



**FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**CAIO CESAR DINIZ  
LUCAS ARIEL DO CARMO REIS**

**TIJOLO SOLO-CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DE  
ESCÓRIA DE FERRONÍQUEL**

**PUBLICAÇÃO N°: 20**

**GOIANÉSIA / GO  
2019**



**CAIO CESAR DINIZ  
LUCAS ARIEL DO CARMO REIS**

**TIJOLO SOLO-CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DE  
ESCÓRIA DE FERRONÍQUEL**

**PUBLICAÇÃO N°: 20**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG.**

**ORIENTADOR: ROBSON DE OLIVEIRA FELIX**

**GOIANÉSIA / GO: 2019**

## FICHA CATALOGRÁFICA

DINIZ, Caio César; REIS, Lucas Ariel do Carmo.

Tijolo Solo-Cimento com incorporação de escória de ferroníquel. 2019, xvi, 51P, 297 mm (ENC/FACEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

- |                 |                     |
|-----------------|---------------------|
| 1. Tijolo       | 2. Sustentabilidade |
| 3. Solo-Cimento | 4. Resíduo          |
| 5. Escória      |                     |

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DINIZ, Caio César; REIS, Lucas Ariel do Carmo. Tijolo Solo-Cimento com incorporação de escória de ferroníquel. TCC, Publicação ENC. PF-001A/19, Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, GO, 51p. 2019.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Caio Cesar Diniz e Lucas Ariel do Carmo Reis

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Tijolo Solo-Cimento com incorporação de escória de ferroníquel.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2019

É concedida à FACEG a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Caio César Diniz  
E-mail: caiocesardnz@gmail.com

---

Lucas Ariel do Carmo Reis  
E-mail: lucasgsia97@gmail.com

**CAIO CESAR DINIZ  
LUCAS ARIEL DO CARMO REIS**

**TIJOLO SOLO-CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DE  
ESCÓRIA DE FERRONÍQUEL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA FACEG COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

**APROVADO POR:**

---

**ROBSON DE OLIVEIRA FÉLIX, Especialista (FACEG)  
(ORIENTADOR)**

---

**IGOR CÉZAR SILVA BRAGA, Mestre (FACEG)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**JULIANA COSTA CAMPOS, Especialista (FACEG)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: GOIANÉSIA/GO, 05 de DEZEMBRO de 2019.**

*Agradecemos primeiramente a Deus que  
nos deu força e coragem para seguirmos em  
frente, agradecemos ao apoio de nossos amigos,  
familiares e namoradas.*

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos imensamente a Deus pelas oportunidades que Ele nos deu, por todas as bênçãos derramadas sobre nós, por ter nos dado coragem, paciência, e força para sempre seguir em frente, mesmo perante as maiores dificuldades ele sempre nos mostrou maior que qualquer problema. Agradecemos aos nossos familiares, em especial nossos pais, Sebastião e Arilda; e Nilzo e Clarice, que nos educaram, dando exemplo de honestidade, dignidade e humildade.

Queremos agradecer também as nossas namoradas, Eduarda F. Bacurau e Marília Ribeiro, por estarem sempre nos ouvindo e apoiando, aos nossos irmãos, Thamy Vanessa e João Lucas, por serem nossa inspiração. Também aos amigos e companheiros de serviço, aos nossos irmãos de caminhada e padres, em especial o Pe. Rodrigo Garcia Carrijo e Dioclésio Rios, que nos proporcionou uma formação humana e espiritual.

Gratidão também ao departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UnB (Universidade de Brasília) nas pessoas do professor Elton Bauner e do técnico Gabriel, que nos acolheu em seus laboratórios para um dos ensaios deste trabalho, ao engenheiro Ademir que nos ajudou na fabricação do produto nos emprestando a prensa, nosso muito obrigado também a FACEG que nos proporcionou essa graduação tão sonhada, aos professores que nos capacitaram, em especial Robson de Oliveira Felix, pela orientação, atenção e amizade.

Gratidão as pessoas que acreditaram em nós, gratidão também aos que não acreditaram, pois nos motivou a sermos melhores e conseguirmos alcançar nossos objetivos. Gratidão não somente as coisas que deram certo, mas as que deram errado também, afinal em tudo podemos tirar uma lição.

*“Eu acredito que às vezes são as pessoas  
que ninguém espera nada, que fazem as coisas  
que ninguém consegue imaginar”*

*Alan Turing.*

## RESUMO

Este trabalho é fruto da necessidade em se repensar e aprimorar a construção civil, afim de garantir a sua conformidade com as novas diretrizes sustentáveis do Brasil e do mundo, utilizando da excelente matriz do solo-cimento para incorporar o resíduo de escória de ferroníquel, gerado em grandes volumes pela mineradora Anglo American, na cidade de Barro Alto-Go. Unindo assim os interesses econômicos, sociais e ambientais na busca por um novo material com potencial para atender as atuais necessidades do setor, sendo ainda capaz de competir em qualidade e economia com os tradicionais materiais utilizados atualmente no mercado. Objetivando a fabricação de tijolos ecológicos de solo-cimento com incorporação de escória, substituindo parcialmente e integralmente a utilização do cimento pelo resíduo, por meio de 5 tratamentos diferentes, sendo eles 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de escória na relação cimento-resíduo. Para tal, amostras de corpo de prova dos tratamentos foram submetidas a ensaios de compressão simples nas idades de 14 e 28 dias e absorção de água com 28 dias, visando a determinação das características físicas e mecânicas do novo tijolo, onde através de análises dos resultados foi aferido de acordo com os parâmetros das normas regulamentadoras respectivas aos tijolos de solo cimento, que o resíduo de escória de ferroníquel pode substituir em até 50% o cimento utilizado no tijolo ecológico, sem afetar sua resistência mecânica necessária, alcançando ainda para determinado tratamento, melhoria nas propriedades mecânicas do tijolo tradicional, favorecendo a redução do consumo de cimento e a obtenção de tijolos de melhor qualidade.

**Palavras-chave:** Resíduo, Solo-cimento, Sustentabilidade, Tijolos.



## ABSTRACT

This work is the result of the need to rethink and improve civil construction in order to ensure its compliance with the new sustainable guidelines of Brazil and the world, using the excellent soil-cement matrix to incorporate iron nickel slag residue. , generated in large volumes by mining company Anglo American, in the city of Barro Alto-Go. Thus joining the economic, social and environmental interests in the search for a new material with potential to meet the current needs of the sector, being able to compete in quality and economy with the traditional materials currently used in the market. Aiming at the manufacture of ecological slabs incorporating soil-cement, partially and completely replacing the use of cement by the waste, through 5 different treatments, being 0%, 25%, 50%, 75% and 100% of slag in the cement-residue ratio. For this purpose, samples of the treatment specimens were submitted to simple compression tests at ages 14 and 28 days and water absorption at 28 days, aiming to determine the physical and mechanical characteristics of the new brick, where through analysis of the results. It was verified according to the parameters of the respective regulatory rules for cement soil bricks, that the iron-nickel slag residue can replace in up to 50% the cement used in the ecological brick, without affecting its necessary mechanical resistance, reaching even to a certain extent. Treatment, improvement in the mechanical properties of traditional brick, favoring the reduction of cement consumption and obtaining better quality bricks.

**Keywords:** Waste, Soil-cement, Sustainability, Bricks.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Local da retirada do solo .....	19
<b>Figura 2</b> - Laudo análise solo .....	20
<b>Figura 3</b> - Cimento CII-F-40 .....	20
<b>Figura 4</b> - Laudo Cimento CII-F-40 .....	21
<b>Figura 5</b> - Escória de ferroníquel.....	22
<b>Figura 6</b> - Estoque de escória da Anglo American em Barro Alto.....	22
<b>Figura 7</b> - Solo pronto para uso .....	25
<b>Figura 8</b> - Tratamento 3, cimento-escória .....	26
<b>Figura 9</b> - Integração dos componentes.....	27
<b>Figura 10</b> - Mistura dos componentes .....	27
<b>Figura 11</b> - Umidificação dos componentes.....	28
<b>Figura 12</b> – Prensa utilizada .....	29
<b>Figura 13</b> - Aferição das dimensões da prensa.....	30
<b>Figura 14</b> – Disposição do material no molde da prensa.....	28
<b>Figura 15</b> - Tijolo ecológico solo-cimento-escória .....	30
<b>Figura 16</b> - Aspersão dos tijolos.....	31
<b>Figura 17</b> - Moldagem do corpo de prova e Etiquetagem do corpo de prova.....	32
<b>Figura 18</b> - Prensas Contenco I-3058 e Denison T.I.A/MC 200tn.....	32
<b>Figura 19</b> - Estufa e dessecador de vidro.....	33
<b>Figura 20</b> - Pesagem do tijolo seco e saturado .....	34
<b>Figura 21</b> - Resistência a compressão simples para idades de 14 e 28 dias em relação ao tempo .....	37
<b>Figura 22</b> - Médias de resistência a compressão simples para idades de 14 e 28 dias em relação ao tratamento .....	37
<b>Figura 23</b> - Capacidade de absorção dos tratamentos .....	38
<b>Figura 24</b> - Gráfico Boxplot dos tratamentos .....	40
<b>Figura 25</b> - Resistência à compressão aos 28 dias - Regressão linear.....	41
<b>Figura 26</b> - Valor da alvenaria por metro quadrado sem acabamento.....	44

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1</b> - Caracterização da escória bruta ferroníquel de redução, lixiviação e solubilização. .....	23
<b>Tabela 2</b> - Análise de Variância para esquema fatorial 2x5. ....	39
<b>Tabela 3</b> - Resumo do Teste Tukey a 5% de probabilidade para resistência, no desdobramento aos 28 dias. ....	40
<b>Tabela 4</b> - Análise de regressão para variável resistência no desdobramento de escória para 28 dias.....	41

**LISTA DE QUADROS**

<b>Quadro 1</b> - Análise de espectrograma para escória ferroníquel de redução.....	9
<b>Quadro 2</b> - Resistência a compressão simples para idade de 14 dias.....	35
<b>Quadro 3</b> - Resistência a compressão simples para idade de 28 dias.....	36
<b>Quadro 4</b> - Absorção de água dos tijolos aos 28 dias de idade. ....	38
<b>Quadro 5</b> - Valores Individuais dos componentes. ....	42
<b>Quadro 6</b> - Custos e valores finais em relação aos tratamentos comercializáveis .....	42
<b>Quadro 7</b> - Valor da alvenaria por metro quadrado .....	43

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente.

GEE's - Gases do Efeito Estufa.

kg – Quilograma.

NBR – Norma Técnica.

CPII-E-32 -Cimento Portland composto com escória.

SANEAGO – Saneamento de Goiás.

CMMD - Comissão Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento.

EUA – Estados Unidos da América.

PCA - Portland Cement Association.

BPR - Bureal of Public Roads.

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland.

IPT - Instituto de Pesquisa Técnicas.

CEPED - Centro de Pesquisas e Desenvolvimento.

ABMTENC - Associação Brasileira de Materiais e Tecnologias não Convencionais.

ABCTerra - Associação Brasileira dos Construtores em Terra.

PNAPRI - Plano Nacional de Prevenção de Resíduos Industriais.

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.

EPI – Equipamento de Proteção Individual.

NJDHSS - Departamento de Serviços de Saúde de Nova Jersey.

EOHSI - Instituto de Ciência de Saúde Ocupacional e Ambiental.

GPa – Giga Pascal.

UnB – Unversidade de Brasília

FACEG – Faculdade Evangélica de Goianésia

BDI - Budget Difference Income

MPa – Mega Pascal.

Kgf – Quilograma força

mm<sup>2</sup> - Milímetro ao quadrado

m<sup>2</sup> - Metro quadrado

GR – Grama

**LISTA DE SÍMBOLOS**

(mg/L) - Miligrama /Litro.

(C<sup>3</sup>A) – Aluminato de Cálcio.

(C<sup>3</sup>S) – Silicato Tricálcico.

(C<sup>2</sup>S) – Silicato Dicálcico.

(C<sub>4</sub>AF) – Ferroaluminato Tetracálcico.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	2
1.2 OBJETIVOS .....	3
<b>1.2.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>3</b>
<b>2 REVISÃO LITERÁRIA .....</b>	<b>4</b>
2.1 CONSTRUÇÃO CIVIL E SUSTENTABILIDADE.....	4
<b>2.1.1 A inserção do desenvolvimento sustentável na construção civil.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.2 Construções sustentáveis e bioconstruções.....</b>	<b>5</b>
2.2 SOLO CIMENTO .....	6
<b>2.2.1 Tijolo solo-cimento.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.2 Uso e viabilidade do tijolo solo-cimento na construção civil.....</b>	<b>9</b>
2.3 ESCÓRIA DE FERRONÍQUEL .....	11
<b>2.3.1 Utilização de resíduos na construção civil. ....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.2 Incorporação de escória de ferroníquel em tijolos solo-cimento .....</b>	<b>12</b>
2.4 O SOLO .....	16
2.5 O CIMENTO .....	17
2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	18
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>19</b>
3.1 MATERIAIS .....	19
<b>3.1.1. Solo .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1.2 Cimento.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1.3 Água .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1.4 Escória de ferroníquel .....</b>	<b>21</b>
3.2 PROCEDIMENTOS APLICADOS AO SOLO .....	24
3.3. PROCEDIMENTOS APLICADOS ÀS MISTURAS.....	25
<b>3.3.1 Composição das misturas de solo-cimento-escória .....</b>	<b>25</b>
3.4 PROCEDIMENTOS APLICADOS AOS TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DE ESCÓRIA DE FERRONÍQUEL .....	26
<b>3.4.1 Confecção dos tijolos .....</b>	<b>26</b>
<b>3.4.2 Prensagem dos tijolos .....</b>	<b>28</b>
<b>3.4.3 Medição e pesagem dos tijolos .....</b>	<b>31</b>

<b>3.4.4 Cura dos tijolos .....</b>	<b>31</b>
3.5 ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES .....	31
3.6 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA .....	33
3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	34
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>35</b>
4.1 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES.....	35
4.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	37
4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	39
<b>4.3.1 Análise do desdobramento da escória dentro do tempo de 28 dias.....</b>	<b>40</b>
4.4 VIABILIDADE ECONÔMICA .....	41
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>47</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Há décadas atrás, a maioria dos países tinham uma perspectiva do meio ambiente como uma fonte de matéria-prima inesgotável, o qual era permitido servir-se ilimitadamente ou ainda ser utilizado de depósito de rejeitos sem nenhuma implicação, proporcionando um crescimento econômico irresponsável e desmedido de padrões ambientais (JUNIOR, 2008). No entanto, o conceito de sustentabilidade vem requerendo gradualmente no decorrer dos anos mais atenção e recursos no âmbito industrial do Brasil e do mundo (LIBRELOTTO, 2005).

Segundo Souza et al. (2008), a preocupação futura com a escassez de recursos naturais e a crescente preocupação com a preservação ambiental, somadas as recentes iniciativas de maior rigor, como as determinações do Ministério do Meio Ambiente por meio das Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (MMA) motivam o setor da construção civil a buscar por novas soluções técnicas capazes de suprir as demandas da sustentabilidade, garantindo o imprescindível equilíbrio entre as dimensões econômica, social e ambiental.

Diante da ascensão no desenvolvimento industrial observado na maior parte dos países do mundo, sobretudo aqueles em franco desenvolvimento, classificados como países emergentes, é cada vez mais frequente e volumosa a produção de resíduos sólidos que acabam gerando um numeroso passivo ambiental que impacta de maneira negativa no desenvolvimento sustentável mundial. Em contrapartida, tem-se desenvolvido, cada vez mais, estudos que busquem formas de reaproveitamento de resíduos, decorrente das similaridades físicas e mecânicas que alguns resíduos possuem em relação a materiais tradicionalmente utilizados no setor da construção civil, traçando análises de viabilidade técnica, econômica e ambiental (SANTOS, 2013).

A busca de reaproveitamento de rejeitos como a escória de ferroníquel, gerada em grandes volumes, a partir do processo de mineração de ferroníquel pela mineradora Anglo American no interior de Goiás, nas cidades de Barro Alto e Niquelândia, é cada vez mais necessária nos tempos atuais, haja visto que o respectivo resíduo sólido possui potencial para servir de matéria prima para fabricação de novos produtos, proporcionando ainda solução para as questões ambientais e bons resultados econômicos por meio da geração de renda a partir da comercialização deste material anteriormente tido como rejeito, assim como a redução de custos por parte de quem gera um produto derivado destes resíduos (SANTOS, 2013).

Uma alternativa sinérgica em potencial para o reaproveitamento deste resíduo sólido supracitado é o tijolo de solo-cimento, o qual de acordo com Grande (2003), é um produto em completa harmonia com as diretrizes do tão almejado desenvolvimento sustentável, devido ao

baixo consumo energético na extração da matéria prima, tendo capacidade de redução nos custos com transportes em decorrência da possibilidade de produção no próprio terreno da obra, possuindo ainda um maior aproveitamento do material por meio das técnicas empregadas na alvenaria estrutural, acarretando em um baixo volume de descartes e entulhos ao meio ambiente.

Este tipo de tijolo é produzido por um processo simples que facilita a incorporação de resíduos. Conforme Souza et al. (2008), o mesmo é derivado da mistura de solo, este em maior abundância, com cimento e água, sendo os solos com teor de areia entre 45 e 70% os mais apropriados para a fabricação do produto final.

O tijolo de solo-cimento, também denominado de tijolo ecológico, oferece como um de seus grandes diferenciais em relação ao usual tijolo cerâmico produzido nas cerâmicas e em olarias, a sua produção sem a necessidade de utilizar dos processos de cozimento, que são responsáveis por consumir expressivas quantidades de biomassas como lenha e serragem ou ainda óleo combustível (FERRAZ; SEGANTINI, 2003).

De acordo com o instituto IDD – Institut Wallon – VITO (2001), o tijolo cerâmico está entre os materiais que mais contribuem com emissões de gases como o CO<sub>2</sub> na atmosfera. Considerando a realidade de um volume de construções cada vez maior, correlacionado a um maior coeficiente de emissão de CO<sub>2</sub>, segundo Junior (2008) é congruente a substituição deste produto arcaico, visando a diminuição da emissão dos GEE's (Gases do Efeito Estufa) que tem sido no decorrer de décadas fator colaborador para o aquecimento global.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A constante busca por um equilíbrio que vise a utilização de recursos naturais juntamente com uma preocupação em relação aos danos ambientais produzidos nesse processo, se tornou um interesse não só dos ambientalistas, mas de profissionais e acadêmicos da área da Engenharia Civil.

Logo, vemos que existem inúmeras vantagens nos estudos voltados para a utilização de resíduos na fabricação de tijolos, que além de serem produzidos de forma sustentável incorporando a escória de ferroníquel, principal resíduo resultante da atividade industrial mineradora, também é considerado ecológico, por não utilizar dos métodos convencionais das cerâmicas, que consiste no cozimento do tijolo para sua cura, processo que expõe os funcionários a riscos ocupacionais devido à alta temperatura, além da utilização expressiva de

madeira, carvão vegetal ou óleo combustível, descartando assim uma extensa massa de gás carbônico na atmosfera.

O tijolo ecológico pode ser também uma forma de alavancar a economia local, gerando empregos diretos e indiretos de baixa necessidade técnica, além de proporcionar ganhos aos cofres públicos através de tramites tributários inerentes a qualquer empresa formal.

Portanto, essa busca por um redirecionamento, que combinasse a reutilização, e reaproveitamento de resíduos tidos como inaplicáveis, com a preocupação social e ambiental, alinhados também ao desenvolvimento de produtos para o setor da construção civil, torna-se a problemática discutida nesse trabalho.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O trabalho tem como objetivo principal, estudar o comportamento mecânico do tijolo solo-cimento, com substituição parcial e total do cimento por escória de alto-forno, gerada no processo de mineração de ferroníquel.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Produzir tijolo ecológico a partir da utilização de resíduo obtido no processo de mineração de ferroníquel;
- Analisar a substituição de parte do cimento pela escória de ferroníquel, principal resíduo resultante da atividade industrial mineradora, na produção de tijolos ecológicos;
- Realizar testes de compressão e permeabilidade, verificando se estão de acordo com a norma específica;
- Analisar estatisticamente o desdobramento da incorporação da escória de ferroníquel no tijolo solo-cimento, em relação a tempo e tratamentos.
- Realizar estudo de custos, para comprovar a viabilidade econômica do produto, obtendo um tijolo eco sustentável de vedação com um custo final reduzido em relação aos modelos atuais;

- Demonstrar viabilidade de uso na construção civil, despertando o interesse por meio dos profissionais da área.

## **2 REVISÃO LITERÁRIA**

### **2.1 CONSTRUÇÃO CIVIL E SUSTENTABILIDADE**

#### **2.1.1 A inserção do desenvolvimento sustentável na construção civil**

O conceito mais difundido sobre desenvolvimento sustentável dentro da comunidade científica, é o expresso no Relatório Nosso Futuro Comum da CMMD<sup>1</sup>, 1991, que consiste em atender as necessidades da geração presente sem comprometer o atendimento das necessidades das gerações futuras.

Para Mikhailova (2004), isso é, enquanto sustentabilidade está ligada a habilidade de sustento permanente<sup>2</sup>. Sendo, atividade sustentável aquela que não se cessará ao longo do tempo, pois a exploração do recurso natural é realizada de forma responsável e consciente. O desenvolvimento, expressa a capacidade de evolução na qualidade de vida dentro deste parâmetro de sustentabilidade.

Este novo modelo de desenvolvimento se expandiu nos últimos anos, e atingiu o agente produtor dos ambientes construídos<sup>3</sup>, enquadrando-o dentro dos moldes atuais, em que progresso e meio ambiente crescem juntos (MOTTA, 2009).

É importante ressaltar, que atividades do setor da construção civil<sup>4</sup> realizadas de forma irresponsável e inconsciente, afetam não apenas os recursos naturais, como também os ambientes artificiais<sup>5</sup> e a própria qualidade desses ambientes (MACÊDO E MARTINS, 2015).

Assim, uma importante contribuição da engenharia nesse processo de conscientização ambiental através das práticas de atividades realizadas no campo da construção civil, parte do levantamento de problemas, indagações e inquietações sobre a forma que essas atividades são realizadas, e não, com considerações e apreciações pré-estabelecidas.

---

<sup>1</sup>Comissão Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento. 1991, p. 09.

<sup>2</sup> Conforme já examinamos, permanente na medida que possibilita o atendimento das necessidades atuais e das necessidades futuras.

<sup>3</sup> Expressão utilizada por Motta para se referir ao setor de construção civil. 2009, p.06.

<sup>4</sup> Etapas de uma construção: projeto, análise do solo, locação da obra, fundação, impermeabilização, nivelamento, confecção dos pilares, alvenaria de vedação, instalação sanitária, requadro das esquadrias, madeiramento, cobertura, reboco, instalações elétricas e hidráulicas, acabamento.

<sup>5</sup> Refere-se aos espaços urbanos, cidades.

Dentre esses questionamentos podemos citar: Porque utilizar da luz artificial quando se pode aproveitar a luz do dia? Por que preencher novos espaços quando se pode recuperar áreas? Por que demolir construções que poderiam ser redirecionadas para novos usos? Por que descartar resíduos quando se pode reutilizá-los na construção civil? (FOSTER, 2003).

A reutilização dos resíduos na construção civil traz um duplice benefício, sendo um dentro do âmbito do próprio setor da construção civil, e o outro dentro de um exercício voltado para um desenvolvimento sustentável, caracterizando uma ação amplamente social (ROCHA et. al., 2003).

Dessa forma, o primeiro benefício citado, consiste na possibilidade de desenvolver materiais de baixo custo a partir dos subprodutos oriundos das indústrias, decorrente de uma investigação previa das potencialidades desses resíduos. E o segundo benefício, consiste na utilização de materiais que causem o mínimo impacto na base da cadeia produtiva<sup>6</sup>.

Nessa perspectiva, é evidente que existem muitos levantamentos e pesquisas a respeito de conceitos e práticas que devem ser adotados para um desenvolvimento sustentável no setor. No entanto, ainda se faz necessários que essas informações sejam mais abordadas e sejam melhor direcionadas e integradas dentro da comunidade acadêmica e principalmente profissional (MOTTA, 2009).

### **2.1.2 Construções sustentáveis e bioconstruções**

O conceito de construções sustentáveis está ligado a um modelo construtivo que gera alterações responsáveis no meio ambiente. De forma que possa atender às necessidades do homem moderno e ainda preservar os recursos naturais, assegurando a qualidade de vida para todas as gerações (Wieczynky, 2015).

Araújo (2011) esclarece que na prática, isso se demonstra por meio de uma busca de autossuficiência e autossustentabilidade no setor da construção. Que só é possível através do estabelecimento de uma série de critérios desde a escolha dos produtos até a origem da matéria prima, que os permite classificá-los como sustentáveis, abrindo conseqüentemente a possibilidade da elevação do padrão da obra e proporcionando uma melhora na qualidade de vida dos indivíduos.

---

<sup>6</sup>Refere aos recursos naturais, que fornecem os insumos, bens minerais que são o princípio de toda a cadeia produtiva.

Segundo Prompt (2015) as bioconstruções comunga de uma ideia similar à de construções sustentáveis. Sendo o nome que recebem as edificações que buscam a harmonia entre o ambiente artificial com o ambiente natural. Um mecanismo que provoca a produção de ambientes mais sustentáveis e saudáveis, que proporcionam concomitantemente uma maior qualidade de vida.

Como exemplo, temos as casas ecológicas, que foram idealizadas objetivando demonstrar procedimentos adequados do ponto de vista ecológico na construção civil e ainda, abrigar atividades relacionadas à educação ambiental.

## 2.2 SOLO CIMENTO

Segundo Pitta (1995), o primeiro relato existente da tentativa do uso de solo-cimento como componente construtivo ocorreu em Sarasota, Flórida (EUA), no ano de 1915, por meio do engenheiro Bert Reno, que na busca por um material de construção que oferecesse durabilidade e propriedades tecnológicas aprimoradas conciliado a um baixo valor econômico, fez a experiência de pavimentar uma determinada rua da respectiva cidade com um material obtido a partir da mistura de conchas marinhas, cimento Portland e areia de praia. No entanto, devido a ausência de parâmetros e tecnologias nesta época a experiência se tornou inválida, em decorrência da baixa qualidade resultante do material.

No ano de 1935, a Portland Cement Association (PCA), avançou consideravelmente em pesquisas e estudos relacionados a mistura destes materiais e através da parceria firmada com o Bureau of Public Roads (BPR) e o Departamento de Estradas de Rodagem do Sul da Califórnia, construíram uma pista experimental com 2,5 km, nas proximidades da cidade de Johnsonville, Carolina do Sul, experimento pelo qual se obteve a comprovação dos bons resultados desenvolvidos em laboratório pela PCA. Doravante estes resultados, outros Estados iniciaram a adoção do solo-cimento como componente construtivo de pavimentos rodoviários, o que motivou posteriormente o aumento no número de pesquisas dedicadas ao projeto e consequentemente o aprimoramento de seu controle de qualidade e técnica (LIMA, 2006).

Pitta (1995) atesta que por iniciativa da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) ocorreram as primeiras aplicações de solo-cimento no Brasil, no ano de 1940, mediante autorização da Aeronáutica Civil para construção da pista de circulação do aeroporto Santos Dumont, Rio de Janeiro. Cerca de um ano após o feito, em 1941, deu-se início a construção do trecho da estrada de Osasco, posteriormente a estrada federal de Caxambu - MG / Areias - SP e outro trecho de estrada em Alcântara, Rio de Janeiro.

Nos anos seguintes, o seu uso foi cada vez mais popularizado, devido principalmente as vantagens técnicas e econômicas ofertadas pelo material. Rocha (1996) descreve que a principal aplicação do solo-cimento tem sido na área de pavimentação, no entanto, também vem sendo empregado em valetas de drenagem, reservatório, fundações de edifícios, muros de arrimo, barragens de terra, revestimento de canas, diques e, por fim, em alvenarias de tijolos de blocos prensados para construção de casas.

De acordo com o Programa de Tecnologia de Habitação – HABITARE (2013), o início das construções de moradias no país por meio de alvenarias com blocos de solo-cimento ocorreu em 1948, na construção de casas do Vale Florido, na Fazenda Inglesa, cidade de Petrópolis, Rio de Janeiro.

Em 1978, ocorreu um grande passo no emprego do material no setor da construção civil no Brasil, tendo sido amplamente aplicado na construção de moradias populares. Este avanço foi possível graças aos estudos realizados pelo Instituto de Pesquisas Técnicas (IPT) e pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (CEPED), que comprovaram o bom resultado no desempenho do material, nos quesitos de qualidade e principalmente pela oportunidade de diminuição de custos, amparando assim a aprovação da técnica para este fim pelo extinto Banco Nacional da Habitação (FERRAZ, SEGANTINI, 2003).

### **2.2.1 Tijolo solo-cimento**

O bloco ou tijolo de solo-cimento, é segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP (1986), o produto endurecido resultante da mistura homogênea, compactada na umidade ótima, sob a máxima densidade e curada de solo, cimento e água em medidas definidas por meio de dosagem racional, executada de acordo com as normas aplicáveis ao solo em estudo, conceito este também encontrado nas normas que o rege, NBR 10833 (ABNT, 2012) e NBR 8491 (ABNT, 2012).

Durante o processo de concepção do produto, são utilizados solos arenosos, com teor de areia entre 45% e 50%, preferencialmente o saibro e a terra de barranco, que são facilmente encontrados e de baixíssimo custo. No entanto, quando não existe a disponibilidade de solo com as características indicadas, deve ser considerado como recurso, a mistura de dois ou mais solos, ou até mesmo a adição de areia, de maneira que o resultado favoreça os parâmetros técnicos e econômicos (SOUZA et al., 2008).

De acordo com a ABCP (1986), o bloco produzido a partir dessa mistura, adquire resistência e durabilidade através das reações de hidratação do cimento. Segundo a NBR 10833

(ABNT, 2012), o bloco de solo-cimento possui boa resistência a compressão, baixo índice de retração volumétrica, índices de impermeabilidades elevados e grande durabilidade. No entanto, existem alguns fatores que carecem maior cuidado, pois exercem grande influência nessas características, os quais pode se destacar: a natureza do solo, a dosagem do cimento, o grau de compactação e o teor de umidade.

De acordo com Motta et. al. (2014), os blocos ou tijolos de solo-cimento possuem algumas particularidades:

- As dimensões e os contornos são bem definidos, o que ajuda no cálculo da metragem necessária, além de ter faces extremamente lisas;
- Podem possuir orifícios que permitam a passagem da rede elétrica e hidráulica e o encaixe de colunas facilmente, sem danificar a estrutura e aparência;
- Conduzem o fluxo de ar da parte inferior à superior propiciando conforto térmico e acústico.

Com tudo, de acordo com Campos (2015), o tijolo solo-cimento, a frente de outras opções do mercado é um produto que traz a ideia de unir fatores importantes como, preço baixo, qualidade e soluções sustentáveis, proporcionando resultados favoráveis no setor construtivo e ambiental em decorrência de sua categorização ecológica.

Atualmente no Brasil a produção e utilização do tijolo ecológico está sob as diretrizes das seguintes normas: A fabricação é realizada de acordo com a norma ABNT NBR 10833 – Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com utilização de prensa hidráulica, o que garante um controle de qualidade integral do processo; ABNT NBR 10834 – Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural; ABNT NBR 10835 – Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Forma e dimensões; ABNT NBR 10836 – Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Determinação da resistência á compressão e da absorção de água.

Segundo Grande (2003), desde o ano 1977 muitos fabricantes elaboraram equipamentos de prensagem manuais e também hidráulicas para a fabricação de tijolos ou blocos de solo-cimento.

De acordo com Faria (1990), é de fundamental importância a função do equipamento utilizado para fabricação do bloco ou tijolo de solo-cimento, haja visto que o mesmo é responsável pelo condicionamento da taxa de compactação do material e suas características,



devendo a qualidade do produto final de solo-cimento a pressão do empacotamento dos grãos do solo depois de compactado.

O aprimoramento desses equipamentos tem contribuído de forma benéfica para o avanço do emprego da técnica, o que possibilita a elaboração de projetos com qualidade cada vez mais elevada, tanto em estética, quanto em resistência mecânica, possibilitando assim o uso do produto em construções de médio padrão (FERRAZ e SEGANTINI, 2003).

O bloco ou tijolo de solo-cimento é produzido através da inserção do solo-cimento dentro do recipiente da prensa e compactado por meio de força mecânica. Após a retirada da prensa, o tijolo já moldado é disposto em local apropriado para ser devidamente curado. Os tijolos devem ser então molhados durante 7 dias. O processo de cura é uma etapa crucial para se obter uma boa qualidade final do produto, tanto para fins de resistência mecânica quanto estéticos (LIMA, 2013).

### **2.2.2 Uso e viabilidade do tijolo solo-cimento na construção civil**

O solo-cimento pode ser empregado como um elemento de construção por meio de dois processos construtivos: produção de tijolos ou blocos prensados e por meio de paredes monolíticas. A opção pela técnica a ser empregada está sujeita a necessidade de cada obra. A sua principal utilização é como elemento de alvenaria, na construção de paredes, no entanto, existem diversas outras aplicações, como na construção de contra pisos, passeios e até mesmo fundações (LIMA, 2013).

Segundo Carneiro et al (2001), a durabilidade e o comportamento térmico das paredes construídas com esse tipo de tijolo são correspondentes as construídas com os tijolos ou blocos cerâmicos, podendo ainda ser considerados nos critérios de projeto utilizados nos materiais de alvenaria convencionais, assim como é preciso respeitar as indicações de preservação e manutenção do material.

Lima (2013) pontua ainda que o tijolo de solo-cimento, fabricado com sistemas automatizados ou manuais, gera um componente de viabilidade atestada em vários programas habitacionais, principalmente nos executados por meio de mutirões, o que certifica a efetiva transferência de tecnologia pela fácil assimilação dos operários com os equipamentos de simples manuseio e da mão-de-obra já familiarizada com o tradicional sistema construtivo de alvenaria.

Afirma Grande (2003) que doravante os anos 70, quando teve início a maior intensidade nas discussões pertinentes aos impactos ambientais gerados pelo setor da

construção civil, um grande número de órgãos pesquisadores, engenheiros de diversos ramos e arquitetos se mobilizaram na defesa da utilização do solo-cimento como alternativa ecológica e sustentável para habitações populares. O CRATerre, sediado em Grenoble, França, foi um dos órgãos de maior empenho nesta causa, enquanto no Brasil as entidades de maior expressão ligadas ao estudo e desenvolvimento dessa tecnologia são:

- Associação Brasileira de Materiais e Tecnologias não Convencionais (ABMTENC);
- Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Bahia (CEPED);
- Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP);
- Associação Brasileira dos Construtores em Terra (ABCTerra).

Mesmo diante dos inúmeros pontos positivos no emprego do solo-cimento, principalmente como material de alvenaria na construção de paredes, o interesse por esse material no Brasil foi caindo em desuso na medida que outros materiais, na grande parte dos casos industrializados, foram aparecendo no mercado. Assim sendo, sua aplicação hoje é de maior volume em obras de pavimentação, onde aproximadamente 90% das bases de nossas rodovias são de solo-cimento, barragens e contenções (GRANDE, 2003).

Além do solo-cimento, o mercado oferta opções de tijolos e blocos elaborados em diferentes dimensões e matérias-primas, como por exemplo o concreto e cerâmica, estes são divididos em duas categorias, de vedação ou estruturais, eles são, na maioria dos casos, responsáveis pela qualidade da construção e por expressiva parcela do orçamento da obra. Por esta razão, é necessário analisar o custo-benefício. É preciso considerar o custo, rendimento do material e sua durabilidade.

Para Lima (2013), a utilização dos blocos ou tijolos de concreto e cerâmica possuem valor final mais elevado, em grande proporção por consumirem materiais nobres e cada vez mais escassos, por carecerem o acabamento mais minucioso com a utilização de argamassa de assentamento e de revestimento, assim como dependerem de combustíveis fósseis para serem produzidos. No entanto, segundo Cordeiro et. Al. (2006), mesmo diante das inúmeras vantagens existentes no solo-cimento, competir com a indústria cerâmica, que tem uso tradicional e mercado já consolidado, é o grande desafio para o aumento do uso dos blocos e tijolos de solo-cimento no mercado brasileiro.

Dentre as inúmeras vantagens da utilização de tijolos ecológicos de solo-cimento destacam-se, a utilização de matéria prima natural de alta disponibilidade e de baixo custo, uma vez que o solo é o componente que entra em maior quantidade na mistura, e ainda, por ser empregado o solo do próprio local da construção da obra, gerando um baixo valor final do produto. Entretanto, Slack, Chambers e Johnston (2002) enfatizam que o baixo valor monetário do tijolo de solo-cimento não deve ser o principal propósito, mas sim a sustentabilidade que o mesmo é capaz de oferecer, visto que reduz a remoção de recursos não renováveis da natureza.

O tijolo de solo-cimento é tido ainda como uma interessante opção para o reaproveitamento de resíduos sólidos, devido a sua facilidade na incorporação desses materiais. No decorrer dos últimos anos, vários pesquisadores procuraram a incorporação de algum tipo de resíduo, como exemplo temos a adição de grits (PINHEIRO et al., 2013), o montículo do cupim *Cornitermes cumulans* (ALBUQUERQUE et al., 2008), incorporação de escória de ferroníquel, gerada em grandes volumes anuais no município de Barro Alto pela miradora Anglo American (Feitosa e Neves, 2017), dentre outros.

## 2.3 ESCÓRIA DE FERRONÍQUEL

### 2.3.1 Utilização de resíduos na construção civil.

De acordo com Dias (2000), o mundo tem sido atingido de forma bastante expressiva pelo descontrolado crescimento da população. Somado este fato aos também crescentes anseios e necessidades desta humanidade que tem consumido gradativamente cada vez mais recursos naturais, temos como resultado um impacto direto ao meio ambiente, que tem sofrido pressão de forma direta em decorrência da exploração excessiva das riquezas naturais, assim como indiretamente pela excessiva produção de resíduos, que excedem o poder de decomposição do meio ambiente.

Lima (2013), trata dos resíduos como um meio de condenação ou salvação para a humanidade, onde segundo o mesmo, estas sobras de materiais aparentemente sem aplicabilidade tendem a coibir num futuro próximo o homem moderno em seus processos de fabricação. No entanto, se bem trabalhados e aproveitados, estes resíduos podem ser convertidos em soluções sustentáveis para as operações.

Foi criado em 2001, como uma base sólida para o tratamento dos problemas com resíduos o Plano Nacional de Prevenção de Resíduos Industriais (PNAPRI), o qual abarca a gestão ambiental baseada nos parâmetros da sustentabilidade. É preciso considerar também a

definição presente na portaria Nº 15/96, que trata do reprocessamento dos resíduos. Sendo a eliminação a última solução da gestão ambiental das indústrias (BRAZ; MIGUEL, 2002).

Segundo Cordeiro (2004) a maior parcela dos resíduos gerados na sociedade, tem potencial para serem reaproveitados, podendo ser reutilizados como novos materiais com potencial para atender à gradativa necessidade por novas tecnologias alternativas no setor da construção civil, que é uma das áreas com maior assiduidade na busca por materiais ecológicos e sustentáveis que atendam as demandas de qualidade e economia.

John (2000) ressalta que a reciclagem de resíduos é também uma opção interessante para geração de renda e empregos, além de reduzir despesas para as indústrias e cidades. Este processo é crescente no Brasil em decorrência da legislação ambiental que tem ficado mais rigorosa e da crescente conscientização da sociedade consumidora.

A quantidade e variedade de resíduos produzidos pelo setor agrícola, industrial e mineraria são inúmeros, podendo muitos deles serem reaproveitados nas mais diversas finalidades do setor construtivo. O tijolo solo-cimento por exemplo é um produto que possui uma grande abertura a novos agregados como os resíduos, onde de acordo com Lima (2013), alguns dos resíduos que podem ser incorporados são: gesso químico; refugo de moagem de tijolos refratários e escória de alto-forno de aciaria envelhecida.

Pode também ser utilizado como resíduo incorporado ao solo-cimento às fibras de vinhaça e bagaço de cana-de-açúcar (FERREIRA, 2003).

Outra interessante alternativa para incorporação no tijolo de solo-cimento, foi encontrada por um estudo realizado pela pesquisadora Raquel Valério de Souza Florêncio, Instituto de Geociência – USP, onde foi identificado a capacidade de reutilização de resíduos alimentícios, como óleos, manteigas e margarinas como agregados para o tijolo. Esta solução é capaz de resolver problemas ambientais como o descarte destas substâncias em aterros, que tendem a produzir uma camada impermeável no solo, impedindo o ciclo natural das águas (TIJOLO, 2000).

Valenciano (1999) ainda relaciona para incorporação no solo-cimento a casca de arroz, pó de serra e partículas de coco.

### **2.3.2 Incorporação de escória de ferroníquel em tijolos solo-cimento**

Ao contrário das usuais escórias de aciaria e alto-forno, a escória de ferroníquel tem estudos e aplicações ainda modestas no reaproveitamento do resíduo na construção civil e outras áreas como a agrícola para uso em fertilizantes (FEITOSA E NEVES, 2017).

O resíduo de escória de ferroníquel provém da fusão do minério de níquel em um moderno forno elétrico, onde são submetidos a um processo de granulação os elementos não metálicos como  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  que são dispostos em contato direto com a água (Barro Alto Presentation, 2012).

Uma das técnicas mais usuais nas indústrias brasileiras para a geração deste tipo de escória é o método de granulação, esta tecnologia foi inicialmente utilizada ainda no ano de 1853 por Lange, na Alemanha. Este processo ocorre com a escória ainda em estado líquido, onde em queda livre é exposta a um jato de água fria com pressão pré-estabelecida de 0,6 MPa, o contato brusco da escória com a água proporciona um resfriamento simultâneo do resíduo e a sua formação como um material de granulação em formato angular, semelhante a areia de quartzo natural (John, 2000).

Para Feitosa e Neves (2017), este processo empregado na geração de escória de alto forno oriunda da produção de ferro gusa é similar ao processo utilizado na produção da escória de ferroníquel, objeto de pesquisa deste trabalho.

O ferroníquel, material qual se deriva a escória em questão é um metal ferromagnético, portador de grande dureza e aspecto estético de um branco brilhante, aspecto este que o proporciona ser transformado em inúmeros produtos presentes em nosso cotidiano, como por exemplo: talheres; ferramentas diversas; acabamentos de construção e etc. (FEITOSA E NEVES, 2017).

De acordo com Luz et al. (2010), as propriedades físico-químicas do níquel permitem que ele forneça características de grande relevância para ligas metálicas em diversas aplicações. Podendo ser citadas algumas mais importantes como a resistência a quente, em decorrência de seu alto ponto de fusão, alta resistência elétrica, proporcionando elevado aquecimento durante a condução elétrica, aumento na resistência à corrosão, em decorrência de sua grande tenacidade e dureza, assim como a diminuição das variações dimensionais, por conta de seu alto módulo de elasticidade de 204 GPa.

O níquel é um metal muito utilizado também sob sua forma pura para fazer a proteção de peças metálicas, por oferecer grande resistência à oxidação. Suas principais aplicações são em ligas ferrosas e não-ferrosas para consumo no setor industrial, em material militar, em moedas, em transporte/aeronaves, em aplicações voltadas para a construção civil e em diversos tipos de aços especiais, altamente resistentes à oxidação, como os aços inoxidáveis, bem como em ligas para o fabricação de ímãs (metal Alnico), em ligas elétricas, magnéticas e de expansão, ligas de alta permeabilidade, ligas de cobre-níquel, tipo níquel-45, e em outras ligas não-

ferrosas. A niquelagem de peças é feita por galvanoplastia, usando banhos de sais de níquel (LUZ et al., 2010).

Rosemberg (1968), ressalta que não é possível encontrar níquel nativo puro na natureza, sendo obtidos por tanto de minérios oxidados, que são utilizados como matéria prima para obtenção do ferroníquel, e dos sulfetados para fabricação do níquel metálico. No entanto, é importante destacar que isto é relativo a composição química do minério em particular. Em via de regra os minerais de níquel estão sempre associados a minerais silicatados secundários, onde o níquel tende a substituir o magnésio em alguns minerais primários como, olivina, hornblenda, biotita e hiperstênio.

Os depósitos de níquel ocorrem em duas origens, magmática ou residual. As jazidas magmáticas são conhecidas como sulfetadas e estão fortemente relacionadas a eventos tardi-magmáticos (MANO, 2002). Os maiores depósitos de origem magmática se encontram no Canadá e na Rússia, sendo que somado aos demais depósitos de menor volume, representam 20% das reservas de níquel mundiais e correspondem a 55% da produção do mesmo (Rosemberg, 1968).

Já as jazidas residuais, estão dispostas na região dos trópicos e possuem cerca de 80% das reservas e 45% de toda produção mundial. Estas são formadas por material fortemente modificado pelas intempéries. Possuem como fonte as rochas denominadas lateríticas (MANO, 2002).

As reservas de minério laterítico se dão em regiões superficiais, especificamente a saprolítica. Possuem teores médios de níquel de 1,95% e 24% de óxido de ferro, possuindo ainda cobalto e magnésio em sua composição. O Brasil está entre os três países que mais fazem uso dessas reservas, sendo superado apenas pela Nova Caledônia e Austrália (BNDES, 2000).

Feitosa e Neves (2017), descrevem o solo da região do município de Niquelândia – GO, como um solo laterítico, o qual possui elevado teor de óxido de ferro, sendo atualmente explorado pela mineradora Anglo American para produção da liga de ferroníquel.

Grande volume deste minério é utilizado anualmente no processo pirometalúrgico, contendo as etapas de Preparação do Minério (Britagem, Homogeneização e Secagem), Calcinação, Redução e Refino. Na etapa de Redução, obtém-se o ferroníquel que, posteriormente, é enviado ao Refino para retirada de impurezas, como o enxofre e o fósforo. Após esta etapa, a liga está adequada para a comercialização. A escória é gerada nas etapas de Redução e Refino, no entanto a escória avaliada neste estudo se destina a gerada no processo de Redução (Barro Alto Presentation, 2012).

Para Santos (2013), a utilização da escória de ferroníquel como agregado em potencial é fortemente influenciada por sua caracterização da composição química e mineralógica.

Por haver na composição mineral da escória de ferroníquel a presença de sílica, Feitosa e Neves (2017) ressaltaram sobre a importância da utilização de equipamentos de proteção individual (EPI), como por exemplo máscaras e luvas, no seu manuseio, para eliminação de riscos ocupacionais como inalação do pó e penetração de partículas nas mãos.

Nóbrega *et al.*, (2005) citaram alguns exemplos de contaminação por elementos pesados contidos em tipos de escória distintos. Sendo que em um caso específico em Santo Amaro da Purificação - BA, uma empresa fechou em 1993 por problemas de ordem econômica, ocupacional e ambiental. Outro exemplo, foi em Nova Jersey – EUA, entre 1992 e 1993, onde o Departamento de Serviços de Saúde de Nova Jersey (NJDHSS) e o Instituto de Ciência de Saúde Ocupacional e Ambiental (EOHSI) nortearão um estudo de avaliação à exposição de escória de cromo. O estudo foi realizado em pessoas aleatórias da Cidade de Hudson e de um grupo formado para comparação de outras cidades. O material de detecção utilizado na ocasião foram amostras de urinas, onde de 1712 pessoas pesquisadas da Cidade de Hudson, sendo 9,2% contendo nível de cromo na urina aferidos acima de 0,5 µg/litro.

Por outro lado, para Santos (2013) um aspecto importante que deve ser levado em consideração, é a presença de elementos químicos com potencial para causar a expansibilidade do agregado. A escória de ferroníquel, possui em sua composição química uma grande expressiva de óxido de magnésio (MgO) e em contrapartida apenas traços de óxido de cálcio (CaO). Para Emery (1978), Rubio e Carretero (1991), a presença do óxido de magnésio na escória pode levar anos para se hidratar, enquanto o óxido de cálcio livre, tende-se a hidratar rapidamente, o que poderá acarretar numa instabilidade volumétrica da escória.

Castelo Branco (2004) concluiu após 15 anos de estudo, a cinética da reação de hidratação do MgO é muito lenta. O grau de instabilidade destes compostos depende do tamanho dos cristais. Os cristais pequenos hidratam-se rapidamente, enquanto cristais grandes são formados por um processo de resfriamento lento.

Se resfriada bruscamente, de forma que não haja tempo hábil para que o arranjo cristalino ocorra, produz-se um material predominantemente vítreo. A escória vítrea apresenta nível de energia mais elevado do que o da cristalina, porque retém a energia de cristalização de aproximadamente 200 kJ/kg, sendo, portanto, termodinamicamente menos estável que as cristalinas (JOHN, 2000).

No caso da escória de ferroníquel estudada nesta pesquisa, sofre o mesmo processo de resfriamento, porém, de acordo com Santos (2013) possui uma estrutura cristalina confirmada pelo ensaio de difração de raio-X que confirmou a presença do mineral Faialita.

## 2.4 O SOLO

Segundo Grande (2003, p. 04), as rochas se dissolvem e formam os solos, através de ações físicas e químicas, geralmente quando em contato com algum líquido, formando um conjunto de partículas sólidas que se aglomeram. Configura-se assim que solo é “uma estrutura porosa, sendo que as partículas, de maneira geral, se encontram livres para se deslocarem” (GRANDE, 2003, p. 04 apud BLUCHER, 1951).

Os solos podem ter várias texturas. De acordo com Unterleitner (2011, p.12) “a textura do solo determina os fenômenos de superfície, os quais influenciam tanto as propriedades químicas como físicas do solo”. Solos arenosos mostram uma baixa variação de temperatura e pouca capacidade de troca de cátions, ou seja, seu processo de decomposição da matéria orgânica é mais rápido e com pouca capacidade de retenção de água, além de ser repleto de porosidade, com predomínio de macroporos. Já os solos argilosos mostram maior predisposição em relação à troca de cátions e à decomposição de matérias orgânicas, além de grande capacidade de retenção de água, uma porosidade total variável e predomínio de microporos.

Levando em ênfase a produção de tijolos solo-cimento, nota-se que, de acordo com os estudos supracitados, o solo arenoso é o mais indicado. Devido a pouca variação de calor e por ter macroporosidade, consegue se mesclar facilmente no cimento e a água pode ser bem distribuída por toda a massa fabricada. Sua consistência é granulosa, com alta permeabilidade. Por ser pouco úmido, o tijolo ecológico agradece, pois possibilita uma secagem mais rápida (GRANDE, 2003).

O levantamento das composições químicas dos solos neste processo é de grande importância, uma vez que podem ocorrer reações negativas na mistura com a pasta do cimento se eles não forem do tipo correto. Portanto, o solo deve ser isento de resíduos minerais e orgânicos, como pedras, galhos, madeiras, plásticos, etc., porque o alto teor de ácidos húmicos e açúcares ocasionam fissuras, esfacelamento e falta de resistência à água. A quantidade ideal é de sete a dez partes de solo para uma parte de cimento, podendo variar de acordo com a terra e com a quantidade de cinzas (KOLLING & outros, 2012).



Cabe ressaltar, que é necessária uma preparação do solo, que consiste em desagregar os aglomerados maiores e, em seguida, peneirá-lo, para obter um pó fino e seco. No caso de haver torrões, é interessante utilizar um triturador.

## 2.5 O CIMENTO

Segundo os romanos, o termo cimento, a princípio, designava uma mistura de cal com cinzas vulcânicas da região de Pozzuoli (Nápoles). Com o passar do tempo, este conceito evoluiu e pôde ser definido como o resultado da moagem de calcário e argila calcinados, gesso e outras substâncias em menor percentual. Além disso, o produto ficou conhecido como cimento Portland, pois tinha cores muito parecidas com as das rochas da ilha de Portland. (GOMES, 2010).

Vários pesquisadores se interessaram em pesquisar a influência do cimento na estabilização de solos. Por conta disso, a produção de tijolos ecológicos que utilizam esse método ficou mais conhecida e pôde ter sua eficiência comprovada com base em testes de resistência.

Quando se incorpora o cimento na fabricação de tijolos à base de solo, da maneira e quantidade corretas, o produto enriquece suas qualidades: se torna mais durável e menos permeável, fica imune à compressão, não ocorrem estragos caso tenham contato com a água e não variam significativamente de tamanho devido à perda ou ganho de umidade.

Segundo Grande (2003), no processo de hidratação do cimento — necessário para estabilização do solo utilizado na fabricação — ocorrem diversas reações químicas, que dependem do tamanho de suas partículas, temperatura, forma de misturar e quantidade de água. Cabe ressaltar as seguintes:

“C<sub>3</sub>A – reage nos primeiros minutos e ocasiona elevado calor de hidratação, propicia pouco desenvolvimento de resistência e forte retração;  
 C<sub>3</sub>S – responsável pelo desenvolvimento de resistência nas idades iniciais e propicia alto desprendimento de calor, libera cerca de 40% em massa de Hidróxido de cálcio (CH);  
 C<sub>2</sub>S – proporciona o desenvolvimento de resistência em idades mais avançadas com baixa liberação de calor, produz cerca de 18% em massa de CH;  
 C<sub>4</sub>AF – desenvolvimento lento e pequeno de resistência mecânica e boa resistência ao ataque por sulfatos.” (GRANDE, 2003, p. 14).

O aumento do cimento na mistura eleva a resistência mecânica, mesmo que não seja utilizado um tipo adequado de solo. Porém, para Grande (2003, p. 29 apud Ingles & Metcale,

1972), é preciso ter um controle dessa medida, pois o exagero pode deixá-lo muito seco no processo de cura, aumentando o risco de fissuras.

Na produção dos tijolos, não há um valor fixo da dosagem de cimento, pois a quantidade correta é encontrada por meio da análise comportamental do item em experimento. Para tal verificação, a *Portland Cement Association – PCA* (Associação de Cimento Portland) configurou uma norma geral, que pode ser aplicada a qualquer tipo de solo, com exceção daqueles compostos por matéria orgânica, como o húmus, por exemplo. O teste consiste em fabricar vários exemplares com diferença de teor de 2% entre eles. Em seguida, precisam ser submetidos ao ciclo de molhagem e cura doze vezes. Aqueles que resistirem sem fissuras e sem perda ou ganho volumétrico estarão aprovados. Logo, o lote a ser fabricado deverá seguir a mesma dosagem (GRANDE, 2003).

## 2.6 ANALISE ESTATISTICA

A análise estatística é um método que auxilia na verificação de hipóteses a partir de um conjunto de observações ou dados. Contudo, a análise desses dados ou observações dependem necessariamente do modo em que foram obtidos. (Banzatto e Kronka, 2006).

O que nos leva a utilizar esse instrumento, a análise estatística, para verificar as hipóteses levantadas, conforme Banzatto e Kronka (2006, p. 01), “é a presença, em todas as observações ou dados, de efeitos de fatores não controlados, que causam a variação.”

Foi desenvolvido em 1924 por Fisher, uma técnica estatística nominada análise de variância (ANOVA). Que conforme Banzatto e Kronka:

Esta técnica consiste na decomposição do número de graus de liberdade e da variância total de um material heterogêneo em partes atribuídas a causas conhecidas e independentes (fatores controlados), e a uma porção residual de origem desconhecida e de natureza aleatória (fatores não controlados). ((Banzatto e Kronka, 2006, p. 10).

Um outro ponto, igualmente importante e decorrente da análise de variância são os testes, que segundo Banzatto e Kronka (2006, p. 17) “são os processos que nos permitem decidir se aceitamos ou rejeitamos uma determinada hipótese estatística, ou se a amostra observada difere significativamente dos valores esperados.” Ou seja, o teste serve como um complemento para o estudo da análise de variância.

Existem diferentes tipos de testes, e cada um busca testar determinada hipótese a partir de determinado pressuposto. Podemos tomar como exemplo o teste de Tukey que é o teste mais

comumente utilizado para comparações das médias de um experimento. (Banzatto e Kronka, 2006).

O teste de Tukey serve para testar qualquer contraste entre duas médias de tratamentos. O número de contrastes que podem ser testados consiste no número de combinações das médias, duas a duas. Assim, num experimento com 5 tratamentos, podemos testar até 10 contrastes de duas médias de tratamentos. O teste é exato quando as duas médias do contraste têm mesmo número de repetições. Por ser um teste rigoroso, geralmente, o teste de Tukey é aplicado apenas no nível de 5% de probabilidade. (Banzatto e Kronka, 2006, pp. 26 e 27).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 MATERIAIS

Neste capítulo são abordados os materiais e os métodos utilizados na elaboração da incorporação do resíduo de escória de ferrossilício no tijolo solo-cimento.

##### 3.1.1. Solo

O solo utilizado foi coletado manualmente aos arredores da Lagoa Princesa do Vale, situada na cidade de Goianésia - GO (Figura 1), em um volume aproximado de 150 kg.



Fonte: AUTORES, 2019.

O material coletado trata-se de um solo constituído de 48,4% de areia, 33,9% de argila e 17,7% de silte, conforme análise textural realizada pelo laboratório Unisolo Análises Químicas, apresentado na Figura 2.

**Figura 2 - Laudo análise solo**

Identificação			Micronutrientes					Textura				
Lab.	Cliente	Prof.	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Argila	Silte	Areia	P rem	P res
			mg dm <sup>-3</sup>					g/kg			mg dm <sup>-3</sup>	
10841	AMOSTRA 02	0-20						339	177	484		

Método de extração

P, K: Mehlich 1

Cu, Fe, Mn e Zn: DTPA

Ca, Mg, Al: KCl 1M

S: Fosfato monobásico de Cálcio

Boro: Água quente

Simbologia:

CTC T: CTC a pH 7,0

CTC t: CTC efetiva

Programas de qualidade:

Instituto Agrônômico de Campinas - IAC

Embrapa - PAQLF

Programa interlaboratório de tecido vegetal - PIATV

Fonte: UNISOLO LABORATÓRIO ANALISES QUÍMICAS, 2019.

### 3.1.2 Cimento

Foi utilizado o cimento Portland CII-F-40 composto, da marca Goiás, adquirido na quantidade de um saco de 50 kg, conforme Figura 3.


**Figura 3 - Cimento CII-F-40**




Fonte: AUTORES, 2019.

Suas características físicas, químicas e mecânicas atendem os requisitos da NBR 11578 (ABNT, 1991), que trata das especificações do Cimento Portland Composto, conforme laudo emitido pelo fabricante InterCement, sendo suas propriedades satisfatórias para a confecção do solo-cimento.

**Figura 4** - Laudo Cimento CPII-F-40



CEZARINA  
CP II F 40 CIMENTO GOIAS SACO 50KG  
Julho 2019



	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	# 200 (%)	# 325 (%)	Início de Pega (min)	Fim de Pega (min)	03 Dias (MPa)	07 Dias (MPa)	28 Dias (MPa)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> Média (%)	Perda ao Fogo Média (%)	Resíduo Insolúvel (%)
Exigência	-	<= 10,0	-	>= 60	<= 600	>= 15	>= 25	-	-	<= 4,50	<= 12,50	<= 7,50
Média	4.176	0,2	1,5	137	154	36,5	42,6	-	1,1	2,7	5,5	1,6
Desvio Max.	95.80	0.00	0.39	8.33	10.54	0.97	2.41	-	0.00	0.10	0.35	1.42
Qtd Dados	9	9	9	9	9	8	5	0	9	9	9	3

Fonte: INTERCEMENT, 2019.

### 3.1.3 Água

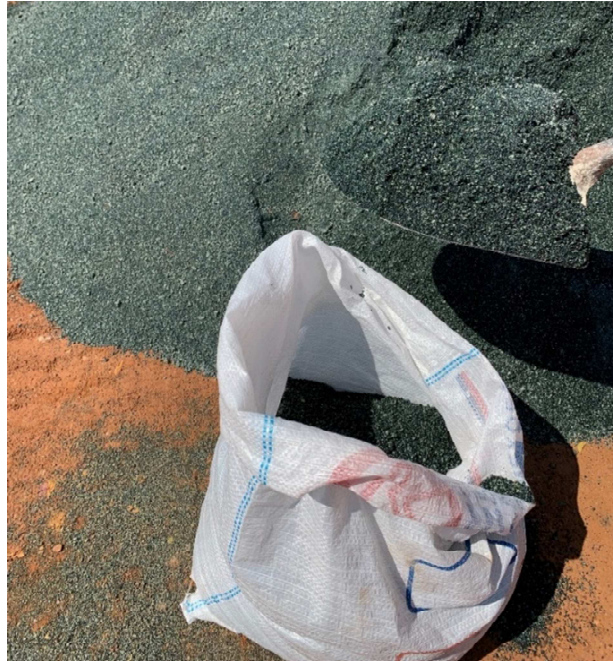
A água utilizada na elaboração dos corpos de prova foi coletada na rede pública de abastecimento da cidade de Goianésia – GO, fornecida pela companhia SANEAGO.

### 3.1.4 Escória de ferroníquel

Foi coletado 50 kg de escória de ferroníquel proveniente do processo de redução do estoque da unidade da Anglo American em Barro Alto – GO, demonstrado na Figura 5.

A escória de ferroníquel da redução possui características peculiares em relação a outras obtidas em processos distribuídos pelo mundo, sobretudo pelas características do minério. A escória da redução possui altos teores de sílica e magnésio, podendo ser considerada um material membro do grupo das olivinas que são constituídos por silicatos de magnésio e ferro. A olivina geralmente se apresenta com cor verde oliva, explicando o seu nome.

**Figura 5** - Escória de ferroníquel



Fonte: AUTORES, 2019.

No município de Barro Alto a escória não é separada em estoques por lote de produção, existindo uma pilha única, conforme ilustra na Figura 6, que concentra toda a escória gerada no seu processo produtivo. Caso essa escória fosse expansiva, essa situação não seria ideal para a cura da mesma, pois para que ocorra a hidratação de todo o material estocado, o ideal é ter formações de pilhas baixas e separadas em lotes conforme a data de sua geração.

**Figura 6** - Estoque de escória da Anglo American em Barro Alto



Fonte: AUTORES, 2019.

Segundo a empresa, as operações de redução e refino são responsáveis pela quase totalidade da produção de ferroníquel no país, aproximadamente 97,9% da produção nacional. A empresa configura como uma das maiores produtoras mundiais do metal.

A mineradora ainda ressalta que quando a Planta estiver em regime normal de operação serão geradas anualmente 1.800.000 toneladas de escória da redução que, originalmente, serão depositadas em barragens de rejeitos devidamente preparadas para estocar tal material. Trata-se de um volume grande que envolve dispêndios como custo de transporte, impermeabilização do terreno onde será destinada, entre outros.

Atualmente o principal consumidor da escória de ferroníquel são as indústrias cimenteiras, que tem um consumo do resíduo bastante reduzido devido à limitação do cimento em relação ao teor de magnésio em sua composição. Um levantamento realizado em 2010 apontou que são comercializados pouco mais de 12% de toda escória produzida.

A investigação da caracterização química da escória de ferroníquel estudada neste trabalho foi feita por BRANDT (1997), que realizou os ensaios de lixiviação e espectrograma qualitativo da escória. A partir destes ensaios foi possível apresentar na Tabela 1 os dados de caracterização química da amostra bruta com os respectivos teores encontrados, nos ensaios de lixiviação e solubilização.

**Tabela 1** - Caracterização da escória bruta ferroníquel de redução, lixiviação e solubilização.

Amostra Bruta Parâmetros	Lixiviação		Solubilização
	Teores (% e ppm)	Teores (mg/l)	Teores (mg/l)
Silício	43,60%	2,80	8,10
Magnésio	0,36%	4,60	4,58
Alumínio	3,90%	< 0,05	< 0,05
Ferro	14,90%	0,95	0,19
Dureza Total em CaCO <sub>3</sub>	1,49%	26,41	26,41
Dureza de Mg	1,49%	18,92	18,86
Cromo	1,30%	< 0,05	< 0,05
Níquel	0,14%	< 0,02	< 0,02
Titânio	0,15%	< 0,01	< 0,01
Manganês	0,34%	< 0,11	< 0,05
Nióbio	< 5,00 ppm	< 0,10	< 0,10
Cobre	106,00 ppm	< 0,02	< 0,02
Vanádio	184,00 ppm	< 0,01	< 0,01
Zircônio	27,00 ppm	< 0,01	< 0,01
Cobalto	66,00 ppm	< 0,10	< 0,10

Fonte: RELATÓRIO DE ENSAIO CEDIDO PELA EMPRESA ANGLO AMERICAN, 2019.

O Quadro 1 apresenta os valores de caracterização qualitativa da massa bruta de escória de ferroníquel de redução, onde indica a maior e menor concentração dos constituintes químicos presentes na amostra analisada e alguns traços da composição química mínima encontrada.

**Quadro 1** - Análise de espectrograma para a escória ferroníquel de redução

Maiores constituintes concentração: >5%	Silício, Magnésio, Ferro
Menores constituintes concentração: < 5% e > 0,1%	Alumínio, Cromo, Cálcio
Traços: Concentração: < 0,1%	Níquel, Titânio, Manganês, Nióbio, Cobre, Vanádio, Zircônio, Cobalto

Fonte: AUTORES, 2019.

Segundo a norma NBR 10004 (ABNT, 2004), Resíduos Sólidos – Classificação, os resíduos podem ser classificados em três classes: Resíduos classe I – perigosos; Resíduos classe II – não inertes; e Resíduos classe III – inertes.

Dentro deste contexto, a análise da escória de ferroníquel indicam em sua composição teores relevantes de metais tóxicos/perigosos, como o níquel, cromo, cobre e vanádio, cuja classificação deste resíduo é do tipo classe II – não inertes, pois nenhum dos constituintes apresenta concentração acima dos valores estabelecidos na NBR 10004 (ABNT, 2004). Pode-se considerar que os metais se encontram na forma não passível de lixiviação e solubilização (BRANDT, 1997).

### 3.2 PROCEDIMENTOS APLICADOS AO SOLO

O solo coletado foi primeiramente submetido ao ensaio de peneiramento de acordo com a ABNT NBR NM ISO 3310-1 (ABNT, 2010), onde 100% do solo passou pela peneira com abertura de malha 4,75 mm e 33% do solo passou na peneira com abertura de malha 75µm, atendendo assim aos parâmetros do item 4.1.1 da NBR 10833 (ABNT, 2012), Fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento.

Mediante o peneiramento, o solo foi minuciosamente verificado para a retirada de componentes orgânicos com potencial para prejudicar a hidratação do cimento e posteriormente acrescido de 20% de areia fina para efeito de acréscimo em sua resistência a compressão.



**Figura 7** - Solo pronto para uso



Fonte: AUTORES, 2019.

### 3.3. PROCEDIMENTOS APLICADOS ÀS MISTURAS

#### 3.3.1 Composição das misturas de solo-cimento-escória

Mediante o objetivo de encontrar o melhor equilíbrio entre economia e conformidade com as referidas normas NBR 8491 (ABNT, 2012) e NBR 8492 (ABNT, 2012), foi utilizada a composição dos tijolos ecológicos no traço 7:1, sendo este, 7 quantidades de solo para cada quantidade de cimento e/ou escória.

Para a parcela de cimento e/ou escória dos tratamentos, foram utilizadas as seguintes proporções:

- Tratamento 1: Escória 0%, Cimento 100%;
- Tratamento 2: Escória 25%, Cimento 75%;
- Tratamento 3: Escória 50%, Cimento 50%;
- Tratamento 4: Escória 75%, Cimento 25%;
- Tratamento 5: Escória 100%, Cimento 0%.

Para cada tratamento, foi confeccionado um total de 9 tijolos, obtendo um somatório de 45 unidades, sendo que, 6 destes foram destinados ao ensaio de compressão simples, com 14 e 28 dias, e outros 3 utilizados no ensaio de absorção de água aos 28 dias de cura.

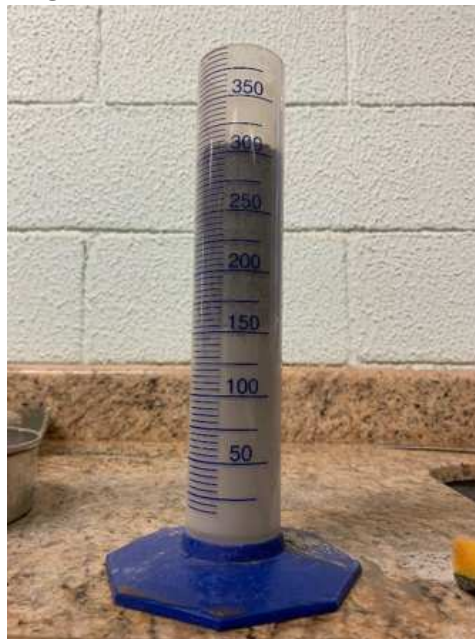
### 3.4 PROCEDIMENTOS APLICADOS AOS TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DE ESCÓRIA DE FERRONÍQUEL

#### 3.4.1 Confeção dos tijolos

Os tijolos com os diferentes percentuais de cimento e escória foram igualmente confeccionados de acordo com a norma NBR 8491 (ABNT, 2012), Tijolo maciço de solo-cimento e NBR 10833 (ABNT, 2012), fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento.

Com o solo devidamente preparado, foi realizado os traços a partir de recipientes mensuráveis, seguindo as proporções dos tratamentos pré-definidos, conforme a Figura 8.

**Figura 8** - Tratamento 3, cimento-escória



Fonte: AUTORES, 2019.

Mediante a mensuração dos volumes de cada componente, os mesmos foram dispostos numa forma retangular para realização do processo de homogeneização dos sólidos, portando cada forma o volume de material suficiente para produção de 2 tijolos (Figura 9).

**Figura 9 - Integração dos componentes**

Fonte: AUTORES, 2019.

O processo de homogeneização dos materiais foi realizado de maneira manual, por meio da mistura contínua dos componentes, até a obtenção da coloração uniforme, conforme item 5.1.2 da NBR 10833 (ABNT, 2012). Todo o contato com o material foi realizado mediante a proteção de luvas, devido ao risco físico de corte ou ferimento gerado pela sílica contida na escória, conforme Figura 10.

**Figura 10 - Mistura dos componentes**

Fonte: AUTORES, 2019.

Doravante a obtenção da mistura homogênea do solo-cimento-escória, foi realizado então a umidificação do material, mediante broxa, afim de atingir a umidade ideal para trabalho (Figura 11).

**Figura 11** - Umidificação dos componentes



Fonte: AUTORES, 2019.

### 3.4.2 Prensagem dos tijolos

A Prensa utilizada na fabricação dos tijolos, foi a prensa manual, modelo Hobby 2, a qual de acordo com os dados do fabricante, a mesma gera uma força de compressão de 2 tf (Figura 12).

**Figura 12** – Prensa utilizada



Fonte: AUTORES, 2019



Antes da realização das prensagens, foi realizado a aferição da prensa (Figura 12), para verificação da conformidade com a norma NBR 8491 (ABNT,2012), que determina as dimensões do tijolo solo-cimento, sendo que a mesma, se enquadra nos tijolos tipo II, com dimensões nominais de 23 cm de comprimento, 11 cm de largura e 5 cm de altura, tendo sua reentrância centralizada a 2,5 cm das extremidades do tijolo (Figura 13).

Conforme o disposto na norma NBR 10833 (ABNT, 2012), o material já misturado e devidamente umedecido foi colocado, com o auxílio de colher de pedreiro, no molde da prensa manual, sendo em seguida rasado para retirada do excesso, antes de ser prensado, conforme Figura 14.

**Figura 13** - Aferição das dimensões da prensa



Fonte: AUTORES, 2019.

Com o material devidamente colocado no recipiente da prensa, a mesma é então travada e através de um prolongador é aplicada a força para compressão do material.

**Figura 14** - Disposição do material no molde da prensa



Fonte: AUTORES, 2019.

Após a prensagem, os tijolos foram extraídos cuidadosamente da máquina, e dispostos numa plataforma de chapa de zinco plana, a qual foi etiquetada com as informações de data, hora, traço e tratamento da parcela cimento-escória do tijolo (Figura 15).

**Figura 15** - Tijolo ecológico solo-cimento-escória



Fonte: AUTORES, 2019.

### 3.4.3 Medição e pesagem dos tijolos

Depois da fabricação da série de 9 tijolos, de acordo com os tratamentos, cada tijolo foi pesado e medido para controle do peso e verificação das dimensões, conforme a norma brasileira NBR 8491 (ABNT, 2012), tijolo maciço de solo-cimento.

### 3.4.4 Cura dos tijolos

Os tijolos foram deixados a secar num ambiente fechado, protegido contra intempéries, onde estão sendo mantidos úmidos por meio de aspersão prolongada de água duas vezes ao dia, para garantia da cura necessária.

**Figura 16** - Aspersão dos tijolos



Fonte: AUTORES, 2019.

Após os 7 primeiros dias, foi interrompida a atividade de umedecimento dos tijolos e os mesmos foram dispostos em uma bancada, onde aguardaram o tempo hábil para os ensaios de compressão simples com 14 e 28 dias e ensaio de absorção de água aos 28 dias.

### 3.5 ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

Para elaboração dos corpos de prova, os tijolos foram divididos em duas partes com as mesmas dimensões e em seguida foram dispostos um sobre o outro, colados com argamassa. Os mesmos tiveram suas bases retificadas e niveladas assim como orienta a NBR 8492 (ABNT, 2012). Foram feitos uma quantidade de 6 corpos de prova para cada traço, sendo três para ensaio com 14 dias de idade e os outros três para os ensaios com 28 dias de idade.

**Figura 17** - Moldagem do corpo de prova e Etiquetagem do corpo de prova



Fonte: AUTORES, 2019.

No dia do ensaio, os corpos de provas ficaram imersos em água por um período de 6 horas, tempo mínimo estipulado pela norma supracitada no parágrafo acima. O ensaio de 14 dias foi realizado no Laboratório de Resistência dos Materiais da Unievangélica, em Anápolis, com a Prensa Contenco I-3058. Já o ensaio de 28 dias, foi realizado no Laboratório de Ensaio de Materiais do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da (UnB) Universidade de Brasília, em decorrência de problemas técnicos com o equipamento utilizado anteriormente, sendo utilizada então a prensa Denison T.I.A/MC 200tn (Figura 18).

**Figura 18** - Pressas Contenco I-3058 e Denison T.I.A/MC 200tn



Fonte: AUTORES, 2019.



### 3.6 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Ao completar 28 dias de idade, os tijolos foram submetidos a ensaio de absorção de água, considerando todos os requisitos descritos no item 3.3 da NBR 8492 (ABNT, 2012). Foram separados três tijolos para realização do ensaio, os mesmos ficaram por 24 horas dentro de uma estufa com temperatura de 105 °C, e logo após foram colocados dentro de um dessecador de vidro para voltar a temperatura ambiente sem ganhar umidade (Figura 19).

**Figura 19** - Estufa e dessecador de vidro



Fonte: AUTORES, 2019.

Após resfriamento dos tijolos, os mesmos foram pesados em uma balança de precisão, modelo BL3200H, para definição da massa seca do tijolo e logo em seguida foram imersos em um tanque de água, onde ficaram por 24 horas, até serem retirados para uma nova pesagem, descobrindo a massa saturada do tijolo.

Os valores individuais de Absorção de água foram dados pela Equação 1:

$$A = \left[ \frac{M2 - M1}{M1} \right] * 100 \quad (1)$$

A= Absorção de água (%)

M1= Massa Seca do Tijolo (g)

M2 – Massa Saturada (g)

Logo foi feita uma média aritmética dos resultados dos 3 corpos de prova de cada traço.

**Figura 20** - Pesagem do tijolo seco e saturado



Fonte: AUTORES, 2019.

### 3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os tratamentos foram dispostos em um arranjo fatorial 2x5, sendo dois intervalos de tempo para análise (14 dias e 28 dias após a moldagem dos corpos de prova) e cinco doses de escória (0, 25, 50, 75 e 100%) em substituição do cimento na fabricação dos tijolos solo-cimento, totalizando 10 tratamentos com três repetições.

Os dados foram submetidos à análise de variância, comparativo de média pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e à análise de regressão quando significativo, utilizando o *software* SISVAR 5.6, para a variável resistência à compressão, em desdobramento da soma dos quadrados da interação (tempo x doses de escória), para verificação de significância (FERREIRA, 2014).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES

A resistência à compressão do tijolo solo-cimento é uma das suas mais relevantes propriedades, pois está diretamente relacionada com o desempenho do produto como componente de alvenaria.

Os resultados apresentados nos Quadros 2 e 3 se referem aos ensaios de resistência a compressão realizados aos 14 e 28 dias de idade, em conformidade com a norma NBR 8492 (ABNT, 2012), que trata dos métodos de ensaio.

**Quadro 2** - Resistência a compressão simples para idade de 14 dias.

Idade	Identificação	Tratamento	Tensão de Ruptura (MPa)	Tensão Média (MPa)	Carga de Ruptura (kgf)	Área (mm <sup>2</sup> )
14 dias	Tratamento 1	0% Escória	2,4	2,10	2.910	12100
			1,5		1.790	12100
			2,4		2.930	12100
	Tratamento 2	25% Escória	2,0	2,13	2.520	12100
			1,8		2.160	12100
			2,6		3.180	12100
	Tratamento 3	50% Escória	2,5	2,00	3.040	12100
			2,0		2.430	12100
			1,5		1.870	12100
	Tratamento 4	75% Escória	1,2	1,43	1.510	12100
			1,7		2.060	12100
			1,4		1.720	12100
	Tratamento 5	100% Escória	1,6	1,23	1.820	12100
			1,0		1.070	12100
			1,1		1.300	12100

Fonte: AUTORES, 2019.

De acordo com as prescrições da NBR 8491 (ABNT, 2012), os corpos de prova ensaiados devem resistir a uma compressão média de 2,0 MPa, e uma compressão individual de 1,7 MPa, devendo as amostras possuírem idades superiores a 7 dias.

Conforme o Quadro 2, os tijolos submetidos ao ensaio já nos primeiros 14 dias de idade, atingiram resultados favoráveis a norma, no que diz respeito a resistência a compressão média para 3 dos 5 tratamentos elaborados, sendo estes o tratamento 1 com 0% escória, tratamentos 2 e 3 com incorporação de 25% e 50% de escória de ferroníquel, respectivamente.

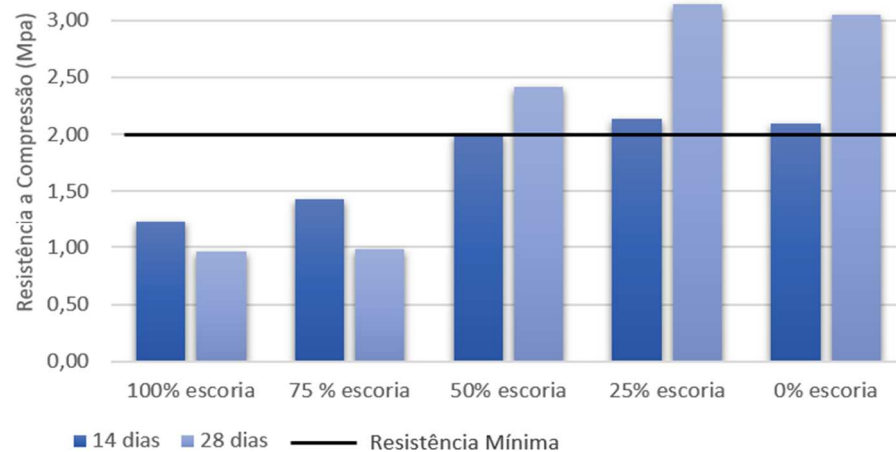
No entanto, dentre os 3 tratamentos supracitados, duas amostras individuais de tratamentos distintos, não atingiram a resistência mínima individual de 1,7 Mpa.

**Quadro 3** - Resistência a compressão simples para idade de 28 dias.

Idade	Identificação	Tratamento	Tensão de Ruptura (MPa)	Tensão Média (MPa)	Carga de Ruptura (kgf)	Área (mm <sup>2</sup> )
28 dias	Tratamento 1	0% Escória	3,40	3,056	4.190	12100
			3,18		3.920	12100
			2,59		3.190	12100
	Tratamento 2	25% Escória	2,83	3,150	3.490	12100
			2,90		3.580	12100
			3,72		4.590	12100
	Tratamento 3	50% Escória	2,37	2,423	2.920	12100
			2,63		3.250	12100
			2,27		2.800	12100
	Tratamento 4	75% Escória	0,89	0,980	1.100	12100
			1,02		1.260	12100
			1,03		1.270	12100
	Tratamento 5	100% Escória	0,85	0,963	1.050	12100
			0,95		1.170	12100
			1,09		1.340	12100

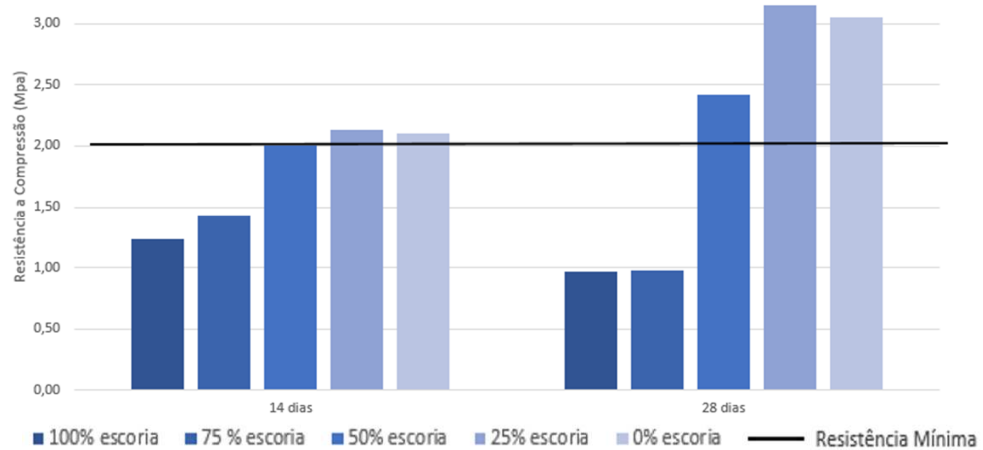
Fonte: AUTORES, 2019.

Para os ensaios realizados na idade de 28 dias, conforme expresso na tabela 3, os resultados atenderam ao esperado, alcançando conformidade com a norma para os mesmos tratamentos, com 0%, 25% e 50% de escória. No entanto, foi possível observar que com o aumento da idade, os tratamentos obtiveram diferentes comportamentos. Enquanto os tijolos com 0%, 25% e 50% de escória tiveram um acréscimo médio de 46% em sua resistência a compressão, os tratamentos 4 e 5, com 75% e 100% de escória, na relação cimento-escória, declinaram em 24% sua resistência média a compressão, conforme é possível visualizar no gráfico apresentado na Figura 21.

**Figura 21** - Resistência a compressão simples para idades de 14 e 28 dias em relação ao tempo

Fonte: AUTORES, 2019.

Com tudo, é possível observar no gráfico na figura 22, que independentemente da idade, o tratamento com 25% de escória e 75% de cimento, obteve o melhor desempenho no que diz respeito a resistência mecânica a compressão, sendo superior neste quesito ao tijolo solo-cimento tradicionalmente utilizado pelo mercado.

**Figura 22** - Médias de resistência a compressão simples para idades de 14 e 28 dias em relação ao tratamento

Fonte: AUTORES, 2019.

## 4.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA

O Quadro 4 apresenta os resultados aferidos no ensaio de absorção, realizado aos 28 dias de idade dos tijolos, seguindo as diretrizes da norma NBR 8492 (ABNT, 2012).

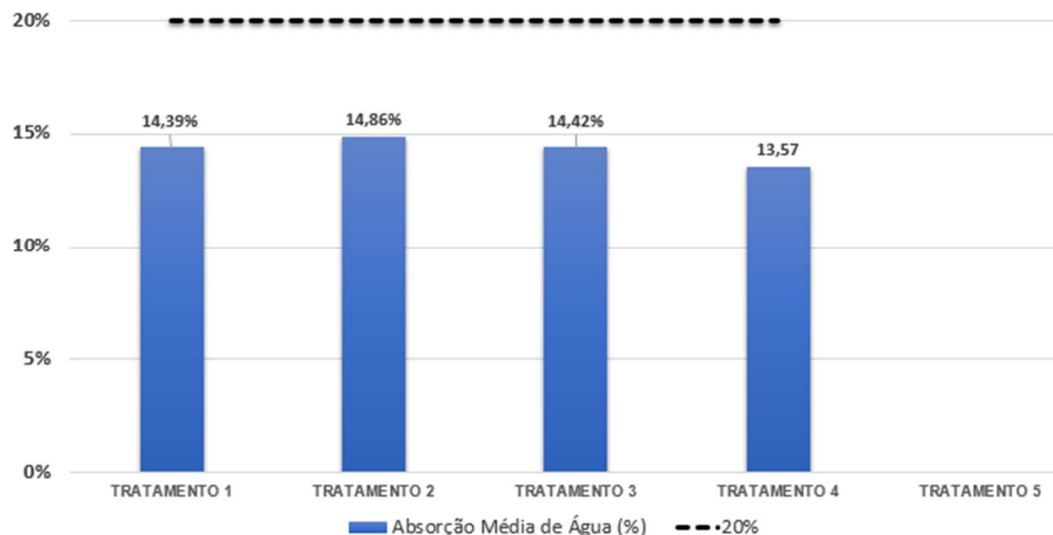
**Quadro 4** - Absorção de água dos tijolos aos 28 dias de idade.

Idade	Identificação	Tratamento	Massa do Tijolo Seco (gr)	Massa saturada (gr)	Absorção de Água (%)	Absorção Média de Água (%)
28 dias	Tratamento 1	0% Escória	1790,87	2097,46	14,62	14,39
			1856,08	2161,63	14,14	
			1840,96	2151,47	14,43	
	Tratamento 2	25% Escória	1632,78	1935,85	15,66	14,86
			1743,27	2040,21	14,55	
			1799,51	2101,45	14,37	
	Tratamento 3	50% Escória	2135,51	2500,22	14,59	14,42
			2225,74	2598,40	14,34	
			2189,12	2554,90	14,32	
	Tratamento 4	75% Escória	1958,89	2270,70	13,73	13,57
			2025,40	2339,23	13,42	
			2003,35	2317,77	13,57	
	Tratamento 5	100% Escória	1885,13	-	-	-
			1777,29	-	-	
			1998,43	-	-	

Fonte: AUTORES, 2019.

De acordo com a especificação da norma NBR 8491 (ABNT, 2012), as amostras ensaiadas não podem apresentar a média dos valores de absorção de água maior do que 20%, nem valores individuais superiores a 22%, portanto, os tratamentos 1, 2, 3 e 4 se enquadram na média, assim como individualmente nos parâmetros da referida norma.

Para o tratamento 5, com substituição total de cimento por escória, não foi possível aplicar o ensaio de absorção de água para os respectivos corpos-de-prova, pois os mesmos se desmancharam tão logo foram imersos em água.

**Figura 23** - Capacidade de absorção dos tratamentos

Fonte: AUTORES, 2019.

Como se pode verificar na Figura 23, o tratamento 2, com 25% de substituição do cimento pela escória, teve o maior nível de absorção média, enquanto o tratamento 4, obteve o melhor resultado, com apenas 13,57% de absorção média. No entanto, são ambos estatisticamente iguais.

#### 4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados apresentados atenderam aos pressupostos básicos de homogeneidade e normalidade, portanto não foi necessária transformação dos dados, considerando variável resistência à compressão dos tijolos.

Foi realizado uma análise de variância (ANOVA) para o arranjo fatorial proposto. Como o resultado do P-value<sup>7</sup> foi inferior a 0,05 (5% de probabilidade), rejeita-se H<sub>0</sub> (Hipótese nula), resultando em diferença estatística significativa entre os tratamentos analisados, tanto no fator escória, tempo e na interação escória x tempo, conforme apresentado na Tabela 2.

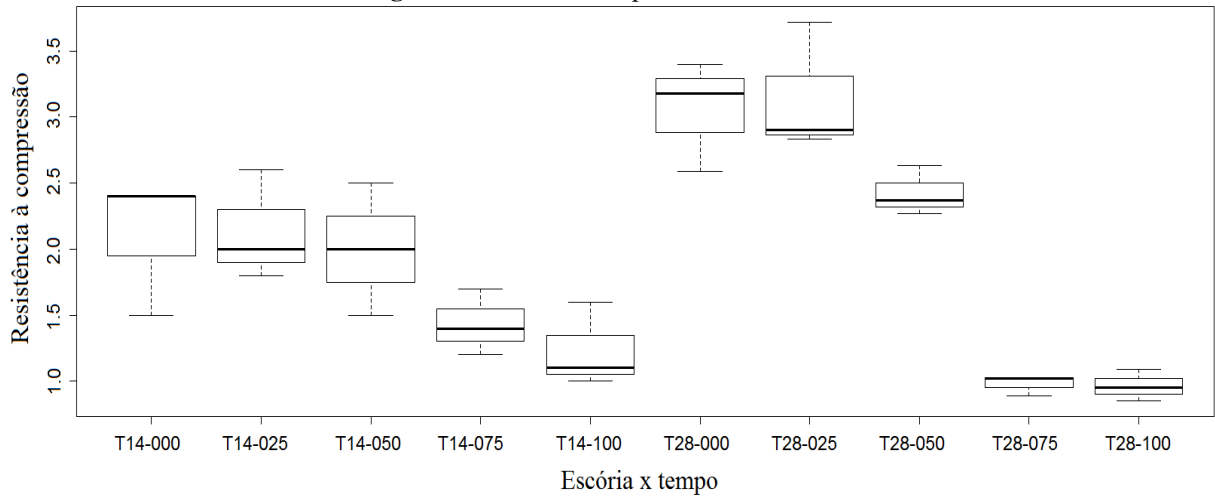
**Tabela 2** - Análise de Variância para esquema fatorial 2x5.

Tabela de Análise de Variância						
FV	GL (Grau de liberdade)	SQ (Soma dos quadrados)	QM (Quadrado Médio)	F (Teste F)	P-Value	
Escória	4	13.3171	3.3293	24.929	0.0000	
Tempo	1	0.8400	0.8400	6.290	0.0209	
Escória * tempo	4	2.7697	0.6924	5.185	0.0050	
Desvio	20	2.6710	0.1336			
Total	29	19.5978				
CV (%) =	18.77					
Média geral:	1.9473	Número de observações		30		

Fonte: AUTORES, 2019.

Para representar as alterações existentes entre os tratamentos, foi utilizado um boxplot, conforme Figura 24, com o objetivo de verificar a distribuição dos dados, sendo possível ter uma verificação visual acerca da amplitude e dispersão de cada tratamento, bem como mediana, quartil, entre outras informações estatísticas importantes para tomada de decisão.

<sup>7</sup> Em português Valor-p, “é definido como a probabilidade de se observar um valor da estatística de teste maior ou igual ao encontrado”. (FERREIRA; PATINO, 2015, p. 485).

**Figura 24** - Gráfico Boxplot dos tratamentos

Como um dos objetivos do trabalho é a obtenção de resistência a compressão entre os tratamentos desenvolvidos, o resultado que exemplifica esse objetivo é os dados obtidos aos 28 dias após fabricação dos tijolos, logo será apresentado os resultados referentes a esse tempo em específico.

#### 4.3.1 Análise do desdobramento da escória dentro do tempo de 28 dias

Analisando os resultados obtidos aos 28 dias, e considerando a existência de mais de dois tratamentos, a necessidade de aplicação de um teste comparativo de média se faz presente, sendo escolhido para tal, o teste de Tukey.

**Tabela 3** - Resumo do Teste Tukey a 5% de probabilidade para resistência, no desdobramento aos 28 dias.

Tratamentos (Doses)	Resistência à Compressão
25% ESCÓRIA	3.150 a
0% ESCÓRIA	3.057 a
50% ESCÓRIA	2.423 a
75% ESCÓRIA	0.980 b
100% ESCÓRIA	0.963 b

Resultado seguido de mesma letra não apresenta diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade  
Fonte: AUTORES, 2019.

Considerando o desdobramento do tratamento "doses de escória" dentro do tempo de 28 dias, os melhores resultados quanto a resistência foram as doses de 0, 25 e 50%, não havendo diferença estatística significativa a 5% probabilidade entre os tratamentos mencionados acima.



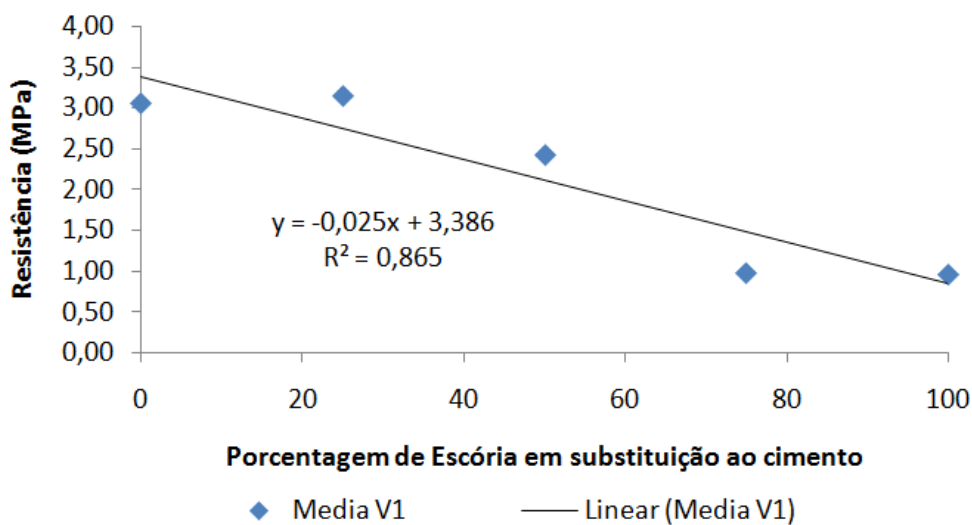
Para analisarmos o impacto dos resultados por uma classificação matemática, foi desenvolvido uma análise de regressão. Dentre os tipos de regressão analisados, estão: linear, quadrática e cúbica, sendo que foi obtido um resultado significativo para a regressão linear (P-Value menor que 0,05). A tabela 4 exemplifica os resultados, e a Figura 25 demonstra a regressão linear obtida das resistências à 28 dias.

**Tabela 4** - Análise de regressão para variável resistência no desdobramento de escória para 28 dias.

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	P-Value	R <sup>2</sup>
linear	1	12.122	12.122	90.769	0.000	86,6
quadrática	1	0.188	0.188	1.408	0.249	91,0
cúbica	1	1.514	1.514	11.338	0.003	98.7
desvio de regressão	1	0.178	0.178	1.335	0.261	
resíduo	20	2.671	0.134			
Total	29	19.598				

Fonte: AUTORES, 2019.

**Figura 25** - Resistência à compressão aos 28 dias - Regressão linear



Fonte: AUTORES, 2019.

#### 4.4 VIABILIDADE ECONÔMICA

O Quadro 5 apresenta os valores monetários correspondentes aos componentes utilizados na elaboração do tijolo, objeto deste trabalho.

**Quadro 5** - Valores Individuais dos componentes.

Custo da Terra (m <sup>3</sup> )	Custo do Cimento (kg)	Custo da Escória (kg)	Encargos	Lucro
R\$ 9,231	R\$ 0,390	R\$ 0,0255	30%	40%

Fonte: AUTORES, 2019.

O Quadro 6, com base nos valores anteriormente informados de cada material, determina o quantitativo de cada componente, gerando o custo final da fabricação de cada tijolo a nível comercial e simula a partir de uma margem de lucro para o fabricante de 40%, um sugerido valor de comercialização dos tijolos referentes à cada um dos tratamentos que obtiveram resultados mecânicos satisfatórios, para serem inseridos no mercado da construção civil.

**Quadro 6** - Custos e valores finais em relação aos tratamentos comercializáveis

Identif.	Tratamento	Solo (m <sup>3</sup> )	Cimento (kg)	Escória (kg)	Encargo (%)	Lucro (%)	Custo final (R\$)	Valor final (R\$)
<b>Trat.1</b>	0% Escória	0,0011052	0,1500	0	30%	40%	0,0893	0,1250
<b>Trat.2</b>	25% Escória	0,0011052	0,1125	0,0375	30%	40%	0,0715	0,1002
<b>Trat.3</b>	50% Escória	0,0011052	0,0750	0,0750	30%	40%	0,0538	0,0753

Fonte: AUTORES, 2019.

É possível analisar no Quadro 7, o comparativo de preço por m<sup>2</sup> de alvenaria com o tijolo baiano tradicionalmente utilizado produzido na região, e do tijolo ecológico com substituição de 0%, 25% e 50% de cimento pela escória, ambos sem considerar acabamento.

**Quadro 7 - Valor da alvenaria por metro quadrado**

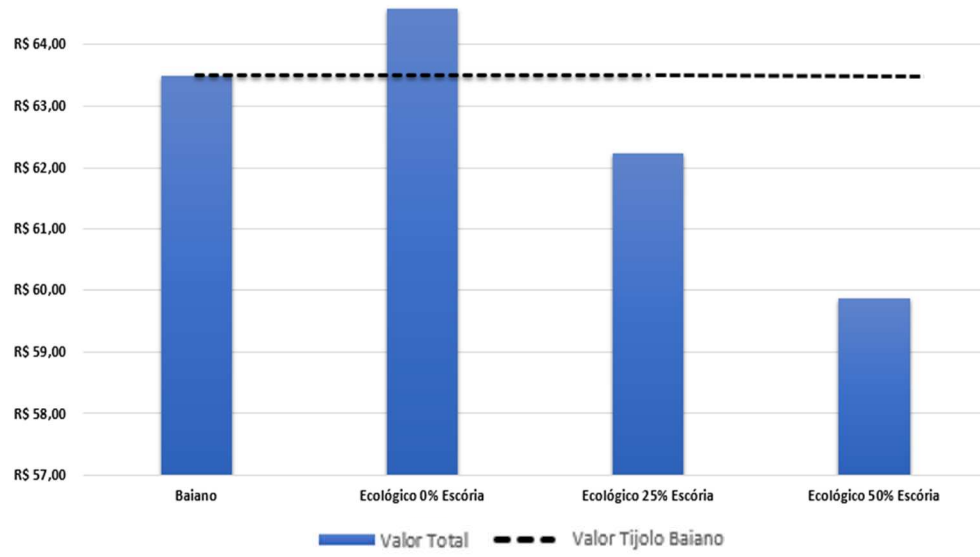
Tijolo Baiano						
Item	Tijolos (m <sup>2</sup> )	Argamassa (m <sup>3</sup> )	Mão de Obra (m <sup>2</sup> )	BDI	Perca	Valor Total
Quantidade	25	0,0162	1	27%	10%	R\$ 63,49
Valor	R\$ 12,00	R\$ 3,45	R\$ 30,00			
Tijolo Ecológico 0% Escória						
Item	Tijolos (m <sup>2</sup> )	Argamassa (m <sup>3</sup> )	Mão de Obra (m <sup>2</sup> )	BDI	Perca	Valor Total
Quantidade	68	0,0363	1	27%	10%	R\$ 64,58
Valor	R\$ 8,500	R\$ 7,73	R\$ 30,00			
Tijolo Ecológico 25% Escória						
Item	Tijolos (m <sup>2</sup> )	Argamassa (m <sup>3</sup> )	Mão de Obra (m <sup>2</sup> )	BDI	Perca	Valor Total
Quantidade	68	0,0363	1	27%	10%	R\$ 62,23
Valor	R\$ 6,814	R\$ 7,73	R\$ 30,00			
Tijolo Ecológico 50% Escória						
Item	Tijolos (m <sup>2</sup> )	Argamassa (m <sup>3</sup> )	Mão de Obra (m <sup>2</sup> )	BDI	Perca	Valor Total
Quantidade	68	0,0363	1	27%	10%	R\$ 59,86
Valor	R\$ 5,120	R\$ 7,73	R\$ 30,00			

Fonte: AUTORES, 2019.

Os resultados apresentados na tabela 10 seguiram as seguintes observações:

- Para a análise em questão foi considerado um traço 1:4 para argamassa de assentamento;
- O valor da mão de obra foi estipulado por uma tomada de preço de profissionais locais;
- O tijolo solo cimento dispensa emboço e reboco, devido seu acabamento, sendo utilizada na maioria das vezes como tijolo aparente o que potencializa ainda mais o seu caráter econômico frente ao tijolo baiano.

Por fim, conforme expresso no gráfico da Figura 26, a alvenaria constituída pelo tijolo ecológico tradicional limitado a relação solo-cimento, ultrapassa o valor de mercado do tijolo baiano, seu principal concorrente de mercado, no entanto, o cenário para os tijolos com a incorporação de escória de ferroníquel é bastante diferente, atingindo uma redução de valor por m<sup>2</sup> de aproximadamente 6%, para os tijolos com 50% de escória, na relação cimento-resíduo.

**Figura 26** - Valor da alvenaria por metro quadrado sem acabamento

Fonte: AUTORES, 2019.

## 5 CONCLUSÃO

Diante dos resultados apresentados neste trabalho, constata-se que a incorporação da escória de ferroníquel ao composto solo-cimento nos oferece resultados relevantes por meio da fabricação de tijolos ecológicos, obtendo através do produto final, soluções e aprimoramentos no que diz respeito aos âmbitos sustentável, mecânico, econômico, ambiental e social.

Por meio do aproveitamento dos resíduos gerados em expressivo volume no processo de mineração de ferroníquel pela mineradora Anglo American nas cidades de Barro Alto-GO e Niquelândia-GO, é possível promover o caráter sustentável da engenharia civil em nossa região e demais localidades, através da implantação do tijolo objeto de pesquisa deste trabalho no mercado da construção civil.

De acordo com os ensaios de compressão simples e absorção de água realizados nas amostras, o desempenho mecânico dos tijolos com substituição parcial de cimento pela escória em até 50%, atendem as especificações das normas vigentes para serem comercializados. Sendo que, através da substituição de até 25% de cimento por escória, obteve-se um aprimoramento mecânico em relação ao tijolo solo-cimento tradicional, melhorando sua resistência a compressão. O índice de absorção de água também foi satisfatório para os tijolos com substituição de até 75% de cimento pela escória, ficando como exceção a norma apenas o tratamento 5, constituído apenas por solo e escória.

Por meio da análise estatística realizada através do teste de Tukey, constatou-se que os tratamentos 1, 2 e 3 são estatisticamente iguais, com probabilidade de 5%, reforçando a similaridade das características mecânicas entre o tijolo solo-cimento já conhecido e o tijolo com incorporação de escória.

Somando a estes fatores, foi possível alcançar através da incorporação da escória, considerável redução nos custos desse produto, reduzindo aproximadamente 8% no valor final da alvenaria por metro quadrado em relação ao tijolo solo-cimento sem a incorporação de escória, superando neste quesito até mesmo o tijolo cerâmico que é amplamente disseminado no mercado em decorrência de seu baixo preço. Enquadrando assim seu principal concorrente como um material arcaico, haja visto que além de possuir valor final mais elevado, ao contrário do tijolo solo-cimento, o mesmo é um forte agressor ao meio ambiente em decorrência do desmatamento gerado para seu cozimento e por ser classificado como um dos materiais que mais contribuem com emissões de gás CO<sub>2</sub> na atmosfera.

Por tanto, o tijolo solo-cimento com incorporação de escória de ferroníquel tem potencial para ser inserido no mercado da construção civil como componente de alvenaria,

produzindo ganhos nas mais diversas esferas e contribuindo com o desenvolvimento social e econômico das comunidades circunvizinhas a este processo de mineração, assim como nas demais regiões, através da produção, comercialização e aplicação deste material, tornando as moradias mais economicamente acessíveis, ecológicas e sustentáveis.

Com tudo, o presente trabalho pode ainda ser utilizado como referência para a continuidade dos estudos no que tange a integração da escória de ferroníquel no composto solo-cimento, buscando novas finalidades como, fabricação de blocos vazados de solo-cimento, bases de solo-cimento para pavimentação, barragens e contenções.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1991). NBR 11578. **Cimento Portland composto - Especificação.**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004). NBR 10004. **Resíduos Sólidos - Classificação.**

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). NBR NM ISO 3310-1. **Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação.**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012).NBR 10833: **Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento.**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012). NBR 8491. **Tijolo de solo-cimento — Requisitos.**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012). NBR 8492. **Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio.**

ALBUQUERQUE, L. Q. C. et al. Resistência a compressão de tijolos de solo-cimento fabricados com o montículo do cupim *Cornitermes cumulans* (Kollar, 1832). *Ciência e Agrotecnologia*. Lavras, v.32, n. 2, p. 553-560, mar/abr. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cagro/v32n2/32.pdf>> Acesso em 29 de mai. 2019.

ARAÚJO, Márcio Augusto. A moderna construção sustentável 2011. Disponível em: <<https://www.voltimum.com.br/biblioteca/moderna-construcaosustentavel?flippage=2>> Acesso em 19/10/19, às 13h53min.

Anglo American Barro Alto. *Barro Alto Presentation*. 2012. Material disponibilizado pela empresa.

BANZATTO, David A.; KRONKA, Sérgio do N. **Experimentação Agrícola**. 4.ed. Jaboticabal: Funep, 2006. 237 p.

BNDES. *Níquel – Novos Parâmetros de Desenvolvimento*. BNDES, Brasília, 2000. Arquivo recuperado da internet em 06/05/2007 no endereço Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/conhecimento/relato/niquel.pdf>> Acesso em 05 de jun. 2019.

BRANDT MEIO AMBIENTE. **Relatório de Caracterização da Escória Granulada de Redução**. Belo Horizonte/MG - Brasil, jan 1997.

BRAZ, D. A.; MIGUEL, M. P. M. *Aspectos ambientais relacionados com materiais electrotécnicos*. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto (FEUP), 2002. Disponível em: <<http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/vertices/article/download/18092667.20060003/50>> Acesso em 30 de mai. 2019.

CAMPOS, Iberê M. *Tipos de tijolo para alvenaria*. 2015. Disponível em: <[www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=7&Cod=93](http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=7&Cod=93)>. Acesso em 20 de mai. 2019.

CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S; CASSA, J. C. S. *Reciclagem de Entulho para a Produção de Materiais de Construção*. Salvador – Ba: EDUFBA, Caixa Econômica Federal, 2001. Disponível em: <<http://www.edufba.ufba.br/2011/12/reciclagem-de-entulho-para-a-producao-de-materiais-de-construcao/>> Acesso em 26 de mai. 2019.

CASTELO BRANCO, V. T. F. *Caracterização de Misturas Asfálticas com o Uso de Escória de Aciaria como Agregado*. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2004. Disponível em: <[http://wwwp.coc.ufrj.br/teses/mestrado/geotecnia/2004/Teses/BRANCO\\_VTFC\\_04\\_t\\_M\\_geo.pdf](http://wwwp.coc.ufrj.br/teses/mestrado/geotecnia/2004/Teses/BRANCO_VTFC_04_t_M_geo.pdf)> Acesso em 05 de jun. 2019.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E O DESENVOLVIMENTO. *Nosso futuro comum*. 2ª edição, Rio de Janeiro - RJ, Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991, p.1-430. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/12906958/Relatorio-Brundtland-Nosso-Futuro-Comum-Em-Portugues#scribd>>. Acesso em 28/10/15, às 13h16min.



CORDEIRO, M. E. V. M. *O sonho da casa própria na terra prometida: políticas habitacionais em Campos dos Goytacazes*. (1989-2004). Tese de Mestrado em Planejamento Regional e Gestão de Cidades, Universidade Candido Mendes, Campos dos Goytacazes, 2004. Disponível em: <<http://intertemas.toledoprudente.edu.br/index.php/ETIC/article/view/7253>> Acesso em 30 de mai. 2019.

CORDEIRO, M. E. V. M.; CONCEIÇÃO, P. M. da; LIMA, T. V. *A Educação Ambiental e o Uso do Solo-cimento*. *Vértices*, v.8, n.1/3. p.35-54. Campos dos Goyatacazes - RJ: Editora Essencia, 2006. Disponível em: <<http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/vertices/article/download/18092667.20060003/50>>. Acesso em 28 de mai. 2019.

DIAS, G. F. Subsídios para a prática da Educação Ambiental. *Educação Ambiental: princípios e práticas*. 6. ed. São Paulo: Gaia, 2000, p. 209-242. Disponível em: <<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=64706&indexSearch=ID>>. Acesso em 30 de mai. 2019.

**Dosagem das Misturas de Solo-Cimento: Normas de Dosagem e Métodos de Ensaio.** Estudo Técnico 35. 54p. São Paulo - SP: ABCP, 1986.

FARIA, J. R. G. *Unidade de Produção de Tijolos de Solo Estabilizado*. Dissertação de Mestrado. São Carlos – SP: Escola de Engenharia de São Carlos - EESC, Universidade de São Paulo - USP, 1990. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-07072003-160408/publico/Digital.pdf>> Acesso em 22 de mai. 2019.

FEITOSA, G. F. A.; NEVES, M. O. *Estudo para utilização de ferro-níquel na área de construção civil*. Trabalho Conclusão de Curso – Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG. Goianésia - GO, 2017. Disponível em: <<http://anais.unievangelica.edu.br/index.php/cifaeg/article/view/546>> Acesso em 30 de mai. 2019.

FERRAZ, A. L. N.; SEGANTINI, A. A. S. *Estudo da Aplicação de Resíduo de Argamassa de Cimento nas Propriedade de Tijolos de Solo-Cimento*. In: *Holos Environment* – Revista

Científica do Centro de Estudos Ambientais - CEA da Universidade Estadual Paulista - UNESP. Ilha Solteira - SP, 2003. Disponível em: <<https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/view/400/338>> Acesso em 14 de mai. 2019.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v.38, n.2, p.109-112, 2014.

FERREIRA, Juliana Carvalho; PATINO, Cecilia Maria. **O que realmente significa o valor-p?** Jornal Brasileiro de Pneumologia, [s. l.], v. 41, n. 5, p. 3713, 2015. Disponível em: <[http://www.jornaldepneumologia.com.br/detalhe\\_artigo.asp?id=2462](http://www.jornaldepneumologia.com.br/detalhe_artigo.asp?id=2462)> Acesso em 09 de dez. 2019.

FERREIRA, R. C. *Desempenho físico-mecânico e propriedades termofísicas de tijolos e mini-painéis de terra crua tratada com aditivos químicos*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, UNICAMP, Campinas, SP: 2003. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257558/1/Ferreira\\_RegisdeCastro\\_D.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257558/1/Ferreira_RegisdeCastro_D.pdf)> Acesso em 30 de mai. 2019.

FOSTER, Norman. *Architecture and Sustainability*. Disponível em: <https://www.fosterandpartners.com/media/546486/essay13.pdf> Acesso em 15 de jun. 2019.

GOMES, Íverton Rodrigo Barbosa. **Viabilidade de utilização de um compósito a partir de resíduos para a construção de casas populares**. Tese de mestrado, Engenharia mecânica, Universidade federal do rio grande do norte, Natal – RN, 2010. Disponível em: <<http://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/15612/1/Iverton DISSERT.pdf>>. Acesso em: 25 de mai. 2019.

GRANDE, F. M. *Fabricação de Tijolos Modulares de Solo-cimento por Prensagem Manual Com e Sem Adição de Sílica Ativa*. Dissertação de Mestrado. São Carlos – SP: Escola de Engenharia de São Carlos – EECS da Universidade de São Paulo - USP, 2003. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-07072003-160408/pt-br.php>> Acesso em 20 de mai. 2019.

HABITARE. *Programa de Tecnologia de Habitação. FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos*. Disponível em: <[http://www.habitare.org.br/publicacoes\\_proposta.aspx](http://www.habitare.org.br/publicacoes_proposta.aspx)>. Acesso em: 10 de mai. 2019.

INSTITUT WALLON DE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE ET SOCIAL ET D'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ASBL. IDD – Institut Wallon – VITO. **Greenhouse gas emissions reduction and material flows**. 2001. Disponível em: <[http://www.belspo.be/belspo/home/publ/pub\\_ostc/CG2131/rappCG31\\_en.pdf](http://www.belspo.be/belspo/home/publ/pub_ostc/CG2131/rappCG31_en.pdf)> Acesso em: 22 mar. 2019.

JOHN, V. M. e AGOPYAN, V. *Reciclagem de Escória de Alto Forno no Brasil*. Anais..., São Paulo/SP, 2000. Disponível em: <<https://bdpi.usp.br/item/001175589>> Acesso em 01 de jun. 2019.

JUNIOR, T. S. **Avaliação de emissões de CO<sub>2</sub> na construção civil: Um estudo de caso de habitação de interesse social no Paraná**. Artigo apresentado no XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro – RJ, 2008.

KOLLING, E. M.. TROGELLO, E.. MODOLO, A. J. *Avaliação da resistência mecânica de diferentes traços de solo-cimento estabilizados com areia*. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.7.3, p. 185 – 191, 2012. Disponível em: <<http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/viewFile/323/265>> Acesso em: 25 de mai. 2019.

LIBRELOTTO, Lisiane Ilha. **Modelo para avaliação da sustentabilidade na construção civil nas dimensões econômica, social e ambiental (ESA): aplicação no setor de edificações**. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2005. Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/102125>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

LIMA, Fabíolla Xavier Rocha Ferreira. *Blocos de terra compactada de solo-cimento com resíduo de argamassa de assentamento e revestimento: caracterização para uso em edificações*. 2013. xi, 114 f., il. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013. Disponível em:

<[http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/15550/1/2013\\_Fab%C3%ADollaXavierRochaFerrairaLima.pdf](http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/15550/1/2013_Fab%C3%ADollaXavierRochaFerrairaLima.pdf)> Acesso em 25 de mai. 2019.

LIMA, T. V. *Estudo da produção de blocos de solo-cimento com solo do núcleo urbano da cidade de Campos dos Goytacazes – RJ*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2006. Disponível em: <[http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/LECIV\\_1693\\_1183406137.pdf](http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/LECIV_1693_1183406137.pdf)>. Acesso em 11 de mai. 2019.

LUZ, C.; FERREIRA, D.; LOPES, L.; CARDOSO, M.; CAVALCANTI, R. *Relatório sobre níquel*. Universidade Federal do Pará – UFPA, Belém do Pará/PA, 2010. Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAq0QAH/relatorio-sobre-niquel>> Acesso em 01 de jun. 2019.

MACÊDO, Arlan Teodócio. MARTINS, Maria De Fátima. *A sustentabilidade urbana sob a ótica da construção civil: um estudo nas empresas construtoras de Campina Grande-PB*. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade: GeAS, 2015, vol. 04. Disponível em: <<http://www.revistageas.org.br/ojs/index.php/geas/article/view/183/pdf>>. Acesso em 25 de mai. 2019.

MANO, E. S. *Caracterização Tecnológica de Produtos de Beneficiamento de Minério de Ni-Cu-Co de Fortaleza de Minas, MG*. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 91 p. São Paulo, 2002. Disponível em: <<https://bdpi.usp.br/item/001348861>> Acesso em 05 de jun. 2019.

MIKHAILOVA, I. Sustentabilidade: evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática. **Revista Economia e Desenvolvimento**, 2004.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resoluções CONAMA**. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em 22 mar. 2019.

MOTTA, Jéssica Campos Soares Silva. MORAIS, Paola Waleska Pereira. ROCHA, Glayce Nayara. TAVARES, Joicimara da Costa. GONÇALVES, Gabrielle Cristina. CHAGAS, Marcela Aleixo. MAGESTE, Jalson Luiz. LUCAS, Taiza de Pinheiro Barroso. *Tijolo de solo-*

**cimento: Análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis.** Revista E-xacta, Belo Horizonte-MG, v.7, n.1, Editora UniBH, 2014. Disponível em: <<http://revistas.unibh.br/index.php/dcet/article/viewFile/1038/665>>. Acesso em 20 de mai. 2019.

MOTTA, Silvio Romero Fonseca. **Sustentabilidade na construção civil: crítica, síntese, modelo de política e gestão de empreendimentos.** Dissertação de pós-graduação, Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte – MG, 2009. Disponível em: <[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ISMS842G7C/diserta\\_o\\_silvio\\_motta.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ISMS842G7C/diserta_o_silvio_motta.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 25 de mai. 2019.

NÓBREGA, L. M.; ROSA, N. M. G. S.; CAMPOS, L. E. P. e SOARES, J. B. **Avaliação Ambiental de Escória de Ferroliga Aplicada em Revestimentos de Pavimentos em Salvador.** 36a Reunião Anual de Pavimentação, Curitiba/PR – Brasil, ago 2005. <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=000063&pid=S0366-6913201200040001900004&lng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000063&pid=S0366-6913201200040001900004&lng=en)> Acesso em 29 de mai. 2019.

PINHEIRO, M. L. et al. Avaliação experimental de blocos prensados de solo-cimento com adição de grits. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 2, p. 29- 46, abr./jun. 2013. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/278713098\\_Avaliacao\\_experimental\\_de\\_blocos\\_prensados\\_de\\_solo-cimento\\_com\\_adicao\\_de\\_grits](https://www.researchgate.net/publication/278713098_Avaliacao_experimental_de_blocos_prensados_de_solo-cimento_com_adicao_de_grits)> Acesso em 28 de mai. 2019.

PITTA, M. R. **Estabilização com solo-cimento.** Revista *Techne*, São Paulo: Pini, n. 17, jul/ago. 1995. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/17/artigo285032-1.aspx>>. Acesso em 10 de mai. 2019.

PROMPT, Cecília Heidrich. **Bioconstrução.** 2015. Disponível em: <<http://www.ceciliaprompt.arq.br/>>. Acesso em 28/10/15, às 01h38min.

ROCHA, A. F. **Estudo Experimental Sobre Misturas de Solo-Cimento para a Região de Campo Novo do Parecis, MT.** Dissertação de Mestrado. São Carlos - SP: Escola de Engenharia de São Carlos - EESC, Universidade de São Paulo - USP, 1996. Disponível em: <<https://bdpi.usp.br/item/000726736>> Acesso em 13 de mai. 2019.

ROCHA, Janaíde Cavalcanti. CHERIAF, Malik. *Utilização de Resíduos na Construção Habitacional*. 1º edição, Coleção Habitare, v. 4. Porto Alegre, ANTAC, 2003. Disponível em: <<http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/127.pdf>>. Acesso em: 25 de mai. 2019.

ROSEMBERG, S. J. *Nickel and Its Alloys*. 1º ed. 156 p. National Bureau of Standards Monograph nº 106, National Bureau of Standards, Washington, 1968. Disponível em: <[https://www.google.com/search?q=ROSEMBERG%2C+S.+J.+Nickel+and+Its+Alloys.+1%C2%BA+ed.+156+p.+National+Bureau+of+Standards+Monograph+n%C2%BA+106%2C+National+Bureau+of+Standards%2C+Washington%2C+1968.&rlz=1C1EJFC\\_enBR842BR842&oq=ROSEMBERG%2C+S.+J.+Nickel+and+Its+Alloys.+1%C2%BA+ed.+156+p.+National+Bureau+of+Standards+Monograph+n%C2%BA+106%2C+National+Bureau+of+Standards%2C+Washington%2C+1968.&aqs=chrome..69i57.552j0j9&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=ROSEMBERG%2C+S.+J.+Nickel+and+Its+Alloys.+1%C2%BA+ed.+156+p.+National+Bureau+of+Standards+Monograph+n%C2%BA+106%2C+National+Bureau+of+Standards%2C+Washington%2C+1968.&rlz=1C1EJFC_enBR842BR842&oq=ROSEMBERG%2C+S.+J.+Nickel+and+Its+Alloys.+1%C2%BA+ed.+156+p.+National+Bureau+of+Standards+Monograph+n%C2%BA+106%2C+National+Bureau+of+Standards%2C+Washington%2C+1968.&aqs=chrome..69i57.552j0j9&sourceid=chrome&ie=UTF-8)> Acesso em 29 de mai. 2019.

SANTOS, G. P. P. *Um estudo sobre a utilização da escória de ferroníquel em pavimento rodoviário*. Dissertação de Mestrado. Instituto Militar de Engenharia - IME. Rio de Janeiro, RJ, 2013. Disponível em: <<http://transportes.ime.eb.br/DISSERTA%C3%87%C3%95ES/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20GRAZIELLA.pdf>> Acesso em 05 de jun. 2019.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da Produção*. 2.ed. São Paulo - SP: Atlas, 2002. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-65552003000100016](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-65552003000100016)> Acesso em 28 de mai. 2019.

SOUZA, M. I. B. et al. Tijolos prensados de solo-cimento *confeccionados com resíduos de concreto*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.12, n. 2, p. 205-212, dez. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v12n2/v12n02a14.pdf>> Acesso em 11 de mai. 2019.

TIJOLO de margarina. *Jornal do Brasil*, 2000. Disponível em: <<http://inventabrasilnet.t5.com.br/tijolo.htm>>. Acesso em: 19 nov. 2005. // VALENCIANO, M. D. C. M. *Incorporação de resíduos agroindustriais e seus efeitos sobre as características*

*físico-mecânicas de tijolos de solo melhorado com cimento*. Campos dos Goytacazes, 1999. Tese de Mestrado em Engenharia Agrícola. Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP: 1999. Disponível em <[https://scholar.google.com/scholar\\_url?url=http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257543/1/MesaValenciano\\_MarthadelCarmen\\_M.pdf&hl=pt-BR&sa=T&oi=gsb-ggp&ct=res&cd=0&d=2509127959308689783&ei=MUUAXaH4Nc6emQG-1q3ABg&scisig=AAGBfm3ySNAtVm5jfNczR76IK19sKjDW6Q](https://scholar.google.com/scholar_url?url=http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257543/1/MesaValenciano_MarthadelCarmen_M.pdf&hl=pt-BR&sa=T&oi=gsb-ggp&ct=res&cd=0&d=2509127959308689783&ei=MUUAXaH4Nc6emQG-1q3ABg&scisig=AAGBfm3ySNAtVm5jfNczR76IK19sKjDW6Q)>. Acesso em 01 de jun. 2019.

UNTERLEITNER, B. **Avaliação das diferentes velocidades de rotação de agitadores horizontais, para análise granulométrica de alguns Latossolos**. 2011, 39 f. Monografia (Especialização - Curso de Engenharia Agrônômica), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

VALENCIANO, Martha Del Carmin Mesa. **Incorporação de Resíduos Agroindustriais e seus efeitos sobre as características físico-mecânicas de tijolos de solo melhorado com cimento**. Dissertação de Mestrado. Campinas – SP. Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas. 1999. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257543/1/MesaValenciano\\_MarthadelCarmen\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257543/1/MesaValenciano_MarthadelCarmen_M.pdf)> Acesso em 21/11/2019, às 12:36min.

WIECZYNSKY, Vlademir José. **Construções mais sustentáveis: alternativas para uma habitação de baixo custo econômico**. 2015. Disponível em: <<http://www.uniedu.sed.sc.gov.br/wp-content/uploads/2015/02/Artigo-Vlademir-Jos%C3%A9-Wieczynski.pdf>>. Acesso em 28/10/15, às 02h20min.