



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

ADEYLER DE MEDEIROS JARDIM FILHO

WEWERTHON REZENDE FIGUERÊDO

**REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO NÍQUEL, USADO COMO
AGREGADO NA FABRICAÇÃO DE TIJOLO DE CONCRETO
PRÉ-MOLDADO**

PUBLICAÇÃO Nº: 06

**GOIANÉSIA / GO
2022**



ADEYLER DE MEDEIROS JARDIM FILHO

WEWERTHON REZENDE FIGUERÊDO

**REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO NÍQUEL, USADO COMO
AGREGADO NA FABRICAÇÃO DE TIJOLO DE CONCRETO
PRÉ-MOLDADO**

PUBLICAÇÃO Nº: 06

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

ORIENTADORA: Ma. JÉSSICA NAYARA DIAS

GOIANÉSIA / GO: 2022

FICHA CATALOGRÁFICA

FILHO, Adeyler de Medeiros Jardim; FIGUERÊDO, Wewerthon Rezende.

Rejeito de minério de ferro níquel, usado como agregado na fabricação de tijolo de concreto pré-moldado. 2022, 70P, 52p, 297 mm (ENC/FACEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2022).

TCC – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

1. Bloco de Concreto

2. Ferro níquel

3. Escória

4. Sustentabilidade

I. ENC/FACEG

II. Rejeito de minério de ferro níquel, usado como agregado na fabricação de tijolo de concreto pré-moldado (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FILHO, Adeyler de Medeiros Jardim; FIGUERÊDO, Wewerthon Rezende. Rejeito de minério de ferro níquel, usado como agregado na fabricação de tijolo de concreto pré-moldado, Publicação 06, Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, Goianésia, GO, 52p. 2022.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Adeyler de Medeiros Jardim Filho e Wewerthon Rezende Figuerêdo.

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Rejeito de minério de ferro níquel, usado como agregado na fabricação de tijolo de concreto pré-moldado.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2022

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia - 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.

Adeyler de Medeiros Jardim Filho
76380-187 – Goianésia/GO - Brasil

Wewerthon Rezende Figuerêdo
76386-120 – Goianésia/GO - Brasil

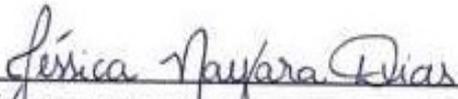
ADEYLER DE MEDEIROS JARDIM FILHO

WEWERTHON REZENDE FIGUERÊDO

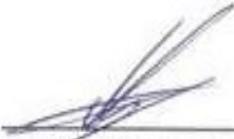
**REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO NÍQUEL, USADO COMO
AGREGADO NA FABRICAÇÃO DE TIJOLO DE CONCRETO
PRÉ MOLDADO**

**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:



**JÉSSICA NAYARA DIAS, Mestra (Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG)
(ORIENTADOR)**



**VILSON DALLA LIBERA JUNIOR, Mestre (Faculdade Evangélica de Goianésia –
FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**ROBSON DE OLIVEIRA FÉLIX, Mestre (Faculdade Evangélica de Goianésia –
FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: GOIANÉSIA/GO, 07 de JUNHO de 2022.

*Dedicamos este trabalho: aos nossos,
pais e mães; às nossas famílias e aos
nossos amigos de vida e de faculdade.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida e por me conceder paciência e força para chegar até aqui.

Agradeço aos meus pais, Adeyler e Eliana aos meus irmãos Sthefanny e João Pedro pela compreensão, assistência, cuidado e carinho comigo.

Minha namorada e companheira Mylena pela compreensão nos momentos que precisei me ausentar, mas também pelo apoio e amparo com amor, carinho e atenção durante esses anos, juntamente com toda a sua família.

A minha dupla de trabalho de conclusão de curso, Wewethon por estar comigo durante todo o curso.

A todos os meus amigos de faculdade, por estarem comigo em todos os momentos, e que levarei para a vida toda: Polyana Fernandes, Victor Hugo Tavares, Raquel Campos, Renato Bonfim, Murilo Souza.

E por fim agradeço nossa orientadora Jéssica Nayara, que não mediu esforços para que este trabalho pudesse ter sido realizado.

Adeyler de Medeiros Jardim Filho

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus e a minha família, por sempre me dar força e paciência para prosseguir, independente do momento, pois sei que sempre posso contar com eles.

A minha mãe, pela criação que me forneceu, por sempre traçar objetivos e me ensinar a correr atrás deles, por apoiar minhas decisões, mesmo em ocasiões em que ela mesmo não concordava, que sempre estava preocupada de como eu estava longe dela da sua maneira.

Ao meu pai, que sempre foi mais que um pai, um amigo que sempre contei tudo e para tudo, que sempre me falou “Você sabe o que faz!”, mesmo em situações que ele mesmo sabia que eu não tinha noção de escolha, mas sempre estava lá para me apoiar.

Aos meus avós paternos e maternos que foram um exemplo desde de minha infância, que tive o prazer de morar mesmo que pouco prazo quando mais novo, mas sempre presente na minha criação, sempre me orientando a fazer a melhor escolha e pensar em um futuro próspero.

A todos amigos que fiz ao logo da faculdade que levarei para toda a vida, a todos os professores e membros da FACEG, a todos colegas de turma que convivemos durante esses 5 anos, em principal Polyana Fernandes que não nos demos muito bem no início mais no final acertamos, tenho um carinho por você minha amiga. Murilo Souza que conheci a pouco tempo mais já se fez um ótimo amigo.

Em especial João Victor Bailona e Robsvan Bailona Filho, que tive o prazer de conviver durante um bom tempo, vocês são como irmãos.

A minha orientadora Jéssica Nayara Dias, que auxiliou nessa grande etapa da faculdade.

A minha dupla de trabalho de conclusão de curso Adeyler Filho, por estar sempre ao meu lado durante todo o curso, e você sabe que você é como um irmão, sempre conte comigo.

A todos que contribuirão diretamente ou indiretamente nessa fase, me ajudando a realizar com sucesso essa graduação em Engenharia Civil.

Wewerthon Rezende Figuerêdo

“Confia ao senhor tuas obras, e teus pensamentos serão estabelecidos.”

Provérbios 16:3

RESUMO

A utilização do rejeito de minério de ferro destaca-se pelas características que o assemelham aos componentes requisitados por diferentes materiais da construção civil, por sua granulometria, composição química e estrutura das partículas. O reaproveitamento do rejeito é uma forma de reduzir e reprimir os impactos ao meio ambiente já que o mesmo é capaz de ser introduzido no ciclo produtivo como agregado miúdo no bloco de concreto (ABNT NBR 7211, 2019). Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho é a realização de um procedimento experimental com a fabricação de blocos de concreto pré-moldados com a substituição parcial e total do agregado miúdo pelo rejeito de escória de ferro níquel, obtendo uma maior resistência e analisando todas suas características de desempenhos de acordo com a norma (ABNT NBR 6136/2016). A fim de se atingir o objetivo proposto, foram realizados ensaios laboratoriais para a fabricação do concreto de referência, com agregado miúdo natural, e do compósito cimentício, com as substituições parciais e total desse agregado pela escória, cedida pela mineradora Anglo América localizada em Barro Alto – GO, nas proporções de 25%, 50%, 75% e 100%. Como resultado, obteve-se um compósito cimentício que superou a resistência do concreto de referência em uma porcentagem de substituição, a de 50%, sendo ela a que obteve os melhores resultados para as 2 idades de ensaio, aos 7 e 28 dias. O aumento seguido de queda na resistência à compressão, com o aumento da porcentagem de substituição de areia por escória, mostra que existe uma quantidade adequada de substituição e que mais estudos devem ser realizados visando a constatação dessa afirmação.

Palavras chaves: Bloco de Concreto; Ferro níquel; Escória; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The use of iron ore tailings stands out due to the characteristics that make it similar to the components required by different construction materials, due to its granulometry, chemical composition and particle structure. The reuse of tailings is a way of reducing and repressing impacts on the environment, as it is capable of being introduced into the production cycle as fine aggregate in the concrete block (ABNT NBR 7211, 2019). In view of the above, the objective of the present work is to carry out an experimental procedure with the manufacture of precast concrete blocks with the partial and total replacement of the fine aggregate by nickel iron slag, obtaining greater resistance and analyzing all its performance characteristics according to the standard (ABNT NBR 6136/2016). In order to achieve the proposed objective, laboratory tests were carried out to manufacture the reference concrete, with natural fine aggregate, and the cement composite, with the partial and total replacement of this aggregate by slag, provided by the Anglo América mining company located in Barro Alto – GO, in the proportions of 25%, 50%, 75% and 100%. As a result, a cementitious composite was obtained that surpassed the strength of the reference concrete in a percentage of replacement, that of 50%, being it the one that obtained the best results for the 2 test ages, at 7 and 28 days. The increase followed by a decrease in the compressive strength, with the increase in the percentage of replacement of sand by slag, shows that there is an adequate amount of replacement and that further studies should be carried out in order to verify this statement.

Keywords: Concrete Block; nickel iron; Slag; Sustainability

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bloco Vazado de Concreto Simples.....	04
Figura 2 – Máquina Utilizada na Fabricação do Bloco.....	06
Figura 3 – Representação do Processo de Fabricação do Cimento Portland.	08
Figura 4 – Clínquer é sua Composição.....	09
Figura 5 – Tipos de Agregados Miúdos	10
Figura 6 – Tipos de Agregados Graúdos.....	11
Figura 7 – Ensaio de Compressão	12
Figura 8.1 – Tipos de Ruptura do Corpo de Prova.....	12
Figura 8.2 – Tipos de Ruptura do Corpo de Prova.....	13
Figura 9 – Teste de Compressão Sendo Realizado	13
Figura 10 – Depósito de Escória de Ferro Níquel em Barro Alto (GO).....	15
Figura 11 – Parede Tijolos de Barro e Palha.....	16
Figura 12 – Cimento CP II-F-32	19
Figura 13 – Agregados Miúdos Utilizados.....	19
Figura 14 – Agregado Graúdo: Brita 0.....	20
Figura 15 – Água Potável Utilizada na Fabricação do Concreto	21
Figura 16 – Frasco Chapman.....	21
Figura 17 – Ensaio da Massa Específica de Agregado Graúdo.....	23
Figura 18 – Ensaio de Massa Unitária.....	24
Figura 19 – Estufa com Areia Natural e Escória.....	26
Figura 20 – Peneiras Montadas para Ensaio de Agregado Miúdo	27
Figura 21 – Peneiras Montadas para Ensaio de Agregado Graúdo	29
Figura 22 – Amostras da Água de Lavagem da Areia Natural.....	31
Figura 23 – Amostras da Água de Lavagem da Escória	31
Figura 24 – Preparação do Concreto	33
Figura 25 – Preenchimento da Fôrma com Concreto.....	33
Figura 26 – Prensagem e Carregamento do Bloco de Concreto.....	34
Figura 27 – Marcação do Bloco	34
Figura 28 – Transporte dos Blocos.....	38
Figura 29 – Dimensões.....	39
Figura 30 – Momento de Ruptura com 7 Dias	42
Figura 31 – Momento de Ruptura com 28 Dias	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Designação por Classe, Largura dos Blocos e Espessura Mínima das Paredes dos Blocos	05
Tabela 2 – Designação Utilizada, Largura dos Blocos e Espessura Mínima das Paredes dos Blocos	07
Tabela 3 – Dimensões Padrão Bloco de Concreto	07
Tabela 4 – Tipos de Cimento Portland Normalizados no Brasil	09
Tabela 5 – Proporções em volume de Areia e Escória por Traço	20
Tabela 6 – Valores Obtidos da Pesagem da Brita 0.....	23
Tabela 7 – Dados Processo Estabelecido pela Norma do Agregado Miúdo	28
Tabela 8 – Limites Recomendados do Agregado Miúdo Segundo a NBR 7211/2019	29
Tabela 9 – Limites Recomendados do Agregado Graúdo Segundo a NBR 7211/2019.....	30
Tabela 10 – Dados Processo Estabelecido pela Norma do Agregado Graúdo.....	30
Tabela 11 – Substituição Gradual da Areia Natural pela Escória de Ferro Níquel	32
Tabela 11 – Dimensões do Bloco de Concreto.....	39
Tabela 12 – Determinação da Absorção de Água de Acordo com a NBR 12118 (ABNT, 2013)	40
Tabela 13 – Resultado do Ensaio de Compressão do Bloco aos 7 Dias de Acordo com a NBR 6136 (ABNT, 2016).....	41
Tabela 14 – Resultado do Ensaio de Compressão do Bloco aos 28 Dias de Acordo com a NBR 6136 (ABNT, 2016).....	43
Tabela 15 – Valor do Metro Cúbico dos Agregados Miúdo	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classes dos Blocos de Concreto.....	05
Quadro 2 – Planejamento dos Ensaios.....	18

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Granulometria do Agregado Miúdo	28
Gráfico 2 – Granulometria do Agregado Graúdo	30
Gráfico 3 – Resultado da Média do Ensaio de Compressão do Bloco aos 7 e aos 28 Dias de Acordo com Cada Traço.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ARI – Alta Resistencia Inicial

ASMT – ASSOCIAÇÃO DOS SERVIDORES DO MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES

BC – Baixo Calor de Hidratação

CP – Cimento Portland

CP – Corpo de Prova

EPI – Equipamento de Proteção Individual

FACEG – Faculdade Evangélica de Goianésia

GO – Goiás

h – Horas

IDE – *Integrated Development Environment*

ISO – *International Organization for Standardization*

n° – Numero

NBR – Norma Brasileira de Regulamentação

NR – Norma Regulamentadora

T – Traço

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

RS – Resistente a Sulfatos

R\$ – Reais

Saneago – Companhia Saneamento de Goiás S/A

UniEVANGÉLICA – Universidade Evangélica de Goiás

Z – Pozolana

LISTA DE SÍMBOLOS

a/c – Relação água/cimento.

$A\%$ – Absorção de Água em Porcentagem

cm – Centímetro

cm^3 – Centímetro Cúbico

dm^3 – Decímetro Cúbico

g – Grama

kg – Quilograma

L – Leitura final do frasco;

m – Metro

m – Massa

m^3 – Metro Cúbicos

mm – Milímetros

mm^2 – Milímetros Quadrado

N – Newtons

$\%$ – Porcentagem

Mpa – Megapascal

MgO – Óxido de Magnésio

SiO_2 – Dióxido de Silício

Fe_2O_3 – Maghemita

ρ_c – Massa Específica

μ – Massa específica do agregado miúdo, em g/cm^3 ;

ρ_s – Densidade do agregado na condição seca (g/cm^3);

m_A – Massa da amostra seca em estufa (g);

m_B – Massa da amostra na condição saturada superfície seca, expressa em gramas (g);

m_C – Massa da amostra submersa em água na condição saturada superfície seca (g).

$^{\circ}C$ – Graus Celsius

ρ_{ap} – Massa unitária do agregado, em kg/m^3 ;

m_{ar} – Massa do recipiente com o agregado, em kg;

m_r – Massa do recipiente vazio, em kg;

V – Volume do recipiente, em m^3 .

E_v – Índice de volume de vazios nos agregados, em porcentagem (%);

d_1 – Massa específica do agregado (g);

ρ_w – Massa específica de água, em kgm^3 ;

ρ_{ap} – Massa unitária média do agregado, em kgm^3

Mf – Módulo de Finura (%)

$\Sigma \% \text{ Retida Acumulada}$ – Somatório do agregado retido acumulado em porcentagem em cada peneira (%)

μm – Micrômetro

m_i – Massa original da amostra seca, em g;

m_f – Massa da amostra seca após a lavagem, em g.

\pm – Mais ou Menos

A – Absorção de cada corpo de prova, expressa em porcentagem (%);

m_1 – Massa do corpo de prova seco, expressa em gramas (g);

m_2 – Massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

σ – Tensão (mpa);

F – Força (N);

A – Área (mm^2).

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	2
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 Objetivo Geral	3
1.2.2 Objetivos Específicos	3
2 REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1. BLOCO DE CONCRETO SIMPLES	4
2.2 MATERIAIS CONSTITUINTES DOS BLOCOS DE CONCRETO.....	7
2.2.1 Cimento	8
2.2.2 Agregados Graúdo e Miúdo	10
2.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	11
2.4 ENSAIO DE RUPTURA À COMPRESSÃO DO BLOCO DE CONCRETO.....	13
2.5 ESCÓRIA DE FERRO NÍQUEL	14
2.6 MATERIAIS COMPÓSITOS	15
3 MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	17
3.2 MATERIAIS	17
3.2.1 Cimento	17
3.2.2 Agregado miúdo	18
3.2.3 Agregado Graúdo	19
3.2.4 Água	19
3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	20
3.3.1 Massa específica	20
3.3.2 Composição granulométrica	25
3.3.3 Teor de material pulverulento	29
3.4 DEFINIÇÃO DO TRAÇO	31
3.5 FABRICAÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADOS	31
3.6 ENSAIOS DO BLOCO DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO	34
3.6.1 Amostragem das peças de concreto	34
3.6.2 Inspeção Visual	34
3.6.3 Avaliação dimensional	34
3.6.4 Absorção de água	34

3.6.5 Resistência a compressão	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1 AMOSTRAGEM E INSPEÇÃO VISUAL DOS BLOCOS DE CONCRETO	37
4.2 AVALIAÇÃO DIMENSIONAL.....	37
4.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	39
4.4 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO	40
4.6 VIABILIDADE ECONÔMICA.....	43
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
5.1 CONCLUSÕES	45
5.2 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	46
REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

A aplicação dos blocos de concreto na construção civil gradualmente se modifica com a intensificação de sua utilização, deste modo, Gonçalves (2015) esclarece que, os blocos de concreto vêm sendo utilizados em larga escala nos últimos tempos, por serem produtos com boa resistência a pressões do tempo e do clima.

Os blocos de concreto são materiais utilizados para fabricação de elementos estruturais e vedação, sendo caracterizados como elementos industrializados, fabricados em máquinas que vibram e pressionam, podendo ser utilizado com ampla diversidade de composições. Assim, por ser um material de fácil execução e ajustados em fôrmas de aço, sua exatidão dimensional facilita sua utilização na construção civil. As suas propriedades e a performance variam de acordo com os instrumentos, a proporção e a qualidade dos materiais utilizados na sua fabricação (ABNT NBR 6136, 2016). O emprego da alvenaria de blocos de concreto tem se amplificando, já que ele dispõe de uma alta aplicabilidade e fácil execução.

Os blocos de concreto são constituídos por cimento Portland, água e os agregados, tornando o mesmo um material compósito, a finalidade de se introduzir um agregado na composição do bloco é para dar uma maior consistência a mistura e torná-la mais econômica. Atualmente, os agregados correspondem a aproximadamente 80% do peso do concreto, no entanto estes materiais influenciam de forma positiva quanto a retração e a resistência do mesmo, os agregados são classificados de acordo com sua granulometria, como por exemplo, a areia, pedra britada, hematita, barita, seixo, dentre outros (MOHAMAD, 2020).

Uma prática que vem ganhando espaço na construção civil é a fabricação de materiais compósitos, que faz referência à criação de um novo material pela junção de outros e visa aprimorar as características físicas e mecânicas do novo material formado. A concepção de compósito pode ser aplicada a qualquer material, inclusive a um bloco de concreto (SILVA, 2014).

O minério de ferro níquel é um material que vem sendo estudado na área da Engenharia Civil como uma possibilidade de adição na matriz cimentícia. A utilização do rejeito de minério de ferro destaca-se pelas características que o assemelham aos componentes requisitados por diferentes materiais da construção civil, por sua granulometria, composição química e estruturas das partículas. O reaproveitamento do rejeito é uma forma de reduzir e reprimir os impactos ao meio ambiente já que ele é capaz de ser introduzido no ciclo produtivo como agregado miúdo no bloco de concreto (ABNT NBR 7211, 2019).

O concreto convencional já se caracteriza como um material compósito, pois o mesmo é formado pela junção de dois ou mais componentes que quando misturados formam um material com características superiores aos elementos separados. Assim, pode-se inferir que existem dois tipos de compósitos, o cimento Portland, principal compósito (compósito matriz) e os compósitos de reforço que irão realçar as características do material, como a escória de ferro níquel (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho é a realização de um procedimento experimental com a fabricação de blocos de concreto pré-moldados com a substituição parcial do agregado miúdo pelo rejeito de escória de ferro níquel, obtendo uma maior resistência e analisando todas suas características de desempenhos de acordo com a norma ABNT NBR 6136/2016.

1.1 JUSTIFICATIVA

O emprego do resíduo de minério, a carência de jazidas e um grande consumo de recursos naturais decorrem, na sociedade, como uma adversidade. Assim, com o aumento da quantidade de escória de ferro níquel produzida pela mineração, gera uma necessidade de se incorporar o material novamente no ciclo produtivo. Neste sentido a fabricação de materiais cimentícios na construção civil se torna uma alternativa, já que o consumo desses elementos é realizado em vasta escala (SILVA, 2019).

Estudos da aplicação destes resíduos e diligências de inovações de procedimentos estão crescendo, desta forma o trabalho apresentado tem a finalidade de sobrepor a viabilidade da aplicação dos resíduos de mineiro de ferro níquel na fabricação do bloco de concreto pré-moldados, utilizando-o como agregado avaliando assim suas propriedades de resistência de forma sustentável (SILVA, 2019).

A escória de ferro níquel apresenta aspectos semelhantes aos componentes requisitados por diferentes materiais da construção civil, por sua granulometria, composição química e estruturas das partículas facilitando a incorporação no cimento (ANDRADE, 2009). Diante do exposto a reutilização da escória de ferro níquel na fabricação de componentes cimentícios como o bloco de concreto se torna uma alternativa viável pois expõe a capacidade de melhorar a resistência do bloco, uma vez que sua composição apresenta resíduo de faialita mineral de alta dureza (SANTOS,2013).

Portanto, a aplicação do rejeito de minério de ferro em materiais cimentícios é favorável pois se adequa como agregado em diferentes componentes da construção civil (ANDRADE, 2009).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do presente trabalho é a fabricação de blocos de concreto pré-moldados com a substituição parcial e total do agregado miúdo pelo rejeito de escória de ferro níquel visando a obtenção de um compósito com melhores propriedades mecânicas em detrimento do bloco sem a adição.

1.2.2 Objetivos Específicos

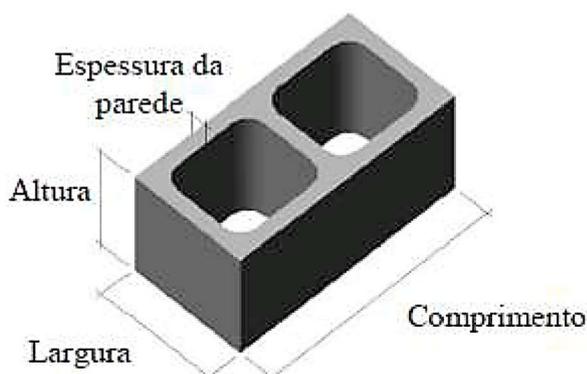
- Avaliar as propriedades físicas do rejeito de minério de ferro níquel;
- Analisar a resistência a compressão do bloco de concreto convencional, ao do bloco com adição de rejeito de minério de ferro níquel;
- Verificar qual a porcentagem ideal para a substituição do agregado miúdo pela escória de ferro níquel;
- Avaliar se a substituição do agregado miúdo pela escória do ferro níquel é vantajosa para o bloco de concreto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. BLOCO DE CONCRETO SIMPLES

O emprego da alvenaria mediante a utilização do bloco de concreto tem se intensificado, já que este dispõe de uma alta aplicabilidade e fácil aplicação em campo. A NBR 6136 (ABNT, 2016), que dispõe sobre os requisitos para blocos vazados de concreto simples para alvenaria, define que as dimensões reais dos blocos vazados de concreto, modulares e sub-modulares devem corresponder a dimensões constantes que são pré-determinadas pela normativa. Assim, sabe-se que essas dimensões se alteram conforme a aplicabilidade do bloco, sendo os diferentes tipos denominados como “família de blocos”. A Figura 1 apresenta um bloco vazado cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta.

Figura 1 – Bloco Vazado de Concreto Simples.



Fonte: ABNT NBR 6136:2016

A norma referida anteriormente estabelece ainda alguns importantes conceitos em relação ao bloco de concreto.

- Bloco vazado - elemento de alvenaria área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta.
- Área bruta - área da seção perpendicular aos eixos dos furos, sem desconto das áreas dos vazios;
- Área líquida - área média da seção perpendicular aos eixos dos furos, descontadas as áreas médias dos vazios;
- Dimensões reais - Aquelas obtidas ao medir cada bloco, equivalentes às dimensões nominais diminuídas em 1 cm, que correspondem a espessura média da junta de argamassa;
- Blocos modulares - Blocos com dimensões coordenadas, para a execução de alvenarias modulares, isto é, alvenarias com dimensões múltiplas do módulo $M = 10$ cm e seus submodelos $M/2$ e $M/4$;

- Família de blocos – Agrupamento de elementos da alvenaria que interagem continuamente entre si e com outros componentes construtivos. Desta forma os blocos que constituem a família, segundo suas especificações, blocos tipo canaleta, são nomeados como bloco inteiro (bloco dominante), blocos de amarração L e T (blocos onde se tem encontros de paredes), meio bloco e blocos compensadores A e B (blocos para ajustes de intercalação).
- Classe -distinção do bloco de acordo com sua utilização.

Os blocos de concreto necessitam atender, quanto ao seu uso, as classes apresentadas no Quadro 1 (ABNT NBR 6136/2016). A designação dos blocos por classe, largura nominal e espessura mínima das paredes são apresentadas na Tabela 1.

Quadro 1 – Classes dos Blocos de Concreto.

Classe	Especificação
A	Tem a finalidade estrutural, e são elementos empregados na alvenaria abaixo ou acima do nível solo.
B	Tem a finalidade estrutural, e são elementos empregados na alvenaria acima do nível do solo.
C	Tem ou não a finalidade estrutural, e são elementos empregados na alvenaria no nível do solo.
D	Não tem finalidade estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo.

Fonte: ABNT NBR 6136, 2016

Tabela 1 – Designação por Classe, Largura dos Blocos e Espessura Mínima das Paredes dos Blocos.

Classe	Designação	Paredes Longitudinais (mm)	Paredes Transversais	
			Paredes (mm)	Espessura Equivalente (mm/m)
A	M – 15	25	25	188
	M – 20	32		
B	M – 15	25	25	188
	M – 20	32		
C	M – 10	18	18	135
	M – 12,5			
	M – 15			
D	M – 7,5	15	15	113
	M – 10			
	M – 12,5			
	M – 15			
	M – 20			

Fonte: ABNT NBR 6136:2016.

O bloco de concreto é caracterizado como um elemento industrializado fabricado em máquinas, sendo capaz de ser produzido com ampla diversidade de composições. Assim, por

ser um material de fácil execução e ajustados em fôrmas de aço, sua exatidão dimensional facilita sua utilização na construção civil. As suas propriedades e a performance variam de acordo com os instrumentos, a proporção e a qualidade dos materiais utilizados na sua fabricação (ABNT NBR 16868-1:2020). A Figura 2 apresenta um exemplo de máquina utilizada na fabricação do bloco vazado. Devido a forma como são produzidos, os blocos de concreto normatizados dispõem do formato e proporções uniformes, proporcionando um sistema construtivo lucrativo e eficaz.

Figura 2 – Máquina Utilizada na Fabricação do Bloco.



Fonte: Própria Autoria.

O componente concreto dispõe de um módulo de elasticidade semelhante à da junta de argamassa, correspondendo a resistência da alvenaria a do bloco (ABNT NBR 6136/2016). Por conseguinte, os blocos de concreto retratam inúmeras vantagens além dos aspectos técnicos, dentre eles:

- Sua produção pode ser realizada de acordo com a necessidade estrutural da edificação como resistência característica variadas;
- Sua forma pode ser produzida de acordo com a necessidade da edificação, tendo texturas e cores variadas;
- Contém vazados de grandes proporções que concedem o acesso de tubulações sanitárias e elétricas. Desta forma os vazados podem passar a ser preenchidos com graute (microconcreto) para a execução de cintas de amarração, vergas ou quando se pretende amplificar a resistência a compressão da alvenaria;
- Por sua composição ser feita a partir do cimento, adjunto de miúdos e grãos, sua disponibilidade é garantida em praticamente toda região do País;
- Suas dimensões sofrem baixíssima variação nos blocos modulares, resguardando o desperdício por quebras na construção.

A NBR 6136 (ABNT, 2016) reporta as propriedades dos blocos de concreto para a alvenaria estrutural, destaca-se que para um dos principais blocos com função estrutural comercializados na atualidade apresenta-se as dimensões indicadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Designação Utilizada, Largura dos Blocos e Espessura Mínima das Paredes dos Blocos.

Denominação	Dimensões (cm)		
	Largura	Altura	Comprimento
M-15	14	19	39

Fonte: Adaptado ABNT NBR 6136:2016.

Família de blocos é um agrupamento de elementos da alvenaria que em termos modulares, interagem com outros elementos construtivos. Os blocos integram uma família, de acordo com suas dimensões, sendo classificados como: bloco inteiro (bloco dominante), meio bloco, blocos de amarração L e T, blocos A e B (blocos para ajuste de modulação) e blocos de canaleta (ABNT NBR 6136/2016). As dimensões verdadeiras dos blocos vazados de concreto modulares e suboculares, necessitam atender as dimensões apresentadas da Tabela 3.

Tabela 3 – Dimensões Padrão Bloco de Concreto.

Família		20x40	15x40	15x30	10x40	10x30	7,5x40	
Medida Nominal (mm)	Largura	190	140		90		65	
	Altura	190	190	190	190	190	190	
	Comprimento	Inteiro	390	390	290	390	290	390
		Meio	190	190	140	190	140	190
		2/3	-	-	-	-	190	-
		1/3	-	-	-	-	90	-
		Amarração "L"	-	340	-	-	-	-
		Amarração "T"	-	540	440	-	290	-
		Compensador A	90	90	-	90	-	90
		Compensador B	40	40	-	40	-	40
		Canaleta Inteira	390	390	290	390	290	-
		Meia Canaleta	190	190	140	190	140	-

Fonte: Adaptado de NBR 6136 (ABNT, 2016)

2.2 MATERIAIS CONSTITUINTES DOS BLOCOS DE CONCRETO

Para a fabricação dos blocos de concreto, é necessário um controle de qualidade rigoroso. Esses blocos são constituídos por cimento Portland, especificado pela NBR 16697

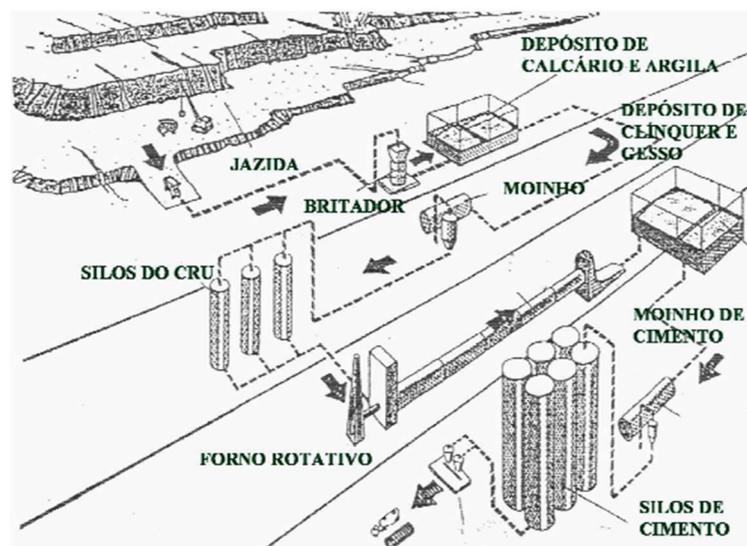
(ABNT, 2018), e pelos agregados miúdos e graúdos que necessitam satisfazer os critérios da NBR 7211 (ABNT, 2019).

2.2.1 Cimento

Um dos insumos mais utilizados na construção civil é o cimento, este é classificado como um aglomerante hidráulico, pois em contato com a água gera um processo físico-químico, resultando em um componente sólido com alta resistência a compressão e resistente a água e sulfatos (NEVILLE; BROOKS, 2013).

A origem do cimento se deu no Egito antigo, Grécia e Roma, pois as grandes construções eram feitas a partir do uso de algumas terras de origem vulcânica com características de rigidez mediante a adição de água. Um dos primeiros aglomerantes utilizados foram os compósitos de cal, areia e cinza vulcânica. O termo “cimento Portland” passou a ser usado em 1824 por Joseph Aspdin, químico e construtor britânico. Este, em um de seus experimentos, queimou pedras calcárias e argila simultaneamente, conduzindo-as a um pó fino. Após analisar a mistura Joseph percebeu que, logo ao secar, a mesma se tornava tão sólida quanto as pedras que eram utilizadas nas construções da época, não se desfazendo quando em contato com a água, então Joseph a patenteou com o nome de cimento Portland. O nome escolhido se deve ao fato de o material apresentar características de cor, durabilidade e solidez similares as das rochas da ilha britânica de Portland (NEVILLE; BROOKS, 2013). A Figura 3 apresenta o processo de fabricação do cimento Portland.

Figura 3 - Representação do Processo de Fabricação do Cimento Portland.



Fonte: KIHARA/1990

O principal constituinte do cimento são os silicatos de cálcio, de modo que em seu processo de fabricação deve-se adicionar cálcio e silício nas proporções corretas. Os materiais com composição de carbonato de cálcio são obtidos naturalmente da pedra calcária, giz, mármore e conchas do mar (KIHARA/1990). O cimento Portland é fabricado pela moagem de clínquer, material apresentado na Figura 4, que corresponde basicamente de silicatos de cálcio hidráulicos, habitualmente com uma ou mais formas de sulfato de cálcio como produto de adição. Assim, o clínquer dispõe de um diâmetro regular de 5 a 25 mm (KIHARA/1990).

Figura 4 – Clínquer é sua Composição.

*clínquer = calcário + argila +
minério de ferro**



Fonte: ENGETEC engenharia, 2010.

Como a construção civil vem evoluindo constantemente, o cimento Portland aprimorou-se, de modo que suas características físico-químicas foram aperfeiçoadas com a adição de novos aditivos, o que é apresentado na Tabela 4. Atualmente existem onze tipos de cimento Portland normatizados no mercado de acordo com a NBR 16697 (ABNT, 2016).

Tabela 4 – Tipos de Cimento Portland Normalizados no Brasil.

Nome Técnico do Cimento Portland	Sigla	Classes	Conteúdo dos Componentes (%)			
			Clínquer + Gesso	Escória	Pozolana	Fíler Calcário
Comum	CPI	25, 32, 40	100		0	
Comum com Adição	CPI-S	25, 32, 40	99-95		1-5	
Composto com Escória	CPII-E	25, 32, 40	94-56	6-34	0	0-10
Composto com Pozolana	CPII-Z	25, 32, 40	94-76	0	6-14	0-10
Composto com Fíler	CPII-F	25, 32, 40	94-90	0	0	6-10
Alto – Forno	CPIII	25, 32, 40	65-25	35-70	0	0-5
Pozolânico	CPIV	25, 32	85-45	0	15-50	0-5
Alta Resistência Inicial	CPV-ARI	-	100-95	0	0	0-5
Resistente a Sulfatos	RS	25, 32, 40				
Baixo Calor de Hidratação	BC	25, 32, 40			(*)	
Branco Estrutural**	CPB	25, 32, 40	-	-	-	-

Fonte: ABCP, 2016.

2.2.2 Agregados Graúdo e Miúdo

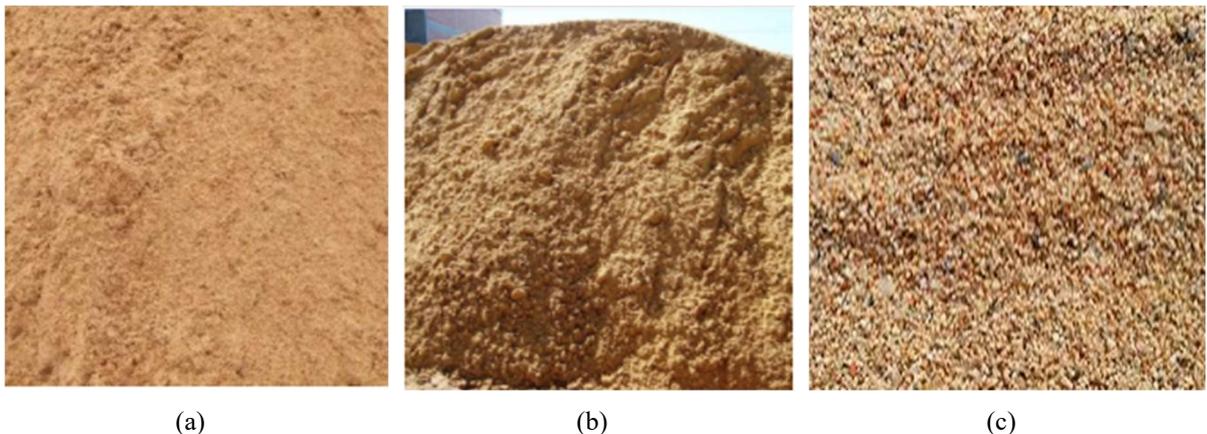
Agregados são insumos que no decorrer do desenvolvimento do concreto, eram incorporados à massa de cimento e água para dar uma maior consistência, tornando-a mais econômica. Atualmente eles correspondem a aproximadamente 80% do peso do concreto, assim estes materiais influenciam de forma positiva quanto a retração e a resistência deste, e suas características físicas conseguem definir os aspectos desejados do concreto (ALMEIDA; LUZ, 2009).

Um dos fatores mais importantes em relação ao concreto é sua resistência, que deve atender aos requisitos de durabilidade e vida útil da estrutura. Considerando que a peça em concreto será moldada, a sua consistência e a forma que será aplicada estão diretamente relacionadas à sua resistência, pois ela define os agregados apropriados a constituir a mistura que deve relacionar a trabalhabilidade a uma dosagem econômica (ALMEIDA; LUZ, 2009).

Para sua aplicação, assegurando uma relação de custo-benefício, os agregados necessitam possuir uma curva granulométrica diversificada, devem ainda ser providos de jazidas próximas a região da dosagem, promovendo a regionalização nas classes de pedras britadas, areias e seixos que são capazes de incorporar na formação do traço (ALMEIDA; LUZ, 2009).

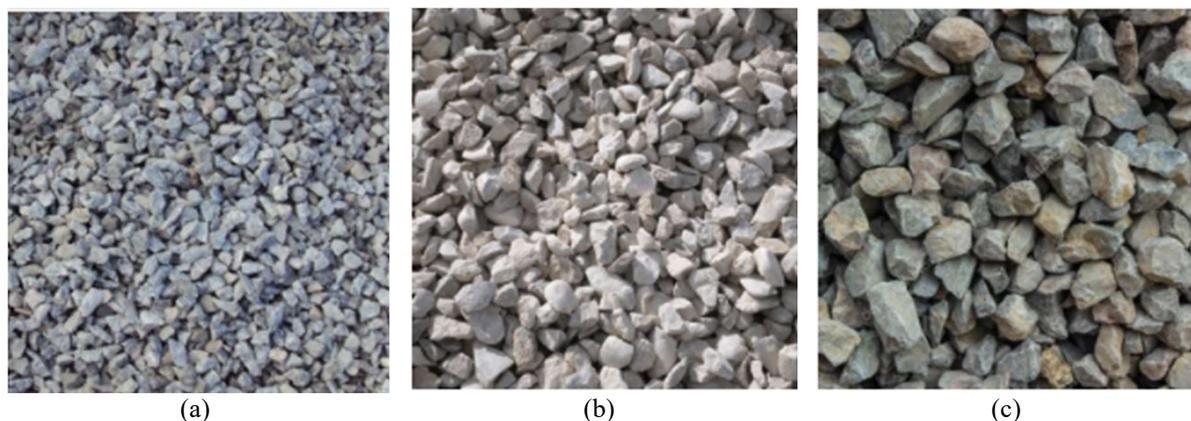
De acordo com sua granulometria, os agregados são classificados como miúdos (Figura 5) e graúdos (Figura 6). Considera-se como agregado graúdo aqueles que ficam retidos na peneira de número 4 (malha quadrada com 4,8 mm de lado), já o agregado miúdo é aquele que não fica retido na peneira de número 4 (ABNT NBR 7211:2019).

Figura 5 – Tipos de Agregados Miúdos: a) Areia Lavada; b) Areia Fina; c) Areia Grossa.



Fonte: Portal do Concreto, 2014.

Figura 6 – Tipos de Agregados Graúdos: a) Brita 0; b) Brita 1; c) Brita 2.



Fonte: Portal do concreto, 2014.

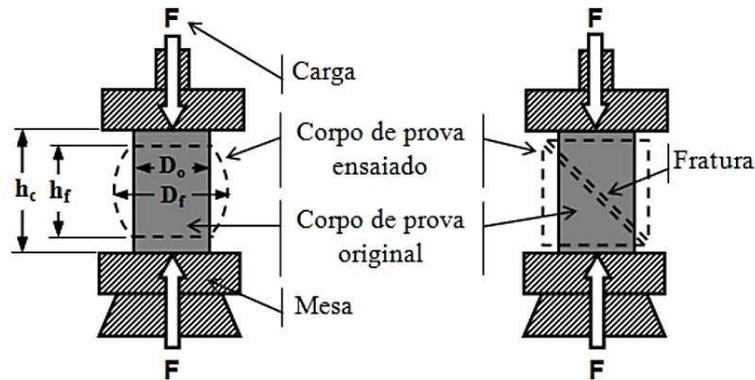
Os agregados podem ser classificados em artificiais e naturais, sendo os artificiais as areias e pedras provindos do britamento de rochas, pelo fato de necessitarem da atividade do homem para converter a espessura de seus grãos. Já os agregados naturais são areias extraídas de rios ou barrancos e os seixos (pedras do leito dos rios). Outro requisito importante para classificação de um agregado é sua massa específica aparente, sendo dividida em leves (argila expandida, pedra-pomes, vermiculita), normais (pedras britadas, areias, seixos) e pesados (hematita, magnetita, barita). Tendo em vista a importância dos agregados do concreto, são necessários diferentes ensaios para sua utilização, tais como: granulometria, massa específica real e aparente, módulo de finura, torrões de argila, impurezas orgânicas, materiais pulverulentos, etc (ALMEIDA; LUZ, 2009).

2.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O ensaio de resistência à compressão fundamenta-se em aplicar uma carga uniaxial de compressão em um corpo de prova (CP). Os resultados alcançados no ensaio resultam na associação, segundo a NBR 5739 (ABNT, 2018), entre a deformação linear, adquirida pelo deslocamento entre as placas que comprimem o corpo de prova, em função da carga compressiva aplicada a cada instante (Figura 7).

O ensaio é comumente realizado na construção civil para se analisar inúmeros materiais tais como: madeira, concreto armado, ferro fundido, de materiais cerâmicos e em geral para todos os metais. Ao se realizar o ensaio é importante se atentar a alguns fatores que dificultam sua utilização, como, possibilidade de flambagem, atrito na interface entre o corpo de prova (CP) a mesa e a dificuldade da medida dos valores numéricos. Assim para os materiais dúcteis, há apenas a possibilidade de obtenção do comportamento no regime elástico de deformações (ABNT NBR 5739:2018).

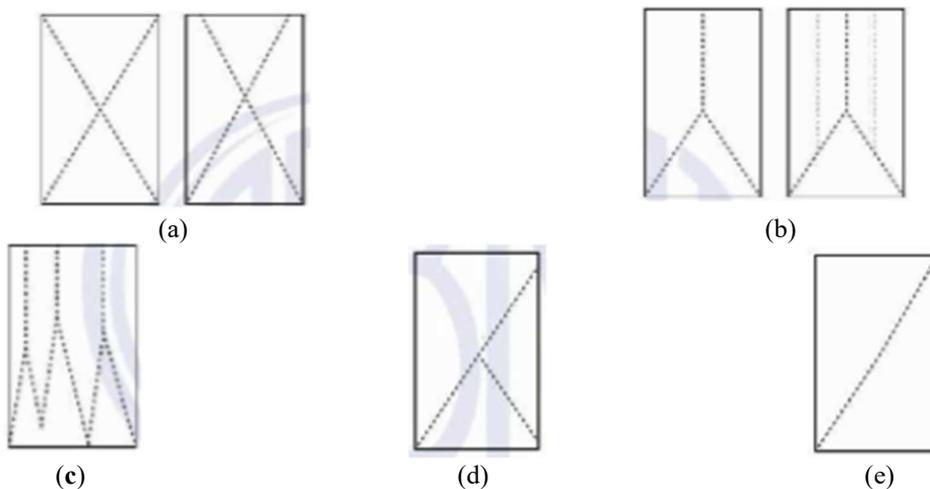
Figura 7 – Ensaio de resistência à compressão.



Fonte: Biopdi, 2014.

O ensaio de resistência à compressão analisa melhor o desempenho de materiais frágeis, particularmente quanto ao limite de resistência à compressão e a dilatação transversal e longitudinal durante o ensaio. A principal norma técnica que conduz o ensaio de compressão é a NBR 5739 (ABNT, 2018). De acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018), intitulada Concreto-Ensaio de Compressão de Corpos de prova, existem vários tipos de rupturas como: Tipo A – Cônica e cônica afastada em 25 mm do 9 capeamento; Tipo B – Cônica e bipartida e cônica com mais de uma partição; Tipo C – Coluna com formação de cones; Tipo D – Cônica e cisalhada; Tipo E – Cisalhada; Tipo F – Fraturas no Topo e/ou na base abaixo do capeamento; Tipo G – Similar ao tipo F – com fraturas próximas ao topo. Portanto, cada corpo de prova rompido tem um tipo de fissura a ser analisada, como exemplifica a Figura 8.1 e Figura 8.2.

Figura 8.1 – Tipos de Ruptura do Corpo de Prova: **a)** Tipo A – Cônica e cônica afastada em 25 mm do 9 capeamento; **b)** Tipo B – Cônica e bipartida e cônica com mais de uma partição; **c)** Tipo C – Coluna com formação de cones; **d)** Tipo D – Cônica e cisalhada; **e)** Tipo E – Cisalhada;



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5739:2018.

Figura 8.2 – Tipos de Ruptura do Corpo de Prova: **f)** Tipo F – Fraturas no Topo e/ou na base abaixo do capeamento; **g)** Tipo G – Similar ao tipo F – com fraturas próximas ao topo.



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5739:2018.

2.4 ENSAIO DE RUPTURA À COMPRESSÃO DO BLOCO DE CONCRETO

O ensaio de ruptura a compressão do bloco de concreto é especificado pela NBR 12118 (ABNT, 2013), que propõe “a relação de carga e área bruta do corpo de prova quando submetido ao ensaio de compressão axial”, portanto a norma qualifica a resistência da capacidade a qual a parede de alvenaria possa resistir as cargas e ações mecânicas da estrutura, tais como: vento, deformações e choques. A Figura 9 ilustra o referido ensaio.

Figura 9 – Teste de Compressão Sendo Realizado.



Fonte: Solução Engenharia, 2017.

De acordo com a NBR 6136 (ABNT, 2016) os blocos são componentes que comportam integralmente as forças mecânicas de uma estrutura, atuando diretamente por sua geometria, sua absorção de água e sua resistência à compressão. Quando o elemento estrutural absorve água, das chuvas por exemplo, mesmo assim este deve conseguir suportar os esforços necessários.

A NBR 12118 (ABNT, 2013) descreve os procedimentos a serem realizados a fim de realizar ensaios nesse tipo de bloco, tais como: análise dimensional, determinação da absorção de água, da área líquida, da resistência à compressão e da retração por secagem. A norma

apresenta a forma como deve ser feita a aplicação das cargas nos corpos de prova. A colocação do bloco na prensa hidráulica é de suma importância, pois a força à qual o bloco é submetido deve estar concentrada no ponto exato. Assim é necessário sobrepor uma carga uniforme, isto é, a carga deve variar progressivamente, e o corpo de prova deve estar alinhado ao eixo de gravidade da prensa hidráulica, para se obter os melhores resultados possíveis.

Para se ter um resultado preciso no ensaio de ruptura à compressão deve-se atentar, ainda, a norma ISO 7500-1: Materiais metálicos - calibração e verificação de máquinas de ensaio estático uniaxial - parte 1: máquinas de ensaio de tração/ compressão - calibração e verificação do sistema de medição da força. A referida norma estabelece as exigências necessárias para a prensa hidráulica para a realização do teste com exatidão, já que a prensa hidráulica é um mecanismo de força, tendo como função mensurar a quantidade de carga ou força a qual o elemento tende a padecer antes de sua ruptura.

2.5 ESCÓRIA DE FERRO NÍQUEL

A escória de ferro níquel é constituída pelo sistema de fusão do minério de níquel a partir de um forno elétrico trifásico, na qual os compostos não metálicos, especificamente SiO_2 , MgO e Fe_2O_3 são granulados em conjunto com a água (Anglo American, 2022). O processo de fusão do minério laterítico em ferro níquel calcinado corresponde a ação mais significativa do tratamento pirometalúrgico de óxidos minerais de níquel (SANTOS, 2013).

O minério é calcinado e incorporado no forno elétrico a arco produzindo uma enorme quantidade de escória. Sua formação consiste no momento de fusão caracterizado por um dos fatores de grande relevância, pois ele influencia no modo de operação do forno elétrico. A escória de ferro níquel atualmente não é muito utilizada na construção civil, ao contrário das escórias de aciaria e alto-forno, mesmo havendo estudos sobre sua utilização como agregado alternativo no concreto (RODRÍGUEZ; VILLAMIL, 2007). A Figura 10 apresenta um depósito de escória de ferro níquel localizado em Barro Alto, Goiás.

Mediante as características físicas e químicas da escória, quando aplicada como agregado, deve-se atentar as decisões do seu uso mediante sua composição e pelo seu manuseio. Desta maneira percebe-se a necessidade da utilização dos equipamentos de proteção individual (EPI), por questões de segurança pois suas partículas podem penetrar a pele e pelo risco de inalar o seu pó (NR 22).

Ferreira *et al.*, (2008) apontaram que grande parte do níquel gerado é consumido na produção de ligas ferrosas e não ferrosas. Seus aspectos físico-químicos possibilitam que ele transmita características consideráveis para as ligas em diversas finalidades. As características

que mais se destacam do níquel são: resistência a quente, correspondente ao seu elevado ponto de fusão; resistência a corrosão, devido a sua elevada dureza e tenacidade e elevada resistência elétrica (eletronegatividade baixa) proporcionando um elevado aquecimento no decorrer condução elétrica (SANTOS, 2013).

Figura 10 – Depósito de Escória de Ferro Níquel em Barro Alto (GO).



Fonte: Santos (2013).

Os efluentes de níquel provêm de origem residual ou magnética. As jazidas magmáticas também são conhecidas como sulfetadas e as jazidas residuais são formadas por elementos altamente modificados pelas interpores e dispõem como fonte as rochas ultrabásicas chamadas de lateríticas, geralmente encontradas na região dos trópicos (RICHTER, 2009).

Atualmente, o Brasil se classifica em sétimo lugar como produtor de níquel com cerca de 85000 toneladas extraídas no ano de 2008. A maior produtora é a Rússia com 19% do volume total, seguida pelo Canadá com 15%, Austrália com 11% e Indonésia com 9% (USGS/DNPM apud IBRAM, 2013).

2.6 MATERIAIS COMPÓSITOS

Classifica-se como material compósito um elemento composto por mais de um componente, sendo que os mesmos tenham propriedades químicas e físicas distintas. Assim os materiais compósitos se caracterizam por uma fase contínua (matriz) e a fase dispersa (reforço ou modificador), contínua ou não, de modo que a junção de dois ou mais materiais forneçam um componente com propriedades superiores dos constituintes individuais (FELTRE, 2008).

Partindo desse pensamento ao qual o material compósito se caracteriza pela junção de dois os mais elementos distintos, deve-se entender que os componentes deles continuem com suas propriedades específicas, porém, quando combinados entre si, apresentam um

comportamento divergente ao exposto por ambos separados. Um dos exemplos mais comuns de um compósito são a combinações de metais, polímeros e cerâmica (FELTRE, 2008).

A aplicação dos materiais compósitos se dá desde a antiguidade onde se utilizavam nas construções a junção de palha ao barro para se fazer tijolos (Figura 11), tornando o mesmo em um material com características físicas e químicas superiores aos deles. Na atualidade este pensamento é utilizado na construção civil, já que o concreto é um dos materiais mais aplicados nas construções, e ele é um material compósito pois é formado por mais de dois elementos que quando incorporados obtém um componente com novas propriedades (LUIZ, 2007).

Figura 11 – Parede Tijolos de Barro e Palha.



Fonte: Portal Virtuhab, 2013.

O material compósito também pode ser provido de forma natural, como o tecido ósseo dos vertebrados, formado por uma estrutura mineral tendo por base o cálcio e a junção de colágeno (FELTRE, 2008).

O compósito é caracterizado pelo tipo matriz e pelo tipo reforço, o tipo matriz é aquele ao qual se dispõem pela estrutura, ele é o elemento principal do compósito, já o tipo reforço é aquele que realça as características do compósito, potencializando as características físicas e químicas do material. Assim a matriz completa os espaços vagos entre os materiais do tipo reforços, ampliando a resistência do material através da transferência de tensões, enquanto o material reforço garante as propriedades do material compósito (FELTRE, 2008).

Os compósitos matrizes são os metais, os polímeros e as cerâmicas, dentre outros, já os materiais compósitos de reforço podem ser as fibras (de vidro, carbono, orgânicas, silício dentre outras) bem como a madeira o grafite e vários outros minerais (LUIZ, 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Foram confeccionados blocos de concreto, com dimensões de 14x19x39 cm de mesmo traço, com a substituição total e parcial da areia natural pela escória de ferro níquel. As amostras foram submetidas à ensaios de resistência à compressão para que os resultados fossem comparados e analisados quanto a sua viabilidade. Tal substituição foi feita de forma gradual nas porcentagens 0%, 25%, 50%, 75% e 100% do volume do agregado miúdo convencional pelo material alternativo.

O procedimento experimental foi realizado conforme as etapas apresentadas no Quadro 2. É importante salientar que todas as etapas foram executadas conforme especificações de suas respectivas normas técnicas. Todos os ensaios laboratoriais foram realizados no laboratório de Materiais de Construção Civil da Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG e no laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA, localizada na cidade de Anápolis, utilizando os equipamentos disponíveis.

O Quadro 2 apresenta o planejamento das etapas metodológicas realizadas.

Quadro 2 – Planejamento dos Ensaios.

Etapas	Dados Obtidos
Caracterização dos Agregados	- Massa Específica; - Composição Granulométrica; - Teor de Material Pulverulento; - Massa Unitária; - Volume de Vazios.
Caracterização do Cimento (Fabricante)	- Massa específica.
Ensaio do Bloco de concreto pré-moldado	- Amostragem das peças; - Inspeção Visual; - Análise Dimensional; - Absorção de água; - Resistência à compressão.
Análise de Viabilidade	- Análise de viabilidade econômica.

Fonte: Própria autoria, 2022.

3.2 MATERIAIS

3.2.1 Cimento

O cimento utilizado no ensaio foi o CP II-F-32 (Figura 12), da marca Tocantins, escolhido por ser comumente utilizado no mercado quando não se exige o uso de cimentos

especiais. A massa específica para o cimento (ρ_c) é indicado em normativa específica para cada tipo de cimento. De acordo com a NBR 16605 (ABNT, 2017), a massa específica para este tipo de cimento varia de $3,00 \text{ kg/dm}^3$ e $3,02 \text{ kg/dm}^3$.

Figura 12 – Cimento CP II-F-32.



Fonte: Própria autoria, 2022.

3.2.2 Agregado miúdo

Para realização dos ensaios, a areia utilizada (Figura 13 – a) foi de origem da rocha de granito extraída na região do entorno da cidade de Goianésia – GO. O outro agregado miúdo utilizado neste trabalho foi a escória de ferro níquel (Figura 13 – b), que foi disponibilizada pela indústria de minério Anglo American, localizada no município de Barro Alto – GO, ela foi coletada diretamente no pátio da indústria.

Figura 13 – Agregados Miúdos Utilizados: a) Areia; b) Escória de Ferro níquel.



(a)



(b)

Fonte: Própria autoria, 2022.

O agregado miúdo utilizado foi uma mistura, em proporção, da areia natural e escória de ferro níquel. A Tabela 5 apresenta as proporções de ambos os materiais presentes em cada traço produzido.

Tabela 5 – Proporções em volume de Areia e Escória por Traço.

Traço	Areia Natural (%)	Escória de ferro níquel (%)
T0	100	0
T1	75	25
T2	50	50
T3	25	75
T4	0	100

Fonte: Própria autoria, 2022.

As amostras ensaiadas foram misturadas por meio do quarteamento, conforme especificado pela NBR 16915 (ABNT, 2021) e armazenadas individualmente. Posteriormente, foram feitos ensaios para determinar algumas propriedades relativas ao material, como a composição granulométrica, teor de material pulverulento, massa unitária, volume de vazios e massa específica.

3.2.3 Agregado Graúdo

Para a realização dos procedimentos experimentais deste trabalho foi utilizada a brita 0 que é apresentada na Figura 14. Esta foi extraída do granito na região de Goianésia – GO.

Figura 14 – Agregado Graúdo: Brita 0.

Fonte: Própria autoria, 2022.

3.2.4 Água

É recomendado que seja empregada a água destilada com pH neutro nos ensaios de concreto a fim de evitar que as reações do cimento sejam influenciadas. No entanto, em obras a água utilizada é a água de abastecimento fornecida pela concessionária da região (Figura 15). Sendo assim, neste trabalho, a fim de seguir o padrão usado em campo, utilizou-se a água fornecida pela empresa de saneamento Saneago.

Figura 15 – Água Potável Utilizada na Fabricação do Concreto.



Fonte: Própria autoria, 2022.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.3.1 Massa específica

3.3.1.1 Massa específica de agregado miúdo – areia

Para conhecer o valor referente à massa específica, foi utilizado o frasco Chapman, afim de determinar a relação entre a massa seca do agregado e seu volume. O procedimento consistiu em colocar 200 cm³ de água no frasco e, em seguida, acrescentar 500 g do agregado seco. Feito isso, o frasco foi agitado, com movimentos circulares, para eliminar as bolhas de ar, e verificado a leitura do nível atingido pela água no gargalo do frasco, o qual indica o volume, em cm³, ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo. O ensaio foi realizado com amostras de 100% de areia natural e com a escória de ferro níquel. A Figura 16 – a mostra o frasco Chapman após realizado o procedimento com a escória de ferro níquel e a Figura 16 – b com a areia natural.

Figura 16 – Frasco Chapman: a) com escória; b) com areia natural



(a)



(b)

Fonte: Própria autoria, 2022.

Após a realização dos procedimentos descritos nos parágrafos anteriores, a massa específica foi então calculada utilizando Equação 1.

$$\mu = \frac{500}{L - 200} \quad (1)$$

Onde:

μ = massa específica do agregado miúdo, em g/cm³;

L = leitura final do frasco;

A leitura final do frasco de Chapman da areia e da escória foi respectivamente de 390 mm e 360 mm substituindo os valores na Equação 1 obtém-se os resultados apresentados nas Equações 2 e 3 para a areia e a escória, respectivamente.

Massa específica da areia:

$$\mu_a = \frac{500}{390 - 200} = 2,63 \text{ g/cm}^3 \quad (2)$$

Massa específica da escória:

$$\mu_a = \frac{500}{360 - 200} = 3,125 \text{ g/cm}^3 \quad (3)$$

3.3.1.2 Massa específica de agregado graúdo – Brita 0

Para que o procedimento com o agregado graúdo, ou seja, a Brita 0, fosse realizado, utilizou-se 3kg do material (Figura 17 – a), que passou pelo processo de lavagem, utilizando uma peneira com malha de 4,75mm, em água corrente. Em seguida, o material foi despejado em uma bandeja com água, onde permaneceu submerso durante 24h.

Conforme mostra a Figura 17 – b, após o tempo mencionado, toda a água da bandeja foi descartada, para tanto, utilizou-se uma peneira como suporte (Figura 17 – c), o material passou, em seguida, pelo processo de secagem com panos, conforme apresenta a Figura 17 – d. A brita foi então pesada a fim de determinar a massa da amostra na condição saturada superfície seca (Figura 17 – e), e colocada em um cesto de arame que foi submerso em água, o que foi feito para a determinação da massa da amostra submersa em água.

Após a realização do procedimento descrito acima, o agregado graúdo foi levado para a estufa (Figura 17 – f), onde permaneceu por um tempo de 24h e logo após, foi pesado para a obtenção da massa de amostra seca em estufa.

Figura 17 – Ensaio da Massa Específica de Agregado Graúdo: a) Pesagem da amostra; b) Lavagem da brita; c) escoamento da água; d) secagem; e) brita saturada; f) secagem em estufa.



Fonte: Própria autoria, 2022

Para a determinação da massa específica da brita 0, na condição seca, foi utilizada a Equação 4, apresentada na NBR 16917 (ABNT 2021).

$$\rho_s = \frac{m_A}{m_B - m_C} \quad (4)$$

Onde:

ρ_s é a densidade do agregado na condição seca, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3);

m_A é a massa da amostra seca em estufa a $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, expressa em gramas (g);

m_B é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, expressa em gramas (g);

m_C é a massa da amostra submersa em água na condição saturada superfície seca, expressa em gramas (g).

Após a execução do ensaio obteve-se os resultados que são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Valos obtidos da pesagem da brita 0.

	m_a	m_b	m_c
Valores (g)	2951,5	2948,3	1897,2

Fonte: Própria autoria, 2022

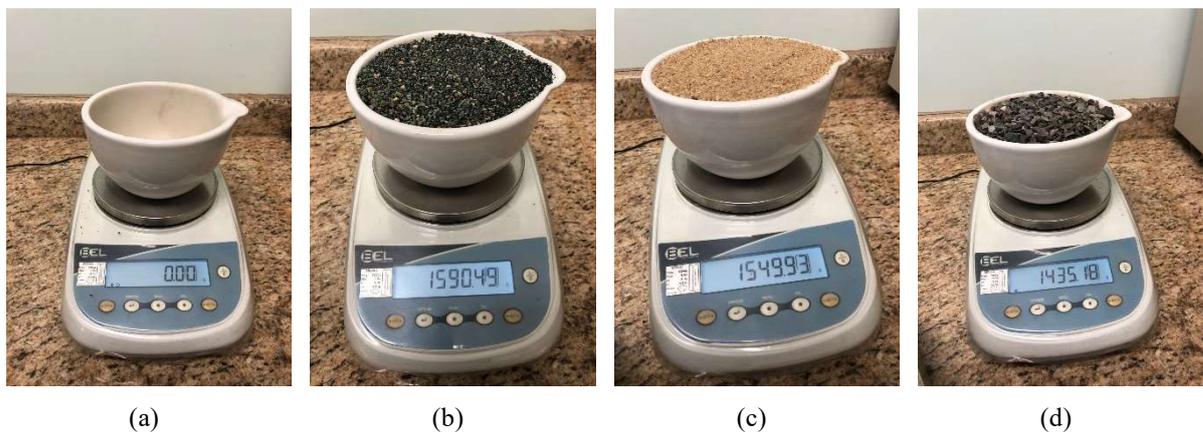
Utilizando os valores da Tabela 6 na Equação 4 obteve-se a massa específica da brita 0 que é apresentada na Equação 5:

$$\rho_s = \frac{2951,5}{2948,3 - 1897,2} = 2,827 \text{ g/cm}^3 \quad (5)$$

3.3.1.3 Massa unitária e volume de vazios

Para determinar a massa unitária e o volume de vazios, o ensaio foi executado conforme descrito na NBR 16972 - Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios (ABNT, 2021). Para a execução, foi utilizado os seguintes materiais, prescritos na norma: balança, com resolução de 50 g; haste de adensamento; recipiente; concha; estufa. O material utilizado estava no estado solto, portanto, empregou-se o método C da norma, a fim de converter a unidade de massa para unidade de volume e determinar o índice de vazios. Sendo assim, após secar a amostra até que ficasse com a massa constante, em uma estufa mantida a 105 °C, foi determinado a massa do recipiente vazio, e preenchido seu interior com a amostra até transbordar, evitando que os agregados se segreguem. Após nivelar a camada superficial, deixando-a rente à borda superior do recipiente, o conteúdo foi pesado a fim de se determinar a massa do recipiente e amostra. O recipiente utilizado, ilustrado na Figura 18 - a, possui 1 dm³ de volume. As Figuras 18 - b, 18 - c e 18 - d mostram o peso total das três amostras representando respectivamente a escória, areia natural e brita 0.

Figura 18 – Ensaio de massa unitária: a) Recipiente com 1dm³ de volume; b) Ensaio de massa unitária em escória; c) Ensaio de massa unitária em areia natural; d) Ensaio de massa unitária em Brita 0



Fonte: Própria autoria, 2022.

Após a execução dos passos descritos, determinou-se a massa unitária a partir da Equação 6.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (6)$$

Onde:

ρ_{ap} é a massa unitária do agregado, em kg/m^3 ;

m_{ar} é a massa do recipiente com o agregado, em kg;

m_r é a massa do recipiente vazio, em kg;

V é o volume do recipiente, em m^3 .

Assim, para este ensaio o recipiente tem o volume de 1 dm^3 e pesa $1516,68\text{ g}$, o peso total (recipiente + material) da areia, escória e brita são respectivamente de $3066,61\text{g}$; $3107,17\text{g}$; $2951,86\text{g}$. Substituindo os valores na Equação 6 obteve-se a massa unitária de cada material, que estão apresentados nas Equações 7, 8 e 9.

Massa unitária da areia:

$$\rho_a = \frac{3066,61 - 1516,68}{0,001} = 1549,9\text{ kg/m}^3 \quad (7)$$

Massa unitária da escória:

$$\rho_e = \frac{3107,17 - 1516,68}{0,001} = 1590,49\text{ kg/m}^3 \quad (8)$$

Massa unitária da brita:

$$\rho_b = \frac{2951,86 - 1516,68}{0,001} = 1435,18\text{ kg/m}^3 \quad (9)$$

O índice de vazios foi determinado utilizando a massa unitária, a partir da Equação 10.

$$E_v = \frac{100 * [(d_1 * \rho_w) - \rho_{ap}]}{d_1 * \rho_w} \quad (10)$$

Onde:

E_v é o índice de volume de vazios nos agregados, em percentagem;

d_1 é a massa específica do agregado;

ρ_w é a massa específica de água, em kg/m^3 ;

ρ_{ap} é a massa unitária média do agregado, em kg/m^3 ;

Para o volume de vazios, foi utilizado a Equação 10 e os valores de massa específica encontrados no tópico 3.3.1.1 e no 3.3.1.2 obtendo os seguintes resultados expressados na Equação 11, 12 e 13:

Índice de volume de vazios da areia natural em percentagem:

$$E_{va} = \frac{100 * [(2,63 * 1000) - 1549,9]}{2,63 * 1000} = 41,07\% \quad (11)$$

Índice de volume de vazios da escória em percentagem:

$$E_{ve} = \frac{100 * [(3,125 * 1000) - 1590,49]}{3,125 * 1000} = 49,10\% \quad (12)$$

Índice de volume de vazios da brita 0 em porcentagem:

$$E_{vb} = \frac{100 * [(2,827 * 1000) - 1435,18]}{2,827 * 1000} = 49,23\% \quad (13)$$

3.3.2 Composição granulométrica

3.3.2.1 Granulometria do agregado miúdo – Escória e areia

A composição granulométrica foi determinada para cada traço, com o intuito de observar se a granulometria do agregado 100% natural seria afetada após a sua substituição. A realização do ensaio baseou-se na NBR NM 248 (ABNT, 2003) intitulada: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Conforme estabelecido pela norma, foram tomadas duas amostras de 1000 g cada, para cada caso, obtendo a composição do agregado diante ao tamanho dos grãos constituintes. A partir desses resultados, foi possível determinar o módulo de finura e o diâmetro máximo para cada curva. Para a execução, foram utilizados os seguintes equipamentos, disponibilizados no laboratório da FACEG: balança, estufa, peneiras e bandejas. Assim, as amostras foram secadas em estufa com temperatura de 105 °C durante 24 horas, conforme ilustrado na Figura 19 e resfriadas em temperatura ambiente, para determinação das massas m_1 e m_2 .

Figura 19 – Estufa com Areia Natural e Escória.



Fonte: Própria autoria, 2022.

Com as peneiras limpas e encaixadas com abertura da malha em ordem crescente da base para o topo, e com o fundo encaixado na base, a amostra de massa m_1 foi colocada na

peneira superior e agitada. A Figura 20 mostra as peneiras montadas, prontas para a execução do ensaio. O material retido foi reservado, e o procedimento se repetiu para as demais malhas.

Figura 20 – Peneiras Montadas para Ensaio de Agregado Miúdo.



Fonte: Própria autoria, 2022.

Feito isso, a massa de material retido em cada peneira e no fundo foram determinadas, bem como a porcentagem média, retida e acumulada. Também foi calculado o módulo de finura, a partir da Equação 14.

$$Mf = \frac{\sum \% \text{ Retida Acumulada}}{100} \quad (14)$$

Onde:

Mf é o Módulo de Finura;

$\sum \% \text{ Retida Acumulada}$ é o somatório do agregado retido acumulado em porcentagem em cada peneira.

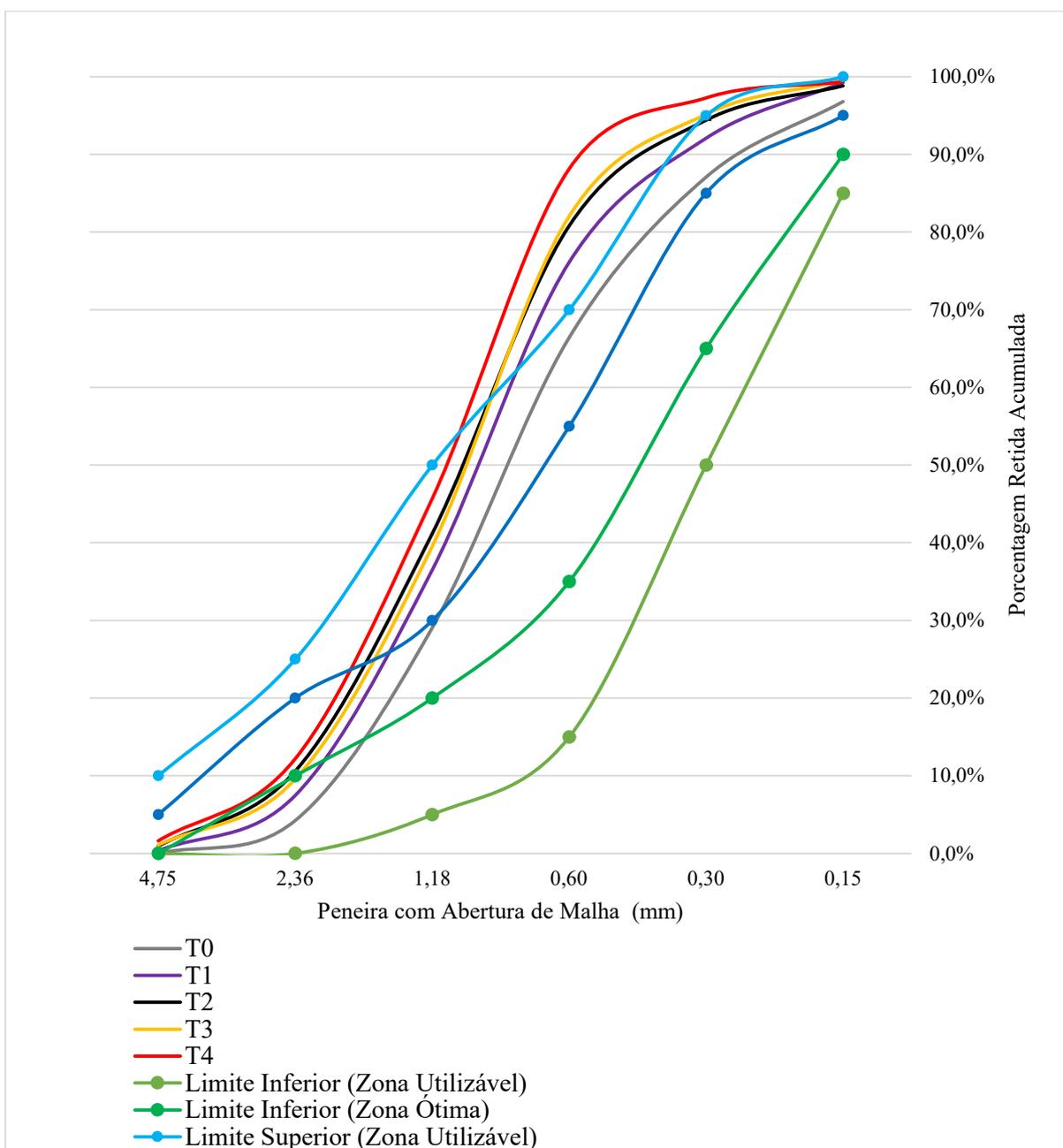
Para definir, a dimensão máxima característica do agregado, uma grandeza correspondente a abertura nominal, em milímetros, da malha em que o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou menos que 5%, também foi determinada. Após ser realizado todo o processo estabelecido ABNT NBR 16972/2021, obteve-se os valores retidos em cada peneira, os quais estão expressos na Tabela 7. A partir desses dados, as curvas granulométricas foram elaboradas (Gráfico 1).

A Tabela 8 resume informações sobre os limites utilizáveis recomendados pela NBR 7211 (ABNT, 2019) a qual foi aplicada para analisar as dimensões dos grãos e se os traços estariam dentro dos limites estabelecidos pela norma.

Tabela 7 – Dados Processo Estabelecido pela Norma do Agregado Miúdo.

Traço	Porcentagem retida acumulada (%)						
	Peneira com abertura de malha (mm)						
	0,15	0,3	0,6	1,18	2,36	4,75	TOTAL
T0	96,80	87,09	66,45	29,05	4,24	0,00	100,00
T1	99,30	92,08	76,15	36,49	7,48	0,36	100,00
T2	98,85	94,43	80,82	41,21	10,62	0,93	100,00
T3	99,54	95,19	82,07	39,56	9,60	1,1	100,00
T4	99,37	97,29	88,16	45,71	12,20	1,64	100,00

Fonte: Própria autoria, 2022.

Gráfico 1– Granulometria do Agregado Miúdo.

Fonte: Própria autoria, 2022.

Tabela 8 – Limites Recomendados do Agregado Miúdo Segundo a NBR 7211/2019.

Limites	Porcentagem Retida Acumulada (%)						Total
	Peneira com Abertura de Malha (mm)						
	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	
Limite Inferior							
Zona Utilizável	0	0	5	15	50	85	100
Zona Ótima	0	10	20	35	65	90	100
Limite Superior							
Zona Utilizável	10	25	50	70	95	100	100
Zona Ótima	5	20	30	55	85	95	100

Fonte: Própria autoria, 2022.

3.3.2.2 Granulometria do agregado graúdo – Brita 0

Para o procedimento de determinação da granulometria da brita 0, utilizou-se a NBR NM 248 (ABNT, 2003). Para dar início ao ensaio, foram pesados 5kg de brita 0, material esse que, em seguida, foi colocado na pilha de peneiras, apresentadas na Figura 21, e agitado por 5 minutos. Finalizado o tempo de peneiramento, as massas retidas de cada peneira foram pesadas e anotadas. Este processo foi realizado 3 vezes.

Figura 21 – Peneiras Montadas para Ensaio de Agregado Graúdo.

Fonte: Própria autoria, 2022.

Para construção do gráfico de granulometria da brita 0, foi utilizado a Tabela 9, que estabelece os limites recomendados pela NBR 7211 (ABNT, 2019). Os valores retidos nas peneiras estão expressos na Tabela 10. Após todo o procedimento, construiu-se a curva granulométrica para este agregado, que é apresentada no Gráfico 2.

Tabela 9 – Limites Recomendados do Agregado Graúdo Segundo a NBR 7211/2019.

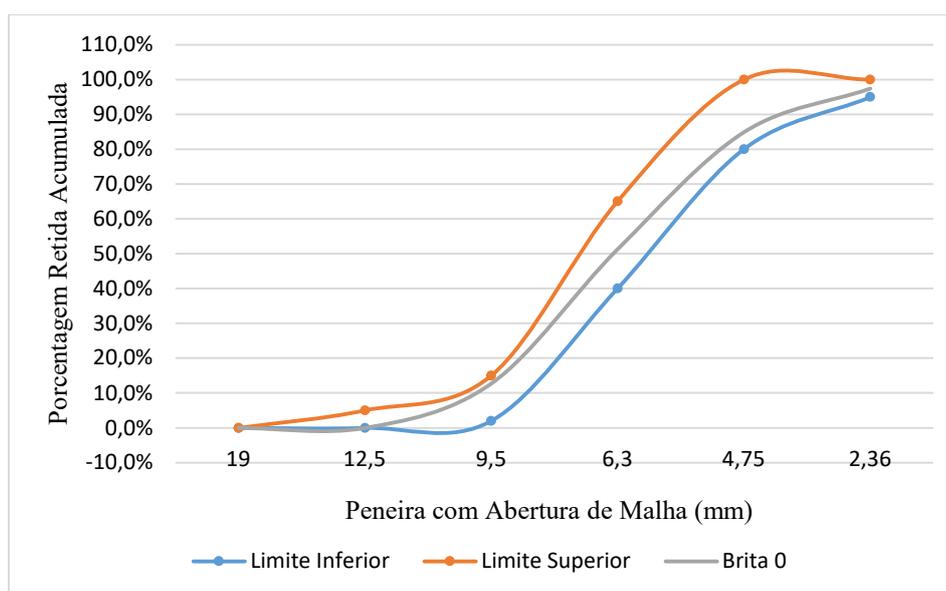
Limites	Porcentagem Retida Acumulada (%)						
	Peneira com Abertura de Malha (mm)						
	19	12,5	9,5	6,3	4,75	2,36	Total
Limite Inferior	0	0	2	40	80	95	100
Limite Superior	0	5	15	65	100	100	100

Fonte: Própria autoria, 2022.

Tabela 10 – Dados Processo Estabelecido pela Norma do Agregado Graúdo.

Peneiras (mm)	Massa Retida (g)	Massa Retida (%)	Massa Retida Acumulada (g)	%Massa Retida acumulada
19	0	0,00%	0	0,00%
12,5	0	0,00%	0	0,00%
9,5	637,6	12,75%	637,6	12,75%
6,3	1923,07	38,47%	2560,67	51,22%
4,75	1681,48	33,64%	4242,15	84,86%
2,36	630,3	12,61%	4872,45	97,47%
Fundo	126,7	2,53%	4999,15	100,00%

Fonte: Própria autoria, 2022.

Gráfico 2 – Granulometria do Agregado Graúdo

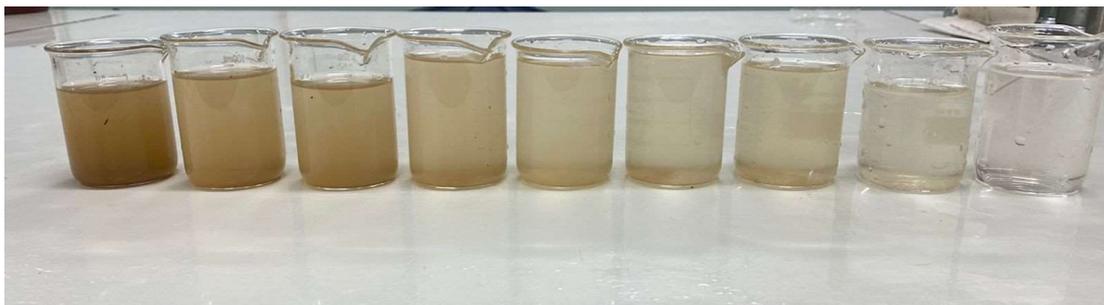
Fonte: Própria autoria, 2022.

3.3.3 Teor de material pulverulento

A fim de determinar a porcentagem de material fino, menor que 0,075 mm que contém no agregado, esse ensaio foi executado, de acordo com a NBR 16973 (ABNT, 2021) intitulada: Agregado – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm por lavagem. Primeiramente, a amostra, contendo 500 g de agregado, passou pelo processo de secagem em estufa até obter massa constante, à temperatura de 105 °C e, após isso, sua massa foi determinada. Logo após, colocou-se a amostra em um recipiente, no qual a mesma foi coberta

com água e agitada vigorosamente até que as partículas menores que 0,075 mm se separassem das maiores, e o material fino ficasse em suspensão. Em seguida, a água de lavagem com as partículas suspensas e dissolvidas foi vertida sobre a peneira. O procedimento foi repetido até que a água da lavagem ficasse límpida. A Figura 22 mostra amostras da água de lavagem da areia natural, enquanto a Figura 23 diz respeito à escória de ferro níquel.

Figura 22 – Amostras da Água de Lavagem da Areia Natural.



Fonte: Própria autoria, 2022.

Figura 23 – Amostras da Água de Lavagem da Escória.



Fonte: Própria autoria, 2022.

Logo após, o material retido nas peneiras foi retomado com um fluxo contínuo de água, sobre a amostra lavada, e então, voltou para a estufa à 105 °C, para passar novamente pelo processo de secagem por 24 horas, até que sua massa permanecesse constante. A quantidade de material pulverulento foi obtida através da Equação 15.

$$m = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (15)$$

Onde:

m é a porcentagem de material mais fino que passa na peneira de 75 μm por lavagem;

m_i é a massa original da amostra seca, em g;

m_f é a massa da amostra seca após a lavagem, em g.

O ensaio foi realizado com amostras de 100% de areia natural e com 100% da escória de ferro níquel.

Após todo o processo, a amostra de areia foi pesada e obteve-se o valor de 479,96 g, a de escória, por sua vez, pesou 494,96 g, utilizando a Equação 15 obteve-se as porcentagens de

material pulverulento, que são apresentadas nas Equações 16 e 17 para a areia e para a escória, respectivamente.

$$ma = \frac{500 - 479,96}{500} \times 100 = 4,008 \% \quad (16)$$

$$me = \frac{500 - 494,46}{500} \times 100 = 1,108 \% \quad (17)$$

Ao analisar os resultados constatou-se que estes estão de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2019), que estabelece que as porcentagens de material pulverulento presentes estejam entre 3% a 5%.

3.4 DEFINIÇÃO DO TRAÇO

O traço padrão usado para a fabricação dos corpos de prova de bloco de concreto (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo: relação água cimento) foi de (1:3:3:0,55) em volume com abatimento de 60±40 mm (dados cedidos pela empresa de Pré-moldados de Goianésia), que auxiliou no processo de confecção dos blocos de concreto pré-moldados.

A substituição gradual da areia natural pela escória de ferro níquel é apresentada na Tabela 11, com a combinação dos dois agregados miúdos definida, tendo como traço de referência o denominado T0.

Tabela 11 – Substituição Gradual da Areia Natural pela Escória de Ferro Níquel.

Traço	Componentes
T0	100% areia natural + 0% Escória
T1	75% Areia Natural + 25% Escória
T2	50% Areia Natural + 50% Escória
T3	25% Areia Natural + 75% Escória
T4	0% Areia Natural + 100% Escória

Fonte: Própria autoria, 2022.

3.5 FABRICAÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADOS

Durante o processo de fabricação do concreto utilizado na fabricação dos blocos, foram adicionados no misturador orbital os agregados (graúdo e miúdo), o cimento e metade da quantidade de água, para início do processo de homogeneização, que durou cerca de 3 minutos, depois foi adicionado o restante de água na mistura, conforme mostra a Figura 24 – a. Após toda a homogeneização do material, a comporta do misturador orbital foi então aberta e o concreto transportado por uma esteira até o armazenador da máquina industrial de vibração e compactação, para a moldagem dos blocos de concreto, o que pode ser visualizado pela Figura 24 – b.

Figura 24 – Preparação do Concreto: a) Misturador orbital utilizado; b) Esteira utilizada no transporte do material.



Fonte: Própria autoria, 2022.

O material produzido foi então inserido no compartimento cimentício da máquina a qual realizou seu transporte para as fôrmas com dimensões de 14 x 19 x 39 cm em movimentação de vibração. O processo de vibração foi realizado três vezes até que as formas, estivessem preenchidas com a quantidade ideal de concreto para que a prensagem fosse realizada nas bases de madeira, conforme mostra a Figura 25.

Figura 25 – Preenchimento da Fôrma com Concreto.



Fonte: Própria autoria, 2022.

Assim que foi realizado o processo de prensagem (Figura 26 – a), o bloco foi retirado da fôrma e transportado pela esteira até a grade de retirada, o material foi então colocado na

estrutura de carga (Figura 26 – b), necessária para que o transporte do material seja realizado com o auxílio de carrinhos de mão, conforme mostra a Figura 26 - c.

Figura 26 – Prensagem e Carregamento do Bloco de Concreto: a) Prensagem do Bloco; b) Local de carga; c) Transporte.



(a)

Fonte: Própria autoria, 2022.



(b)



(c)

Após duas horas com os blocos de concreto no local de cura, foi realizada a correção do topo dos blocos, de modo a permitir um melhor acabamento dos mesmos. Nesta etapa, o excesso de material foi removido com o auxílio de uma régua deixando a parte superior uniforme. Após a realização do acabamento, os blocos foram identificados com tinta de cor vermelha (Figura 27), de acordo com o traço ao qual pertencem.

Figura 27 – Marcação do Bloco.



Fonte: Própria autoria, 2022.

3.6 ENSAIOS DO BLOCO DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO

3.6.1 Amostragem das peças de concreto

Com base nos critérios da NBR 6136 (ABNT, 2016) e adaptações para a pesquisa, foram confeccionados 12 corpos de prova para cada traço (4 para a compressão na idade de 7 dias, 4 para a compressão na idade de 28 dias, 4 para o ensaio de absorção) para a realização dos ensaios. Totalizando 48 corpos de prova que foram ensaiados no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG.

3.6.2 Inspeção Visual

A inspeção visual foi realizada de modo a averiguar se os blocos apresentavam possíveis defeitos que pudessem prejudicar o assentamento, o desempenho estrutural ou a estética da construção. A norma utilizada para a realização dessa etapa foi a NBR 6136 (ABNT, 2016) que determina que as peças devem possuir “aspecto homogêneo, arestas regulares, ângulos retos e devem ser livres de rebarbas, defeitos, de laminação e descamação”. A mesma norma admite pequenas variações de coloração conforme informado no lote pela fornecedora. Seguindo o especificado, as peças foram todas inspecionadas, tendo suas características anotadas em planilha, o ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG.

3.6.3 Avaliação dimensional

A verificação das dimensões foi feita conforme as orientações da NBR 6136 (ABNT, 2016), obedecendo-se o critério de precisão e anotando as não conformidades. Essa avaliação foi realizada com o auxílio de uma trena métrica, o ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG.

3.6.4 Absorção de água

Para a realização deste ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG, a qual se submeteu o corpo de prova a estufa com temperatura entre 105 °C a 110 °C por 24 horas para se obter a massa seca do mesmo. Após esse processo, seguindo as orientações da NBR 12118 (ABNT, 2013), os corpos de prova foram imersos em água durante 24 horas. Logo após, eles foram pesados individualmente através de uma tela metálica por 1 minuto removendo a água superficial com

um pano. O processo foi repetido a cada 2 horas até que não se observou, para qualquer corpo de prova, diferença de massa superior a 0,5% em relação ao valor anterior. A absorção do corpo de prova foi então calculada pela Equação 18.

$$A = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1} \right) \times 100 \quad (18)$$

Onde:

A = absorção de cada corpo de prova, expressa em porcentagem (%);

m_1 = massa do corpo de prova seco, expressa em gramas (g);

m_2 = massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

3.6.5 Resistência a compressão do bloco de concreto

Foram analisados, a partir de testes de resistência à compressão, os efeitos mecânicos suportados pelos blocos de concreto, para verificar se eles estão dentro dos parâmetros estabelecidos pela NBR 6136 (ABNT, 2016).

Há vários tipos, tamanhos e resistência de blocos de concreto no mercado. De acordo com pesquisas em campo, o bloco M15 (14x19x39cm) é o mais utilizado e vem sendo opção para obras em andamento. Por isso, foi utilizado como base este bloco para o ensaio à compressão, atendendo a NBR 12118 (ABNT, 2013): Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – métodos de ensaio, que estabelece todos os parâmetros e etapas do processo.

A primeira etapa do processo de testes e ensaios foi analisar os blocos constituídos por escória de ferro níquel, nos determinados traços estabelecidos. O segundo passo foi estabelecer a quantidade de corpos de prova, que está definida no item 6.5.1, da NBR 6136 (ABNT, 2016) que determina esta quantia de testes.

A terceira etapa é a regularização dos corpos de prova em que, conforme a NBR 12118 (ABNT, 2013) “todos os corpos de prova devem ser ensaiados de modo que a carga seja aplicada na direção do esforço que o bloco deve suportar”. Dessa forma, as faces foram lixadas e o excesso de concreto removido, deixando o bloco regularizado para receber a carga uniformemente distribuída em todos os pontos, não concentrada em apenas um local.

Para a realização do ensaio compressivo, utilizou-se a prensa hidráulica. Para tanto, o corpo de prova foi posicionado no equipamento e foram aplicadas as forças em direção ao eixo do bloco para rompê-lo, ou seja, determinar a carga máxima suportada pelo bloco de concreto.

Com base nos valores obtidos por intermédio do ensaio, calculou-se a tensão máxima suportada pelo bloco de concreto estrutural, conforme estipulado pela NBR 12118 (ABNT,

2013), pela Equação 19, obtendo os valores na unidade de megapascal (MPa). Para aplicação desta equação, foi necessário determinar a área bruta do bloco, não descontando os valores dos furos do mesmo. A área foi determinada multiplicando-se da largura do bloco pelo seu comprimento em milímetros (mm), o que resulta em um valor em milímetros quadrados (mm²).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (19)$$

Onde:

σ = Tensão (MPa);

F = Força (N);

A = Área (mm²).

Após a obtenção do valor em MPa dos blocos ensaiados, verificou-se se esses elementos obedecem às condições mínimas que a NBR 6136 (ABNT, 2016) estipula para o uso de blocos de concreto e a qual classe estes pertencem, o ensaio foi realizado no laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA.

3.7 VIABILIDADE ECONÔMICA

Para verificar se a utilização da escória de ferro níquel é viável financeiramente, realizou-se uma cotação do metro cúbico de cada agregado, sendo a areia natural cotada com alguns fornecedores da região de Goianésia e a escória de ferro níquel cotada na mineradora Anglo American no município de Barro Alto – Goiás.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta sessão apresenta os resultados da pesquisa de acordo com as etapas apresentadas no capítulo 3. Apresenta-se, dessa forma, a amostragem e inspeção das peças, a avaliação dimensional, o teste de absorção de água e resistência a compressão e, por fim, a viabilidade econômica do projeto.

4.1 AMOSTRAGEM E INSPEÇÃO VISUAL DOS BLOCOS DE CONCRETO

A NBR 6136 (ABNT, 2016), utilizada para a realização da análise, estipula que sejam inspecionados 4 corpos de prova a cada mil blocos fabricados. No entanto, neste trabalho, todos os blocos passaram pela avaliação. Conforme estabelecido pela norma, observou-se que todas as peças avaliadas, de todos os traços, apresentaram bom acabamento visual, aspecto homogêneo, arestas regulares e ângulos retos, com poucos desvios. Não apresentaram rebarbas, defeitos, delaminação e descamação. Mesmo com o transporte dos blocos, da fábrica de pré-moldados até o laboratório da FACEG, ambos localizados em Goianésia – GO, não houve o surgimento de nenhum defeito. A Figura 28 mostra os blocos após o transporte.

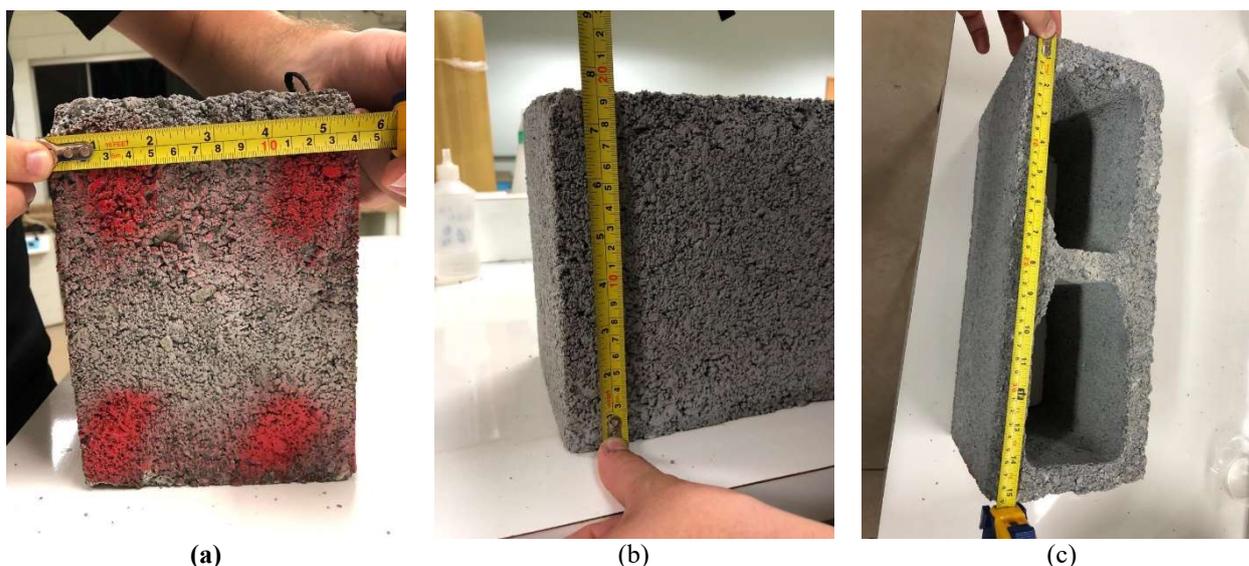
Figura 28 – Transporte dos Blocos.



Fonte: Própria autoria, 2022.

4.2 AVALIAÇÃO DIMENSIONAL

As medidas reais dos blocos foram coletadas com o auxílio de uma trena metálica. As dimensões tomadas foram Largura (Figura 29-a), altura (Figura 29-b) e comprimento (Figura 29-c). Após retiradas, essas medidas foram comparadas com as dimensões das fôrmas utilizadas no processo de fabricação dos blocos: 14x19x39 cm.

Figura 29 – Dimensões: a) Largura; b) Altura; c) Comprimento.

(a)
Fonte: Própria autoria, 2022.

Os valores obtidos nas medições são apresentados na Tabela 11, com suas respectivas médias por tipo de medida para cada traço. Foram analisados 4 blocos aleatórios de cada traço.

Tabela 11 – Dimensões do Bloco de Concreto.

Traços	Dimensões (cm)					
	Largura	Média	Altura	Média	Comprimento	Média
T0	14,2	14,1	19,2	19,1	38,9	39,0
	14,1		19,1		39,0	
	14,2		19,0		38,9	
	14,0		19,1		39,1	
T1	14,0	14,1	19,2	19,2	39,0	39,0
	14,2		19,1		39,1	
	14,2		19,2		39,1	
	14,1		19,2		38,9	
T2	14,1	14,2	19,2	19,2	39,0	39,1
	14,2		19,3		39,2	
	14,2		19,3		39,1	
	14,1		19,1		39,2	
T3	14,0	14,1	19,2	19,1	39,1	39,2
	14,1		19,0		39,2	
	14,0		19,0		39,2	
	14,2		19,1		39,2	
T4	14,1	14,1	19,1	19,1	39,2	39,1
	14,1		19,2		39,1	
	14,0		19,0		39,2	
	14,1		19,2		39,0	

Fonte: Própria autoria, 2022.

Conforme pode-se observar com os valores apresentados na Tabela 11, de modo geral, as médias obtidas foram muito similares em todos os casos. Uma média geral para todos os

traços apresenta um valor de 14,11 cm de largura, 19,14 cm de altura e 39,09 cm de comprimento. O ensaio foi realizado aos 27 dias não havendo variação significativa entre as datas, o limite estabelecido de 3 mm em cada uma das 3 dimensões foi obedecido em ambas as análises (140x190x390mm).

4.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Os dados referentes ao ensaio de absorção de água nos blocos de concreto são apresentados na Tabela 12. Os resultados apresentados são de testes feitos aos 28 dias, na tabela a sigla CP identifica o corpo de prova para cada um dos traços: T0, T1, T2, T3, T4.

Tabela 12 – Determinação da Absorção de Água de Acordo com a NBR 12118 (ABNT, 2013).

Traço	CP nº	Peso seco (kg)	Sat 1 14:00 h	Sat 2 16:00 h	Sat 3 18:00 h	Variação Média (%)	A (%)
T0	1	14,00	14,180	14,200	14,220	0,141	1,46
	2	13,90	14,050	14,065	14,083		
	3	13,75	13,930	13,944	13,963		
	4	13,65	13,800	13,819	13,840		
T1	1	14,15	14,360	14,375	14,392	0,146	1,68
	2	14,10	14,320	14,339	14,361		
	3	14,00	14,190	14,206	14,229		
	4	14,00	14,180	14,195	14,215		
T2	1	14,30	14,510	14,530	14,553	0,16	1,73
	2	14,25	14,450	14,472	14,493		
	3	14,20	14,400	14,419	14,442		
	4	14,10	14,300	14,321	14,345		
T3	1	14,70	14,930	14,955	14,980	0,169	1,81
	2	14,65	14,890	14,912	14,935		
	3	14,60	14,790	14,812	14,837		
	4	14,55	14,760	14,780	14,806		
T4	1	13,55	13,850	13,880	13,910	0,220	2,67
	2	13,40	13,690	13,718	13,748		
	3	13,35	13,640	13,669	13,697		
	4	13,30	13,620	13,647	13,677		

Fonte: Própria autoria, 2022.

Através da análise da Tabela 12 observa-se que a absorção média aos 28 dias para os corpos de prova dos traços considerados são: 1,46%, 1,68%, 1,73%, 1,81% e 2,67%, respectivamente. Desta forma, ao analisar os resultados para cada traço, percebe-se que quanto maior a quantidade de escória de ferro níquel, maior é o teor de absorção de água. Isso ocorre uma vez que com o aumento da quantidade de escória a cada traço o bloco se torna mais poroso, facilitando a entrada de água no mesmo. Contudo, mesmo o índice de absorção aumentando a cada traço, todos os blocos passaram no teste, uma vez que a NBR 12118 (ABNT, 2013)

estabelece que os blocos da família A, a qual pertencem os blocos analisados, devem ter uma média de absorção de água igual ou inferior a 10%.

4.4 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

O teste de resistência à compressão foi realizado para cada traço em duas idades do concreto: aos 7 e aos 28 dias. Os valores de tensão de ruptura obtidos para cada um dos quatro corpos de prova ensaiados por traço foram registrados e suas médias calculadas. Os dados mencionados para a idade de 7 dias são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Resultado do Ensaio de Compressão do Bloco aos 7 Dias de Acordo com a NBR 6136 (ABNT, 2016).

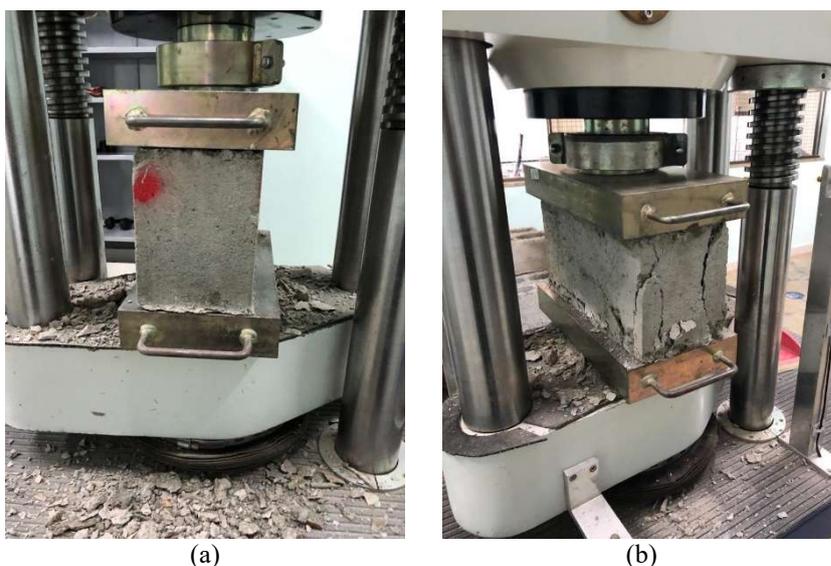
Traço	CP nº	Tensão de ruptura (MPa)	Média da tensão de ruptura (MPa)
T0	1	5,20	4,80
	2	4,50	
	3	5,20	
	4	4,30	
T1	1	6,50	5,13
	2	5,50	
	3	4,70	
	4	3,80	
T2	1	6,40	6,25
	2	7,80	
	3	6,10	
	4	5,10	
T3	1	4,00	4,90
	2	5,90	
	3	5,60	
	4	4,20	
T4	1	4,10	4,10
	2	4,60	
	3	3,90	
	4	4,10	

Fonte: Própria autoria, 2022.

A análise da Tabela 13 permite observar que o traço que apresentou a maior média de resistência foi o T2, tendo alcançado um valor de 6,25 MPa. Neste traço o maior valor de resistência obtido foi de 7,8 MPa, ressaltando que esse traço é composto por 50% de substituição da areia natural pela escória de ferro níquel.

A Figura 30 – a mostra o bloco de concreto entre as placas da prensa, momentos antes da ruptura de 7 dias, e a Figura 30 – b após a aplicação da carga compressiva.

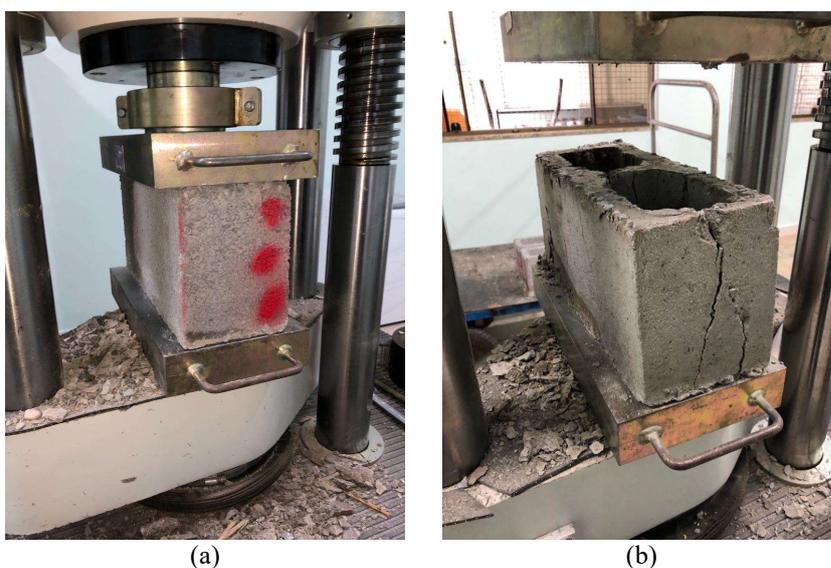
Figura 30 – Momento de Ruptura com 7 Dias: a) Inicial; b) Final.



Fonte: Própria autoria, 2022.

Para a idade de 28 dias foi novamente posicionado o bloco na prensa hidráulica como apresentado na Figura 31 - a, e logo após houve rompimento do bloco de concreto como demonstrado na Figura 31 - b ao finalizar o ensaio os resultados foram anotados e expressados na Tabela 14, bem como suas respectivas médias por traço. Para o cálculo da média para os traços T0 (de referência) e T1 foram desconsiderados os valores do corpo de prova nº 4 e do corpo de prova nº 1, respectivamente, uma vez que estes apresentaram valores bastante divergentes em relação aos resultados obtidos pelos demais corpos de prova dos seus respectivos traços.

Figura 31 – Momento de Ruptura com 28 Dias: a) Inicial; b) Final.



Fonte: Própria autoria, 2022.

Tabela 14 – Resultado do Ensaio de Compressão do Bloco aos 28 Dias de Acordo com a NBR 6136 (ABNT, 2016).

Traço	CP n°	Tensão de ruptura (MPa)	Média da tensão de ruptura (MPa)
T0	1	4,10	6,10
	2	6,90	
	3	7,30	
	4	12,60	
T1	1	2,40	5,5
	2	5,70	
	3	5,30	
	4	5,50	
T2	1	7,30	6,48
	2	7,50	
	3	6,20	
	4	4,90	
T3	1	5,70	5,88
	2	6,40	
	3	5,80	
	4	5,60	
T4	1	5,30	5,40
	2	5,90	
	3	5,90	
	4	4,50	

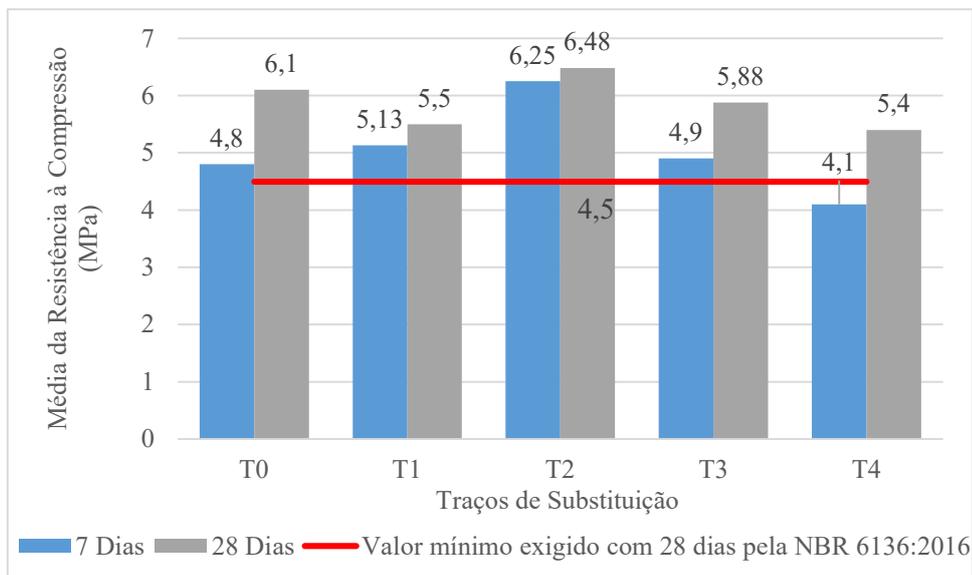
Fonte: Própria autoria, 2022.

Com a observação do procedimento experimental e comparação dos valores obtidos no ensaio, acredita-se que o elevado valor da resistência apresentado pelo corpo de prova n° 4 no traço T0 se deve a um erro de leitura do equipamento, uma vez que se trata de um valor muito maior que o obtido para os demais do mesmo traço. Para o corpo de prova n° 1 do traço T1, acredita-se que uma pequena trinca lateral adquirida durante seu transporte ocasionou o valor excessivamente baixo obtido na ruptura.

Desta forma, ao analisar os resultados obtidos para as duas idades de ensaio, o Gráfico 3 apresenta a média dos resultados obtidos para cada traço de substituição, em MPa, de modo a compará-las.

Através da análise do Gráfico 3, observa-se o crescimento de todos os valores de resistência à compressão obtidos, para as 2 idades de rompimento. Observa-se ainda que houve uma queda gradativa nos resultados de resistência com o aumento da quantidade de substituição (75% e 100%) correspondente aos traços T3 e T4. Essas observações permitem constatar que há um ganho de resistência quando se adiciona escória de ferro níquel à matriz cimentícia, no entanto, há um valor limite de substituição como observado no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Resultado da Média do Ensaio de Compressão do Bloco aos 7 e aos 28 Dias de Acordo com Cada Traço.



Fonte: Própria autoria, 2022.

De acordo com Giaccio *et al.* (1992), as propriedades do concreto dependem das propriedades de seus componentes (matriz cimentícia e agregados e das interações entre eles), e o seu tipo de ruptura está ligado a este mesmo conceito. Portanto, conclui-se que o tipo de agregado influencia tanto na resistência do bloco quanto no tipo de ruptura que ele irá ter no ensaio de compressão.

Segundo o que menciona Silva (2019), fazer a incorporação de escória na mistura que contém cimento, pode modificar a natureza e as características dos hidratados formados, afetando a rede capilar do concreto, o que provavelmente pode ter sido a causa de os concretos com substituições por escória com mais de 50%, terem uma queda na resistência. Entretanto, a escória quando bem aplicada, preparada, tendo estudo apropriado do traço, pode apresentar pontos positivos em suas propriedades mecânicas para demais aplicabilidades.

4.6 VIABILIDADE ECONÔMICA

De modo a comparar o custo dos agregados miúdos utilizados neste trabalho, areia natural e escória de ferro níquel, foi realizada uma pesquisa local, na cidade de Goianésia – GO, do valor do metro cúbico dos mesmos. Para a areia natural, a pesquisa do valor foi feita em uma loja de materiais de construção e para a escória de ferro níquel o valor foi estabelecido pela empresa Anglo American de Barro Alto. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Valor do Metro Cubico dos Agregados Miúdo.

Material	Unidade	Valor unitário médio (R\$)
Areia Natural	1 m ³	95,00
Escória de Ferro níquel	1 m ³	30,00

Fonte: Própria autoria, 2022.

Mediante aos dados apresentados, observa-se que o custo da escória de ferro níquel é aproximadamente 69,42% inferior ao da areia natural. Nessas perspectivas, desconsiderando o frete, o valor necessário para adquirir 1 m³ de areia natural, seria equivalente a adquirir aproximadamente 3,16 m³ da escória de ferro níquel.

Assim ao analisar todos os traços, o traço T2 obteve um melhor resultado comparado com os demais, ele compõe de 50% de escória de ferro níquel e 50% de areia natural como agregado miúdo, utilizando esse traço na fabricação do bloco concreto, acarretaria 7 % de economia no preço final do bloco, sendo assim, o resíduo apresenta grande viabilidade econômica, reduzindo os custos de forma significativa.

No entanto, por não possuir fornecedores de escória de ferro níquel em algumas regiões, caso a edificação esteja localizada em um local que não tenha o material disponível, a inclusão do frete pode tornar a aquisição mais cara.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

Apesar dos escassos estudos relacionados à utilização de rejeitos de minério de ferro níquel dentro da construção civil, é indispensável o seguimento de uma metodologia apropriada para que o material final apresente um bom desempenho, físico, mecânico e acessível sem acarretar danos ambientais.

Mediante a realização da pesquisa bibliográfica, ensaios propostos e análise dos resultados obtidos, este estudo diz respeito a incorporação de rejeito de ferro níquel, de forma parcial e total no bloco de concreto, visando a redução de impactos ambientais e a acessibilidade financeira para a construção civil, algumas conclusões foram alcançadas:

A escória é um material com potencial para utilização como agregado em concretos. Para peças de pré-moldados, deve-se atentar ao fato de realizar estudos mais específicos com a fabricante, uma vez que o processo de fabricação e os equipamentos influenciam diretamente na proporção de agregado e acabamento final das peças.

Utilizar a escória, mesmo que de forma parcial, na mistura do concreto se mostrou como uma boa solução ambiental, devido aos resultados encontrados na pesquisa estarem dentro dos padrões normativos, ou seja, a utilização da escória não trouxe modificações significativas para a trabalhabilidade do concreto, sendo considerado esse um ponto positivo.

A substituição de 50% (T2) de areia por escória apresentou, nos ensaios de resistência à compressão, uma relação aproximada ao resultado do concreto de referência T0, nas datas de 7 e 28 dias, entretanto as misturas dos traços T3 e T4 com substituições de 75% e 100% apresentaram uma queda nos ensaios de resistência com as mesmas datas de rompimento, porém todos os traços com substituição parcial ou total passaram pelos parâmetros estabelecidos pela NBR 12118 (ABNT, 2013).

Em relação a outros parâmetros de qualidade como absorção, dimensões e inspeção visual observa-se que não houve variação significativa e que o material obedeceu aos requisitos mínimos exigidos por norma. Por fim, tal substituição sugere uma diminuição no impacto ambiental gerado na coleta de agregado miúdo na natureza e no impacto gerado pelo descarte da escória de ferro níquel.

5.2 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Seguem sugestões de temas para pesquisas futuras utilizando os conhecimentos e questionamentos obtidos nesta pesquisa:

- Proporção ideal de utilização da escória de ferro níquel incorporada ao concreto.
- Estudo da viabilidade econômica da utilização da escória de ferro níquel em blocos de concreto;
- Estudo de dosagem do concreto com a utilização da escória de ferro níquel em sua composição;
- Utilização da escória de ferro níquel com destinação a contenção de taludes e pavimentação;
- Estudo da utilização da escória de ferro níquel em concreto usinado.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003). NBR NM 248. **Agregados - Determinação da composição granulométrica.**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). NBR 15873. **Coordenação modular para edificações.**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013). NBR 12118. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Métodos de ensaio.**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013). NBR 9781. **Peças de concreto para pavimentação — Especificação e métodos de ensaio.**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6136. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos.**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017). NBR 16605. **Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica.**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017). NBR 9062. **Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018). NBR 16697. **Cimento Portland – Requisitos.**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018). NBR 5739. **Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 7211. **Agregados para concreto – Especificação.**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 16868-1. **Alvenaria estrutural Parte 1: Projeto.**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021). NBR 15116. **Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios.**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021). NBR 16915. **Agregados - Amostragem.**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021). NBR 16917. **Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água.**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021). NBR 16972. **Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios.**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021). NBR 16973. **Agregados - Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem.**

ALMEIDA, Salvador L. M.; LUZ, Adão Benvindo, **Manual de Agregados para Construção Civil**, CETEM/MCT, Rio de Janeiro, 2009. 228 p.

ANGLO AMERICAN. Relatório de Sustentabilidade Anglo American Brasil – Parâmetros do Relatório. Consolidar para crescer, 64 f., 2006.

Anglo American; Resumo. A mineradora diversificada, 2022. Disponível em: <https://brasil.angloamerican.com/pt-pt/quem-somos/resumo>

BAUER, L.A. Falcão. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais** ed. G. C. Isaia. 3ªed. São Paulo, IBRACON, 2017. Volume1.

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

CARVALHO, J. M. F. de et al. **More eco-efficient concrete: an approach on optimization in the production and use of waste-based supplementary cementing materials**. Construction and Building Materials, v. 206, p. 397-409, maio 2019. Disponível em: Acesso em: 19 nov. 2021.

CAVALCANTE, V. T. F; SOARES, J.B; MOTTA, L.M.G; ALDIGUERI, D.R. e PARENTE, E.B. “**Caracterização mecânica de mistura asfáltica com utilização de escória de aciaria como agregado**”. XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, 2003.

FEITOSA, G. F. A.; NEVES, M. O. **Estudos para utilização de escória de ferro-níquel na área de construção civil**. 2017. TCC (Bacharelado em Engenharia Civil) - Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, 2017.

FELTRE, Ricardo. **Fundamentos Da Química**, livro acadêmico 2ªEdição, Editora Moderna, 740p. Fortaleza, CE, 2001.

FELTRE, Ricardo. **Química Orgânica**, livro acadêmico 7ªEdição, Editora Moderna. Fortaleza, CE, 2008.

FERREIRA, D.; MESQUITA, H.; LIMA, R. Níquel. **Trabalho de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Mecânica do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará**. Belém, PA, 2008. FHWA - Federal Highway Administration 05/5 – 1707 – 01 -1. Aggregate Imaging System (AIMS): Basics and Applications IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. Disponível em: <[Http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00000043.pdf](http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00000043.pdf)>. Acesso em: 28 out. 2020.

FRANCKLIN JUNIOR, I., DE ALMEIDA, F. A. S. **Verificação das propriedades de concretos produzidos com agregados de escória de níquel provenientes de mineração do município de Pratápolis-MG**. 52º Congresso Brasileiro de Concreto – IBRACON, out 2010.

GEYER, R. M. T. **Estudo sobre a Potencialidade de Uso das Escórias de Aciaria como Adição ao Concreto**. Tese de D.Sc., PPGEM/UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil, 2001.

GEYER, R. M. T. **Estudo sobre a Potencialidade de Uso das Escórias de Aciaria como Adição ao Concreto**. Porto Alegre. 2001.

GIACCIO, G., ROCCO, C., VIOLINI, D., ZAPPITELLI, J., ZERBINO R., “**High strength concretes incorporating different course aggregates**”, ACI Materials Journal, v. 89, n. 3, pp. 292 – 246, 1992.

GONÇALVES, D. R. R. **Análise da Viabilidade Econômica via simulação de Monte Carlo para Utilização da Escória de Aciaria como Agregado na Fabricação de Pré-fabricados para a Construção Civil** - Ecoblocos. Ouro Preto, 2015.

ISO – *International Organization for Standardization* (Organização Internacional de Normalização). ISO 7500-1:2018 Materiais metálicos. ***Metallic materials — Calibration and verification of static uniaxial testing machines — Part 1: Tension/compression testing machines — Calibration and verification of the force-measuring system*** (Materiais metálicos — Calibração e verificação de máquinas de teste uniaxial estático — Parte 1: Máquinas de teste de tensão/compressão — Calibração e verificação do sistema de medição de força).

JANUZZI, R. V. **Modelagem do comportamento mecânico de blocos e prismas produzidos com escória de aciaria elétrica para alvenaria estrutural**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 136. 2014.

JOHN, V. M. e AGOPYAN, V. **Reciclagem de Escória de Alto Forno no Brasil**. Anais..., São Paulo/SP, 2000.

KIHARA, Y. et al. **A Microscopia do clínquer Portland e seus benefícios tecnológicos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 2, 1990, São Paulo. Anais... São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1990

LUZ, C.; FERREIRA, D.; LOPES, L.; CARDOSO, M.; CAVALCANTI, R. **INSTITUTO AÇO BRASIL Panorama de escória de Aciaria no Brasil**. Seminário Internacional de Aplicação da escória de Aciaria. Belo Horizonte/MG – Brasil – nov 2010

LUZ, C.; FERREIRA, D.; LOPES, L.; CARDOSO, M.; CAVALCANTI, R. **Relatório sobre níquel**. Universidade Federal do Pará – UFPA, Belém do Pará/PA, 2010.

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.

MARSON, Michel Deliberali. **A evolução da indústria de máquinas e equipamentos no Brasil**: Dedini e Romi, entre 1920 e 1960. Nova Economia: [s. n.], 2014.

MARTIAS, Ana Carolina de Paula. **Utilização de escórias de aciaria em argamassas sustentáveis para revestimento de alvenarias**. Ouro Preto, Minas Gerais, 2018.

MOHAMAD, Gihad, **Construções em Alvenaria Estrutural: Materiais, Projeto e Desempenho**. Blucher, 2ª ed, São Paulo, SP, 2020.

MOURA, W. A. **Utilização de escória de cobre como adição e como agregado miúdo para concreto**. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre/RS, 2000.

NEVES, Rafael Martins das. **Aplicação do método de análise e solução de problema: estudo da variabilidade das resistências à compressão no cimento do tipo portland**. 2016. 1 v. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2016.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do Concreto**. Traduzido por Ruy Alberto Cremonini. Bookman; 2ª ed., Porto Alegre, RS, 2013.

NR – Norma Regulamentadora (1999). NR22. segurança e saúde ocupacional na mineração.

ORNELAS, Daniela Pereira de; JÚNIOR, Carlos Henrique Carvalho. **Viabilidade do uso de escória de alto forno na substituição parcial do cimento portland em concreto usinado**. Dissertação – Centro Universitário UniFacig, 2021.

PACHECO, L. C. D.; MARANGON, M. **Utilização de escória de aciaria elétrica em obras de engenharia**. Juiz de Fora, FCT, 1997.

PETRUCCI, E. **Materiais de Construção**. 5ª. ed. Porto Alegre: Globo, 1980

POLISSENI, A. E. **Estudo da viabilidade técnica da utilização de escória de aciaria elétrica micronizada como material cimentício**. 12 f. (Tese de Doutorado apresentada) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre/ RS, 2005.

Richter, Douglas. **Uma rota de recuperação de metal a partir de escória secundária da produção de ferromnês** / D. Richter. -- São Paulo, 2009. 122 p.

RODRÍGUEZ, H. A. P., VILLAMIL, F. R. P. **Estudio de las fases predominantes y caracterización de las escórias del proceso de obtención de ferro níquel**. Scientia et Technica Año XIII, Nº 36. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701, set 2007.

SANTOS, G. P. P. **Um estudo sobre a utilização da escória de ferromnês em pavimento rodoviário**. 2013. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2013.

SANTOS, G. P. P., GUIMARÃES, A. C. R., CARNEIRO, L. A. V., OLIVEIRA, J. C. S. **Resultados Preliminares: Uso da Escória Ferromnês em Concreto Asfáltico para Pavimentação**. 41ª RAPv – Reunião Anual de Pavimentação. Fortaleza, CE - 3 a 5 de outubro de 2012.

SANTOS, Graziella Pereira Pires, **Um Estudo Sobre a Utilização da Escória de Ferro-Níquel em Pavimento Rodoviário**. 2013. 125 f. Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia de Transportes) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos Dos Goytacazes – RJ, 2019.

SILVA, André Luis Silva da. **Compósito**. Licenciatura Plena em Química (Universidade de Cruz Alta, 2004). Mestrado em Química Inorgânica (Universidade Federal de Santa Maria, 2007). Disponível em: < <https://www.infoescola.com/materiais/composito/>>. Acesso em: 28 out. 2021.

SILVA, Isabela Leão Amaral, **Propriedades e Estrutura de Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras Contínuas de Juta**. 2014. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia

estrutural) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos Dos Goytacazes – RJ.

SILVA, Vitor Pereira, **Uso de Escória de Ferro-Níquel na Fabricação de Pavers**. 2019. 82 f. Tese (Especialização em Engenharia estrutural) Faculdade de Engenharia Civil, IFG – Instituto Federal Goiás, 2019.

SOUSA, Bianca Anacleto Araújo de; CASTRO, Auristela Correa; SALES, Reginaldo da Silva; SALES, Reinaldo Eduardo da Silva. **A construção civil** [livro eletrônico]: em uma perspectiva econômica, ambiental e social / Organizador Bianca Anacleto Araújo de Sousa... [et al]. - Guarujá, SP: Científica Digital, 2021

WILLS, B. A. **Mineral Processing Technology**. 4th ed. 525 p. New York, Pergamon Press, 1988.