n.4, set-dez. 2014, p.3639-3648.

ENBRI (1994). **Development of a framework for environmental assessment of building materials and components**. (ENBRI Proposal to European Community BRITE EURAM Program).

FERREIRA, Andressa Maria Coelho; TANURE, Raffaella Leane Zenni; OKIMOTO, Maria Lúcia Leite Ribeiro. **Aplicação de Resíduos Industriais de Lodo de Papel, Cinza de Madeira e Cal no Desenvolvimento de Blocos de Vedação**. VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. 2010

FILHO, José Américo Alves Salvador. **Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas.** São Carlos-SP, 2007.

FRANÇA, Jacson Rodrigues; FLORES, Carlos Eduardo Balestrin; DA SILVEIRA, Rafael Borth; DE BORBA, Willian Fernando; FLORES, Bruno Acosta; PASSINI, Aline Custódio Ferrão; KEMERICH, Pedro Daniel da Cunha; STEIN, Thais Prestes; RODRIGUES, Alexandre Couto. **Plano de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos: estudo de caso em usina de triagem.**

GUIMARÃES, José Epitácio Passos. **A Cal: Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil.** 2002. 2ª Edição. Editora Pini: São Paulo-SP.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. 2011. **Balanco Energético Nacional 2011.** Ano Base 2010. Disponível em: < <https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2011.aspx> >. Acesso em: 03 jul. de 2017.

OLIVEIRA JÚNIOR, José Baptista. **Desativação de empreendimentos mineiros:** Estratégias para diminuir o passivo ambiental. Tese de Doutorado em Engenharia, USP, 2001.

LEMO, Andrea Cristina Conceição; KOESTER, Edinei; BRUCH, Alexandre Felipe; NOVAES, Luís Eduardo Silveira da Mota **Impactos Ambientais causados pela mineração no distrito de Monte Bonito, Pelotas.** Anais XVI Encontro Nacional dos Geógrafos. 2010. Porto Alegre - RS, 2010. ISBN 978-85-99907-02-3.

LEMO, R.G. **Estudo de Tijolos Fabricados com areia, cinza e cal.** Dissertação de Mestrado em Química do Carvão. UFPel. 2001.

LIMA, André Barbosa de. **O Processo Produtivo do Cimento Portland.** Monografia para o Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais da Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

LIMA, Rosiane de Lourdes Silva.; SEVERINO, Liv Soares.; ALBUQUERQUE, Robson César; FERREIRA, Gilvan Barbosa; SAMPAIO, Lígia Rodrigues; BELTRÃO, Napoleão Esberad de Macêdo. **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.

MACHADO, Amanda Ozório; ARAÚJO, Joice Andrade. **Avaliação de Tijolos Ecológicos Compostos por Lodo de Eta e Resíduos da Construção Civil.** 2014. XI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia.

MECHI, Andreia; SANCHES, Djalma Luiz. **Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo**. Revista Estudos Avançados. Vol.24 nº68. São Paulo, 2010.

MME- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – **Perfil Da Cal**. 39P. 2009. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256652/P46_RT72_Perfil_do_Cal.pdf/414a14fd-4574-4b22-bc3b-d07a3955bc69>. Acesso em: 14 jul de 2017.

MONTOVANI, André Tonolli. **Utilização de cinzas de biomassa florestal na fabricação de tijolos ecológicos**. Projeto (Ciências Rurais)- Universidade Federal de Santa Catarina. Curitiba, 2012.

NNANG, Arthur. **Aglomerantes Cimento Portland**. 2015 Disponível em:<https://www.passeidireto.com/arquivo/6355653/captulo-3-aglomerantes_cimento-portlandpdf>. Acesso em: 06 de julho de 2017.

PEREIRA, Ariany Cardoso; KLOSTER, Camila Silva; SOBRINHO, João Luiz da Silva; LANINI, Tamiris Luiza Soares; RIGON, Úrsula Maira Maciel. **Cimento Portland**. 2013. Disponível em: <http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_7092cimento_pobtland_pdf.pdf>. Acesso em: 07 jul de 2017.

PISANI, Maria Augusta Justi. **Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo cimento**. São Paulo: Sinergia, 2005. 53-59 p. Disponível em:<http://www.aedificandi.com.br/aedificandi/N%C3%BAmero%201/1_artigo_tijolos_solo_cimento.pdf>. Acesso em: 11 jul de 2017.

RODHE, Geraldo Mario; BONIN, Luís Carlos; MALLMANN, José Eduardo; ZWONOK, Oleg. **Cal pozolânica no Estado do Rio Grande do Sul: abordagem técnica para produtos inovadores**. 2012. CIENTEC- Fundação de Ciência e Tecnologia Ied.

SILVA, Isac José da; LIBÓRIO, Jefferson. **Medida da Estrutura Porosa de Pasta e Concreto de Cimento Portland**. In: 41º Congresso Brasileiro do Concreto, 1999, Salvador. 41º Congresso Brasileiro do Concreto, 1999.

SLONAKER, J. F. **An overview of the West Virginia University Department os energy fly ash brick process**. Morgantown: West Virginia University. 1978.

TRUGILHO, Paulo Fernando; LIMA, José Tarcísio; MENDES, Lourival Marin. **Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de Eucalyptus Saligna**.

Disponível em: <<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/18347>>. Acesso em: 03 jul de 2017.

TREVIZAN, E.V. **Aproveitamento de rejeitos na mineração**. 2013. 46f. Monografia (Engenharia de Minas)- Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2013.

VALADÃO, I.zabella Chrisynne Ribeiro Pinto; VILELA, Felipe Oliveira; FARIA, Jorge. **Produção de Tijolos Ecológicos no UGB**. 2015. Revista Episteme Transversalys. V.8, N.1.

VAZ, Joaquim; DIAS, Cláudio Renato Rodrigues. . **Moradias de Tijolos de Cinza, cal e areia**. In: I Jornada Luso-Brasileira de Ensino e Tecnologia em Engenharia - JLBE-2006, 2006, Porto Alegre. JLBE 2006, 2006.

VOTORANTIN. **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.