



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Arquitetura e Urbanismo  
Curso de Graduação em Arquitetura e Urbanismo



Ludimila Gomes Antunes

**Bloco de paramento de contenção de encostas:  
uma investigação do *design* convencional a apropriação de estratégias de *ecodesign*.**

Ouro Preto

2023



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Arquitetura e Urbanismo  
Curso de Graduação em Arquitetura e Urbanismo



Ludimila Gomes Antunes

**Bloco de paramento de contenção de encostas:**

**Uma investigação do *design* convencional a apropriação de estratégias de *ecodesign*.**

Trabalho Final de Graduação apresentado ao Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Wanna Carvalho Fontes.

Co-orientador: José Maria Franco de Carvalho.

Ouro Preto

2023

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

A636b Antunes, Ludimila Gomes.

Bloco de paramento de contenção de encostas [manuscrito]: uma investigação do design convencional a apropriação de estratégias de ecodesign. / Ludimila Gomes Antunes. - 2023.

76 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Wanna Carvalho Fontes.

Coorientador: Prof. Dr. José Maria Franco de Carvalho.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Arquitetura e Urbanismo .

1. Ecodesign. 2. Tecnologia - Concreto. 3. Paramentos. 4. Blocos de concreto. I. Fontes, Wanna Carvalho. II. Carvalho, José Maria Franco de. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 72:711.4

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza- SIAPE: 1.763.787



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Ludimila Gomes Antunes**

**Bloco de paramento de contenção de encostas:  
uma investigação do *design* convencional a apropriação de estratégias de *ecodesign***

Monografia apresentada ao Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Arquitetura e Urbanismo.

Aprovada em 23 de agosto de 2023.

### Membros da banca

Dra. Wanna Carvalho Fontes - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Dr. José Maria Franco de Carvalho - Co-orientador (Universidade Federal de Viçosa)  
Dr. Guilherme Jorge Brigolini Silva - (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Enga. Luciana Chaves Webá - (Energisa)

Wanna Carvalho Fontes, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 06 de agosto de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Wanna Carvalho Fontes, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/03/2024, às 10:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0587131** e o código CRC **0352283B**.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Brasil (CAPES); Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, Brasil (FAPEMIG); Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Brasil (CPRM); Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Brasil (CNPq) e Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós- Graduação/UFOP (PROPP/UFOP) pelo apoio para a realização e apresentação dessa pesquisa. Também agradeço a colaboração do Grupo de Pesquisa em Resíduos Sólidos (RECICLOS - CNPq) em especial Bruna e Wanna. E pela oportunidade de usar a infraestrutura do Laboratório de Engenharia Civil e Materiais Compósitos da Universidade de Federal de Viçosa (DECIV/UFV), bem como as do Centro Tecnológico de Geotecnia Aplicada da Universidade Federal de Ouro Preto - CTGA/NUGEO/UFOP.

## RESUMO

Com o intuito de ampliar as utilizações de Rejeitos de Barragem de Minério de Ferro (RBMF) como insumos na construção civil e ajudar a amenizar as consequências negativas das barragens de rejeitos, este trabalho objetiva propor um novo modelo de bloco de paramento de contenção de encostas com RBMF, ao apropriar estratégias de *ecodesign*. Neste contexto, foi realizada uma pesquisa exploratória para identificação e estudo dos *designs* de blocos de paramento convencionais e suas principais propriedades físicas e mecânicas; de modo a subsidiar a proposição, por métodos projetuais, da configuração do *design* do bloco de paramento com RBMF em sua composição. Também foi realizada uma pesquisa experimental procedida por ensaios laboratoriais conduzidos segundo critérios normativos brasileiros, a fim de investigar as propriedades dos materiais e dos concretos com RBMF propostos, utilizados como estratégia de *ecodesign* aplicada ao novo modelo de bloco. Para o estudo dos traços, empregou-se RBMF em substituições parciais de 25%, 50% e 75% ao total de agregados miúdos, tendo como parâmetro a curva de distribuição granulométrica de Andreasen Modificada. Para identificar o teor ótimo de umidade, foram desenvolvidas dosagens com diferentes volumes de água e de agregados, utilizando como orientação o empacotamento e a coesão das partículas. Foram moldados corpos de prova, os concretos curados submetidos a ensaios normativos para determinação de sua massa específica, absorção de água, índice de vazios, Velocidade de Pulso Ultrassônico (VPU) e resistência à compressão. Como resultado, as amostras do com 25% de RBMF se mostraram mais eficazes em relação aos concretos com 50% e 75% de RBMF com idades de 7 e 28 dias, respectivamente. Por fim, foi proposto um bloco que proporciona o plantio de vegetação em seu vazio e, por possuir a cor terracota, gera um menor impacto visual do sistema construtivo e favorece sua utilização em regiões históricas. Portanto, com os resultados alcançados, conclui-se que a utilização de RBMF em concretos destinados aos blocos de paramento de encostas é alternativa viável capaz de promover o desenvolvimento tecnológico de matrizes cimentícias, além de contribuir para uma destinação ambientalmente mais responsável ao RBMF.

**Palavras-chave:** *Ecodesign*; Bloco de Paramento de Contenção de Encostas; Rejeito de Barragem de Minério de Ferro; Tecnologia do Concreto.

## ABSTRACT

With the aim of expanding the uses of Iron Ore Tailings (IOT) as construction materials and helping to mitigate the negative consequences of tailings dams, this study seeks to propose a new model of hillside containment wall block using IOT, integrating ecodesign strategies. In this context, an exploratory research was conducted to identify and study conventional containment wall block designs and their main physical and mechanical properties, in order to inform the design process for the new block model with IOT through project methods. An experimental research was also carried out through laboratory tests conducted according to Brazilian norms, to investigate the properties of materials and concretes with proposed IOT, used as an ecodesign strategy for the new block model. For the concrete mix design, IOT was used with partial replacements of 25%, 50%, and 75% of the fine aggregates, using the Modified Andreasen Grain Size Distribution Curve as a parameter. To determine the optimal moisture content, different dosages were developed with varying water and aggregate volumes, guided by particle packing and cohesion. Test specimens were cast, and the cured concretes underwent standardized tests to determine their specific gravity, water absorption, void index, Ultrasonic Pulse Velocity (UPV), and compressive strength. As a result, the samples with 25% IOT showed better performance compared to those with 50% and 75% IOT at 7 and 28 days, respectively. Lastly, a block was proposed that allows vegetation to be planted in its void and, due to its terracotta color resulting from the high hematite content, generates a lesser visual impact on the construction system, making it more suitable for historic regions. Therefore, based on the achieved results, it is concluded that the use of IOT in concretes for hillside containment wall blocks is a viable alternative capable of promoting the technological development of cementitious matrices, as well as contributing to a more environmentally responsible disposal of IOT.

**Keywords:** Eco-design; Slope Containment Facing Block; Iron Ore Tailings; Concrete Technology.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cobogó Breeze Brick.....	21
Figura 2 - Concreto bioreceptivo para criação de fachadas vegetais do Centro Cultural Aeronáutico de Sergi Godia, Berta Barrio, Eloi Juvillà. ....	22
Figura 3 – Suscetibilidade a deslizamentos. ....	24
Figura 4 - Estabilidade de Muros de Arrimo: (A) Deslizamento da base, (B) Tombamento,..	26
Figura 5 - Medidas para aumentar o Fator de Segurança contra o deslizamento da base do muro: .....	27
Figura 6 - Segurança contra o tombamento.....	27
Figura 7 - Capacidade de carga da fundação.....	28
Figura 8 - Estabilidade Global.....	28
Figura 9 - Solo reforçado com geogrelhas e muro com blocos de paramento de contenção de encostas.....	29
Figura 10 - Colocação da camada de blocos sobre a geogrelha. ....	30
Figura 11 - Exemplo de um blocos de paramento de contenção de encostas.....	31
Figura 12 - Alguns <i>designs</i> de blocos blocos de paramento de contenção de encostas. ....	34
Figura 13 - Bloco 1.....	35
Figura 14 - Muro com blocos de paramento de contenção de encostas com Bloco 1.....	35
Figura 15 - Bloco 2.....	36
Figura 16 - Muro com blocos de paramento de contenção de encostas com Bloco 2.....	36
Figura 17 - Bloco 3.....	37
Figura 18 - Muro com blocos de paramento de contenção de encostas com Bloco 3.....	37
Figura 19 - Bloco 4.....	38
Figura 20 - Muro com blocos de paramento de contenção de encostas com Bloco 4.....	38
Figura 21 - Distribuição granulométrica segundo o modelo de Andreasen Modificado. ....	43
Figura 22 - Compactação utilizada nos concretos. ....	44



Figura 23 - Corpos de prova iniciando o processo de cura. ....	46
Figura 24 - Distribuição granulométrica dos agregados.....	52
Figura 25 - Curvas granulométricas e curvas ideais de Andreasen Modificado para os traços R25, R50 e R75. ....	54
Figura 26 - Massa específica e umidades das misturas no estado fresco. ....	55
Figura 27 - Coesões das misturas. ....	55
Figura 28 - Massa específica dos concretos. ....	57
Figura 29 - Absorção de água e índice de vazios dos concretos. ....	58
Figura 30 - Resultados de Velocidade de Propagação da Onda Ultrassônica aos 25 dias. ....	59
Figura 31 - Resistências à Compressão aos 7 e 28 dias de cura.....	60
Figura 32 - Bloco proposto.....	61
Figura 33 - Bloco proposto.....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de propriedades dos blocos comercializados.....	34
Tabela 2 - Proporções em relação a massa (a) total (b) relação à massa de cimento. ....	43
Tabela 3 - Composição química do RBMF por FRX.....	51
Tabela 4 - Dimensões características dos agregados utilizados nas misturas. ....	52
Tabela 5 - Massas específicas do aglomerante e agregados utilizados nas misturas. ....	53
Tabela 6 - Proporções em relação a massa (a) total (b) relação à massa de cimento.....	56
Tabela 7 - Tabela de propriedades do bloco proposto em comparação aos 4 blocos estudados. .....	65

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
1.1. Relevância/motivação .....	15
1.2. Justificativa .....	15
1.3. Objetivo geral .....	16
1.4. Objetivos específicos .....	16
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>18</b>
2.1. A extração mineral e os conflitos socioambientais.....	18
2.2. Principais estratégias de <i>Ecodesign</i> .....	19
2.2.1. <i>Design e materiais sustentáveis</i> .....	20
2.2.2. <i>Ecoconcretos</i> .....	22
2.3. Deslocamento de massa e riscos .....	23
2.4. Estabilidade de talude com blocos de paramento de contenção de encostas .....	25
2.4.1. <i>Segurança contra o deslizamento</i> .....	26
2.4.2. <i>Segurança contra o tombamento</i> .....	27
2.4.3. <i>Capacidade de Carga da Fundação</i> .....	27
2.4.4. <i>Segurança contra a Ruptura Global</i> .....	28
2.5. Sistemas de contenção de encostas com blocos de paramento de contenção .....	29
2.6. <i>Design</i> de blocos de paramento de contenção de encostas .....	33
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>40</b>
3.1. Materiais .....	40
3.2. Beneficiamento do RBMF .....	41
3.3. Caracterização química do RBMF.....	41
3.4. Caracterização física dos materiais .....	41
3.4.1. Granulometria .....	41

3.4.2.	Massa específica .....	41
3.4.3.	Dimensionamento do traço .....	41
3.4.4.	Obtenção e definição da umidade ótima.....	43
3.4.5.	Moldagem do traço para verificações da umidade ótima .....	44
3.4.6.	Obtenção da condição de máxima coesão das misturas .....	45
3.4.7.	Obtenção da condição de máximo empacotamento das misturas.....	45
3.4.8.	Moldagem, desmoldagem e cura dos concretos .....	46
3.4.9.	Caracterização física e mecânica dos concretos .....	47
3.4.10.	Massa específica, absorção de água e índice de vazios .....	47
3.4.11.	Velocidade de Pulso ultrassônico (VPU).....	47
3.5.	Caracterização mecânica do concreto .....	47
3.6.	Proposição do novo bloco.....	47
3.6.1.	Simulação da inclinação da face do muro.....	48
3.6.2.	Simulação do peso referencial do bloco proposto .....	48
3.6.3.	Simulação da resistência à compressão do bloco proposto .....	50
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>51</b>
4.1.	Caracterização física dos agregados naturais e artificial .....	51
4.1.1.	Caracterização química do RBMF.....	51
4.1.2.	Granulometria dos agregados .....	52
4.1.3.	Massa específica do aglomerante e dos agregados .....	53
4.1.4.	Obtenção da condição de máximo empacotamento da mistura.....	53
4.1.5.	Massa específica e umidade ótima da mistura de concreto fresco .....	54
4.1.6.	Obtenção da condição de máxima coesão das misturas .....	55
4.2.	Proporção dos materiais utilizados nos concretos .....	56
4.3.	Caracterização física e mecânica do concreto endurecido.....	56
4.3.1.	<i>Massa específica</i> .....	57

4.3.2.	<i>Absorção de água e índice de vazios</i> .....	58
4.3.3.	Velocidade de Pulso ultrassônico .....	59
4.3.4.	<i>Resistência à compressão do concreto</i> .....	60
4.4.	Proposição do novo bloco.....	61
4.4.1.	<i>Simulação da inclinação da face do muro</i> .....	63
4.4.2.	<i>Simulação do peso referencial do bloco proposto</i> .....	63
4.4.3.	<i>Simulação da resistência à compressão do bloco proposto</i> .....	64
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>66</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>68</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores de mercado mais importantes, no âmbito socioeconômico do Brasil. De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC (2021), investir na construção de novas edificações pode gerar um efeito indireto que representa R\$ 2,46 para cada real investido. E, segundo o IBGE (2020), em apenas um ano 2,0 milhões de indivíduos foram empregados por 131,8 mil empresas em atividade, que pagaram um total de R\$ 58,7 bilhões em salários e outras formas de pagamento. A construção civil além de importante fonte de emprego e renda, é responsável por fomentar também o desenvolvimento social. Por outro lado, os aspectos demográficos brasileiros evidenciam um país heterogêneo.

Todavia, o setor construtivo é um dos que consome mais recursos naturais não renováveis e ocasiona, direta e indiretamente, grandes impactos ambientais na Terra. Esse setor consome cerca de 40% dos recursos do planeta e gera cerca de 25% de resíduos sólidos, enquanto consome aproximadamente 25% da água (SANTOS, 2022).

Criando um atrito entre as edificações e o meio ambiente, o cimento empregado nas construções é o segundo item mais consumido no mundo, ficando atrás somente da água, que ocupa o topo do *ranking global* (IBRACON, 2009). A extração de matérias-primas para a produção do cimento, como o calcário e a argila, provoca degradação no ambiente próximo às cimenteiras. Ademais, a emissão de material particulado é responsável por diversos problemas à saúde humana e; o processo de clinquerização, além de consumir 7% do uso de energia industrial, gera intensa emissão de gases de efeito estufa, sobretudo o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Segundo o Instituto Chatham House (2018), cerca de 8% das emissões de CO<sub>2</sub> no mundo estão relacionadas à indústria cimenteira e, a produção anual de cimento ultrapassa 4 bilhões de toneladas.

Em relação aos agregados utilizados nas matrizes cimentícias dos produtos construtivos, tanto os grãos quanto os miúdos podem ser obtidos por meio da diminuição artificial de uma rocha natural, usualmente com a utilização de britadores. A extração destes causa consequências desinteressantes como: mudanças ambientais, lutas territoriais e problemas ao tráfego local (SILVA *et al.*, 2020). Para além dessas questões, há emissões poluentes e consumo de energia nos processos desde a extração até sua aplicação final. Os impactos relacionados à areia natural, também utilizada como agregado miúdo, podem ser ainda mais notórios, uma vez que o maior volume de sua produção é proveniente de rios, provocando a degradação deles.

Outro componente importante na produção dos concretos convencionais é a água. Grandes consumos de concretos e argamassas necessitam de excessivos volumes desse recurso natural.

Bem como o concreto, o aço é essencial para a construção civil. E o ferro destinado à produção dele é obtido por processos minerários que geram grandes volumes de resíduos desde sua extração até a reciclagem, contribuindo para o impacto socioambiental provocado. Pois, segundo Apaza *et al.* (2018) para conseguir 1 tonelada de minério de ferro, são geradas 1,5 toneladas de rejeito. Sobretudo, a exploração minerária é de extrema importância para o crescimento econômico do país, sendo responsável por 1,4% do Produto Interno Bruto (PIB) e empregando cerca de 195 mil trabalhadores diretamente (IBRAM, 2019). No ano de 2018, o Brasil exportou 409 milhões de toneladas de minerais, totalizando US\$ 29,9 bilhões em receita, sendo o Minério de Ferro o principal produto exportado (IBRAM, 2019).

Após a extração e beneficiamento do minério de ferro, muitas vezes, os rejeitos gerados eram acondicionados em barragens do tipo alteamento a montante. Devido à grande suscetibilidade a rupturas e em razão de acidentes recentes de grande impacto e, com o propósito de proteger que situações análogas se repitam, foram criadas as primeiras normativas que se deram na esfera estadual de Minas Gerais, com o Decreto n. 46.993/2016, que em seguida foi atualizado para o Decreto n. 47.158/2017, que interrompeu o licenciamento ambiental de barragens projetadas pelo método de alteamento a montante e o alteamento de estruturas já existentes.

Essas estruturas iniciam-se por um dique de partida composto por material argiloso ou enrocamento compactado (REZENDE, 2013), e o alteamento é feito em forma de degraus (MARTINEZ, 2019). As principais vantagens do método são a rapidez e a facilidade na execução (SABBO *et al.*, 2017), embora a eficiência e segurança sejam controversos, sendo considerado o método mais inseguro em relação a questões estruturais e ambientais (CASTRO, 2008).

E, devido à grande suscetibilidade a rupturas, este método de alteamento a montante está cessado desde 2019 pela Lei 23.291/19 (ALMG, 2019) em razão de acidentes de grande impacto envolvendo essas estruturas (THOMÉ & PASSINI, 2018). O rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, segundo o laudo técnico do IBAMA (2019), lançou cerca de 45 milhões de metros cúbicos de rejeito ocasionando um dano inestimável ao meio ambiente, além de contabilizar 19 óbitos. Enquanto o desastre de Brumadinho resultou na devastação de 112

hectares de Mata Atlântica, bem como 305 km do Rio Paraopeba (SOS Mata Atlântica, 2019) e levou 259 pessoas a óbito, de acordo com a Defesa Civil (VALE S.A., 2020).

Com isso, frente aos impactos atuais da mineração, é crucial a elaboração de pesquisas que apresentem formas eficazes em relação a destinação final dos rejeitos de minério de ferro, possibilitando a adoção do descomissionamento das barragens, especialmente aqueles com maior risco ambiental, entre outras soluções. Lembrando que o processo de descomissionamento de barragem envolve a desmontagem da estrutura por meio da retirada do rejeito, resultando na inexistência dela. Muitos desses rejeitos extraídos das barragens passam por um processo de remineração, na qual o minério é reaproveitado do próprio rejeito. Pois, muitas estruturas foram erguidas em períodos em que as tecnologias para a exploração mineral eram pouco desenvolvidas. Deste modo, os rejeitos apresentam altas concentrações de minério em suas composições, características que podem ser comercializadas (ANDRADE, 2014) e, com o declínio nos teores de minérios, é importante que ações como esta sejam tomadas.

E, neste contexto, as alternativas com RBMF são motivadas ao considerar aspectos relacionados ao encerramento das estruturas, analisando impactos a longo prazo, complexidade e riscos associados (*design for closure*) que toda barragem oferece. Somado a isso, as barragens devem ser operadas considerando os objetivos do fechamento, de forma a possibilitar o seu adequado encerramento e, conseqüentemente, reduzir os riscos futuros na fase pós-encerramento e melhor aproveitamento de seus insumos. E, uma das formas de encerrar uma barragem é através da descaracterização, processo pelo qual a estrutura deixa de possuir características ou exercer função de barragem.

Por fim, o cuidado em reduzir danos ambientais tem feito empresas repensarem suas práticas. Na arquitetura e urbanismo, são diversas tecnologias sendo difundidas para suprir materiais convencionais por recursos prejudiciais ao meio ambiente. Magalhães (2018), como arquiteta e urbanista, investigou a incorporação de adições pozolânicas em misturas à base de cal, com o objetivo de satisfazer as demandas para uso em intervenções no campo da Conservação e Restauro, embasadas em critérios que garantam desempenho satisfatório.

Segundo resultados obtidos por Franco (2015), arquiteta e urbanista que pesquisou o desempenho e a eficiência ambiental de concretos e argamassas com uso de resíduo siderúrgico para aplicação em habitação de interesse social, os materiais investigados atenderam aos critérios técnicos e ambientais da Norma de Desempenho - NBR 15575 (ABNT, 2013). Além



de evidenciar a rentabilidade do uso de escória de aciaria como agregado artificial, substituindo integralmente os agregados naturais utilizados na construção civil.

Outra arquiteta e urbanista, Ferreira (2023), estudou a viabilidade de emprego do rejeito magnético de fosfato como substituto parcial do agregado miúdo convencional em compósitos cimentícios, com o objetivo de minimizar os impactos ambientais. Nesse intuito, concluiu-se que o rejeito como substituto parcial (20% a 40%) da areia de rio não prejudica as propriedades mecânicas dos compósitos cimentícios, tanto em temperatura ambiente quanto a 400° C.

Pesquisas que relacionam o uso de RBMF como material de construção são recentemente comuns. Como Fontes (2013) que investigou a utilização dele como agregado reciclado para argamassas de revestimento e assentamento. Enquanto Elói (2019) pesquisou sua ativação alcalina com adição de sílica ativa. E Caetano (2020) fez a avaliação de matrizes obtidas pela álcaliação do RBMF aditivado com resíduo de lã de vidro. Todavia, não foram encontradas publicações de estudos acerca da substituição parcial de agregado miúdo por RBMF em concretos destinados à produção de blocos de paramento de contenção de encostas.

No entanto, é importante destacar que a demanda por obras de contenção de encostas é crescente no Brasil e que, grande parte das encostas situadas próximas aos centros urbanos, são frequentemente ocupadas desordenadamente devido ao *déficit* habitacional e de qualidade das habitações, resultando em ocupações irregulares em várias regiões onde frequentemente ocorrem escorregamentos de terra, em especial, durante as épocas de chuvas intensas. Procedendo em muitas pessoas desabrigadas, danos ambientais e até mesmo perdas humanas.

No mês de janeiro de 2022, a título de exemplo, ocorreu um deslizamento de terra no Morro da Forca, ponto turístico localizado em Ouro Preto, Minas Gerais, onde destruiu completamente dois casarões históricos. De acordo com o Censo Demográfico 2010 (IBGE, 2011), no município, foi possível considerar que aproximadamente 882 moradias particulares e coletivas estavam localizadas em áreas de risco geológico alto ou muito alto, dentre as 313 áreas mapeadas. Essa pesquisa indica que, aproximadamente, 3.006 pessoas vivem em áreas de risco geológico.

No intuito de sanar esses acontecimentos, estudos são realizados buscando estabilizar os maciços de terra. Contudo, nem todas as soluções existentes no mercado são aceitas pelo IPHAN. Em um território como o de Ouro Preto, que é marcado pelos morros que compõem planos de visadas admiráveis, é importante manter a relação entre a cidade e seu sítio tombado

e, a preservação das encostas verdes é crucial para a apreciação do conjunto urbano (IPHAN, 2010 ). Neste sentido, este trabalho tem uma abordagem inédita que pode trazer esclarecimentos, identificar novas perspectivas para o problema, apresentar alternativas e descrever inovações que ampliem o entendimento acerca do tema.

### **1.1. Relevância/motivação**

Os cuidados com questões ambientais e sustentáveis que envolvem a construção civil e a mineração são crescentes, intensificando demandas por respostas que diminuam os impactos causados por elas. Diante disso, buscando contribuir nessas necessidades, a proposta de um novo *design* de bloco de paramento é importante para agregar valor estético e econômico às obras de contenção, de modo a atender as suas demandas técnicas e disseminar o conhecimento obtido à sociedade em geral. Além de incentivar o reaproveitamento de rejeitos de barragens e o aprimoramento tecnológico de componentes construtivos.

Dessa forma, o conteúdo deste trabalho está relacionado ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 12 (ODS 12) da Agenda 2030, que busca assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis. Para atingir este objetivo, as metas que se relacionam são: A meta 12.2 deste objetivo determina que deve-se atingir a utilização consciente dos recursos naturais e sua sustentabilidade; enquanto a meta 12.4 estabelece que até 2020 deve-se assegurar a adoção de medidas sustentáveis na administração de produtos químicos e resíduos, em todas as etapas do processo, visando diminuir a emissão desses elementos no ar, água e solo e mitigar seus efeitos prejudiciais à saúde humana e o meio ambiente; a meta 12.5 designa que até 2030 deve-se Reduzir significativamente a geração de resíduos por meio da prevenção, diminuição, reciclagem e reutilização e; a meta 12.6 atribui promover a adoção de práticas sustentáveis pelas empresas, sobretudo as grandes e transnacionais, e a integração de informações acerca da sustentabilidade. Diante disso, esse estudo colabora com as perspectivas estabelecidas pela Organização das Nações Unidas (ONU) para a produção sustentável, destacando a importância do manejo adequado de resíduos sólidos e da redução da emissão de poluentes.

### **1.2. Justificativa**

A extração minerária tem como atributo riscos socioambientais, que foram nitidamente notados nos rompimentos das barragens de rejeito nos municípios mineiros de Mariana em 2015 e de Brumadinho em 2019. Desastres esses que salientaram a necessidade de medidas efetivas

atribuídas ao descomissionamento de barragens. Pois elas, ativas ou não, se monitoradas inadequadamente podem revelar ameaça à vida, tornando-se um passivo ambiental à sociedade.

As barragens de rejeitos de mineração eram consideradas o encerramento da linha produtiva, porém, nos dias atuais, é indispensável a extração ao máximo das substâncias do minério. Além de conscientizar sobre o desenvolvimento sustentável, o cumprimento das normas estabelecidas pela Portaria 70.389/2017 (ANM, 2017) pode ser dispensado ao descomissionar as estruturas de contenção de rejeitos que não possuem planos de novas soluções (ARAÚJO, 2020).

Com a evolução da tecnologia e o advento de novos materiais, as indústrias lidam com uma completa mudança de estrutura. Dessa forma, arquitetos e urbanistas podem colaborar por meio da proposição de novos *designs* de produtos e materiais para a diminuição dos impactos socioambientais de acordo com o item 6.3 das atividades e atribuições profissionais do arquiteto e urbanista segundo o Conselho de Arquitetura e Urbanismo – CAUBR (2012):

- 6.3. Tecnologia da construção e controle de qualidade
- 6.3.1. Pesquisa e inovação tecnológica;
- 6.3.2. Pesquisa aplicada em tecnologia da construção;
- 6.3.3. Pesquisa de elemento ou produto para a construção;
- 6.3.4. Estudo ou pesquisa de resistência dos materiais.

Desta forma, os arquitetos como pesquisadores/propositor de novas tecnologias direcionadas a bioconstrução<sup>1</sup> têm obtido sucesso nos resultados de suas pesquisas que visam diminuir os impactos ambientais, ao buscar a reutilização de materiais, o que também incentiva políticas públicas para construções mais sustentáveis (ROCHA, *et al.*, 2020).

### **1.3. Objetivo geral**

Propor um novo modelo de bloco de paramento de contenção de encostas com RBMF, ao apropriar estratégias de *ecodesign*.

### **1.4. Objetivos específicos**

- Analisar os principais impactos ambientais relacionados às barragens de contenção dos rejeitos de minério de ferro para reconhecer a importância do reuso do rejeito.

---

<sup>1</sup> A bioconstrução é uma prática que visa desenvolver estruturas ecologicamente mais responsáveis, empregando materiais e/ou métodos que reduzam os impactos ambientais gerados pela obra (INBEC, 2019).

- Identificar na literatura os principais aspectos de *ecodesign* e dos concretos ecoeficientes de modo a subsidiar a proposição do *design* do bloco de paramento com RBMF em sua composição.
- Avaliar o *design* de blocos de paramento compostos com concretos, bem como suas propriedades físicas e mecânicas.
- Propor a configuração do *design* do bloco de paramento com RBMF.
- Obter as propriedades mecânicas e geométricas de interesse tecnológico do bloco proposto.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. A extração mineral e os conflitos socioambientais**

Segundo Sassen (2016), a mineração desenfreada traz consequências irreparáveis para os territórios e suas populações, como nas minas em Ouro Preto-MG, onde centenas de pessoas sofreram (ARAÓZ, 2020). De acordo com Svampa (2019), o extrativismo mineral está associado à Europa e ao desenvolvimento econômico dela, pois a exportação dos minérios da América Latina foi o principal estimulador da economia colonial. Essa extração das riquezas do país, não é apenas relacionado ao que se extrai da terra, muitas vezes, também está associado aos impactos ambientais e às vidas que dependem do local para sobrevivência (ARAÓZ, 2020).

Já no século XXI, com o aumento das exportações de minérios, foi necessário explorar jazidas com baixos teores minerais para aumentar a escala de produção. Com isso, além do investimento em novas tecnologias, novas políticas foram implantadas para facilitar que se conseguisse aval para explorar novos territórios. Como consequência, houve um significativo aumento de infraestruturas produtivas e de descarte de material, como barragens para acondicionamento de rejeitos, que provocaram embates socioambientais com as populações locais (WANDERLEY, 2017).

Porém, com a crise econômica global de 2012, os governos latino-americanos, que veem no extrativismo uma forma de diminuir a pobreza, estimularam as técnicas de exploração mineral, resultando em consequências negativas para a biosfera (SASSEN, 2016). O que, segundo Svampa (2019) potencializou as lutas socioambientais pelas populações do entorno. É válido salientar que a própria abertura de um empreendimento de mineração é responsável por desagradáveis modificações na vida da população, visto que essas atividades necessitam de uma reconfiguração política e cultural do local.

Entende-se, então, que o modelo atual de mineração desencadeia diversos perigos socioambientais e, inúmeros são os conflitos originários de um processo exploratório, sobretudo no estado de Minas Gerais, onde a exploração mineral está demasiadamente presente. No desastre de Mariana no estado mineiro, tendo como exemplo, foi grande a preocupação com a chegada da lama ao mar por meio do Rio Doce.

Sobretudo, em desastres como esse, existem dois grupos para avaliação da saúde nos quais a população é evidenciada (FREITAS, 2019). Sendo um relacionado com as perdas, tanto materiais quanto afetivas, alteração na forma de viver e trabalhar. Motivos que podem causar uma má saúde mental adquirida de imediato ou ampliada com o passar do tempo pelas inseguranças do futuro que são causadas pela demora da resolução dos problemas por parte das empresas responsáveis pelo desastre e pelos órgãos públicos. Já o outro grupo é relativo à exposição aos contaminantes da lama causando danos à saúde a médio e longo prazo.

As lamas das barragens de rejeitos podem apresentar quantidades residuais de metais pesados com alto potencial de agressão à saúde ambiental e humana. Com isso, os efeitos em humanos podem ocorrer em tempos distintos. Sendo três fases, como explica Vormittag (2018):

A fase de Resgate com os efeitos mais agudos, momentâneos ou em dias, como acidentes, afogamentos, lesões ou óbitos, por exemplo; a fase de Recuperação, entre semanas e meses, como as doenças infecciosas, transmissíveis por vetores ou não, intoxicações, lesões de pele, doenças respiratórias, exacerbação de doenças crônicas, como hipertensão e suas consequências – acidente vascular cerebral e infarto do miocárdio; e a fase de Reconstrução, sintomas que surgem entre meses e anos, ou até antes, como as doenças comportamentais, psicológicas e mentais.

Segundo o estudo do Instituto Saúde e Sustentabilidade (VORMITTAG, 2018), os efeitos dessa poluição apresentam em maior percentual em idosos, crianças e pessoas portadoras de doenças crônicas. Ainda que os sintomas evidenciados na pesquisa representem múltiplas doenças que podem ter sido ocorridas devido à intoxicação por metais pesados por meio de ingestão, inalação ou por contato na pele. Essa intoxicação pode causar desde cansaço às doenças respiratórias e neurológicas.

Com isso, tanto na origem como atualmente, a mineração pode ser considerada um dos setores que mais geram impactos na América Latina. O dano é iminente, sendo representado pela escassa utilização do rejeito acondicionados em barragens de contenção.

## **2.2. Principais estratégias de *Ecodesign***

Os cuidados associados às questões ambientais estão intervindo na conduta de empresas de diversos setores, dessa forma, projetar produtos até o fim de sua vida útil já não é mais satisfatório. Com um entendimento pleno do ciclo de vida do produto, atividades como o *Ecodesign* estão sendo introduzidas nas empresas que procuram se manter no mercado. Para reduzir os impactos ambientais do produto desde sua concepção até seu descarte, o *Ecodesign*

deve analisar todo o seu ciclo de vida, controlando e até diminuindo os impactos em etapas posteriores ao descarte do produto, como por meio da logística reversa.

Os autores Stevels (1997) e Frei (1998) consideraram o *ecodesign* um método para aumentar o desempenho ambiental e dos próprios produtos. Já Brezet (1997) e Kleef e Roome (2007) associaram *ecodesign* com inovação. Vercalsteren (2001) acredita que, além de preservar o ambiente, empresas qualificam *ecodesign* e análise do ciclo de vida como forma de imagem pública e concorrência. De acordo com KINDLEIN JUNIOR (2002), o *ecodesign* reduz os impactos ambientais, diminui custos e viabiliza o potencial das empresas de extrair menos matérias primas da natureza.

Para Turra (2002), o *ecodesign* é um método ecologicamente correto de concepção de produtos que, automaticamente, se torna um projeto para o meio ambiente. “Para, Boks (2006) existem alguns fatores que influenciam a implementação do *ecodesign*: pressão externa de requisitos legais; influências econômicas internas; percepção e valorização do consumidor; e disponibilidade de novas tecnologias.”

Porém, a ideia de *Ecodesign* vai muito além de uma mera variante projetual. O *design* do produto interfere diretamente no desenvolvimento dele, tornando necessário a responsabilidade socioambiental com a chegada de novos produtos e o seu desenvolvimento sustentável. Com isso, *Ecodesign* compreende produtos mais ecológicos, retratando a racionalidade do fabricante e criação de produtos por meio de tecnologias mais limpas e evitando a produção de resíduos.

### ***2.2.1. Design e materiais sustentáveis***

Buscando por materiais ambientalmente mais responsáveis, Silva A. (2022) constatou a viabilidade da aplicação de cimento álcali-ativado à base de cinza volante, cinza pesada e escória Basic Oxygen Furnace para fabricação de cobogó, elemento construtivo de destaque no Brasil, utilizado para controlar o conforto em diferentes espaços de uma construção. Com isso, ao unir o *design* e a sustentabilidade para resolver um problema, aprimoramentos são refletidos nos âmbitos econômico, social e ambiental.

Os cobogós também foram bastante utilizados pelos arquitetos Lúcio Costa e Oscar Niemeyer que incentivaram seu uso e fizeram com que ele se tornasse um elemento compositivo presente na arquitetura moderna brasileira. Segundo Vieira *et al.* (2012) esse elemento

arquitetônico foi idealizado como um pré-fabricado que, em série, constitui paredes que demarcam ambientes sem vedá-los integralmente. E que viabiliza o conforto nos ambientes, a entrada da ventilação e iluminação natural, ao mesmo tempo em que diminui a incidência solar, ajustando o espaço em locais de clima quente e úmido.



Figura 1 - Cobogó Breeze Brick

Fonte: (MORAES, 2023)

Como a pesquisa desenvolvida por Silva A. (2022), existem diversas tecnologias de materiais que visam a sustentabilidade, como telhado verde e vegetação em torno da edificação. Embora possuam benefícios, essas técnicas têm desafios em relação aos gastos de instalação e manutenção (Alberto *et al.*, 2012). Posto isso, há desenvolvimento de pesquisas relacionadas diretamente ao concreto que, segundo Lapa (2008), é um material bioreceptivo, devido às condições de rugosidade, porosidade, umidade e composição química. Com isso, A experiência para evitar o crescimento biológico que danifica as edificações, pode ser aplicado ao seu favor, integrando a vida de organismos como microalgas, líquens e musgos aos sistemas construtivos (Blanco *et al.*, 2012).

Desta forma, surge o concreto bioreceptivo, que nada mais é do que um painel de concreto multicamadas que favorece a proliferação de organismos em sua superfície por meio de mudanças em suas propriedades físicas ou no arranjo químico do ligante aplicado, propondo uma nova concepção de jardim vertical. Os painéis de concreto bioreceptíveis foram aplicados nas fachadas do Centro Cultural Aeronáutico de *El Prat de Llobregat*, como mostrado na Figura 2, por meio de uma simulação eletrônica, para que o resultado almejado pudesse ser visualizado.





Figura 2 - Concreto bioreceptivo para criação de fachadas vegetais do Centro Cultural Aeronáutico de Sergi Godia, Berta Barrio, Eloi Juvillà.

Fonte: (METALOCUS, 2013).

Por fim, nota-se que a aplicação de cimento álcali-ativado dos cobogós e os concretos bioreceptivos são resultados de *designs* que visam a sustentabilidade ambiental. Pois, segundo Miller (1998), *design* deva ser compreendido como um processo ou a uma série de atividades. Ainda segundo o autor “*design* não é o produto; o “produto” é o resultado do *design*. Aquilo que foi criado não é um *design*. O design é o processo utilizado para criar essa coisa”. Dessa forma, entende-se que o design não é apenas a volumetria, mas também a materialidade de um produto, considerando a cadeia como um todo.

### **2.2.2. Ecoconcretos**

A construção civil é responsável por aproximadamente 75% da exploração de recursos naturais existentes ao mesmo tempo em que é a indústria que mais gera resíduos sólidos, produzindo, então, um nível elevado de poluição. Dessa forma, o concreto ecológico derivou da escassez de reutilizar materiais desvalorizados da construção civil e explorar alternativas mais econômicas e ecologicamente corretas ao uso do concreto.

Todavia, é importante salientar que o reuso deve ser comedido, assegurando a qualidade do concreto e buscando sempre desfrutar ao máximo de suas propriedades, pois os rejeitos têm alto potencial para a fabricação de concretos especiais. E, a carência de cuidado ecológico na construção civil brasileira gerou danos ambientais irremediáveis, como assoreamento de rios, que foram acentuados pelo êxodo rural, que motivou uma alta necessidade de novas edificações (FRAGA, 2006).

Com isso, o setor da construção passou a se preocupar e pesquisar sobre essas necessidades, concluindo que produtos como restos de cerâmicas são capazes de substituir até 40% do cimento usado na fabricação do concreto, sendo um avanço ecológico considerável. Da mesma forma, é possível que a brita em concreto convencional seja substituída por materiais alternativos que não prejudiquem as propriedades do concreto.

### **2.3. Deslocamento de massa e riscos**

A ação da gravidade pode provocar o deslocamento de solos e rochas, fenômeno conhecido como 'movimento de massa', que pode ser agravado pela presença de água sendo responsáveis por danos e prejuízos econômicos e sociais. E, ações como desflorestamentos, aterramentos, cortes de taludes, entre outros impactos ambientais, têm aumentado a vulnerabilidade desses eventos que têm assumido particularidades e magnitudes variadas que acarretam proporções trágicas (MCTI, 2021). Especialmente, quando ocorrem assentamentos irregulares em regiões de terreno acidentado que não suporta as alterações espaciais provocando variados impactos ambientais (RIFFEL *et al.*, 2016).

Devido às condições climáticas notadas por verões chuvosos em regiões acidentadas, o Brasil é considerado um país bastante vulnerável aos movimentos de massa (MCTI, 2021). Por essa razão, de acordo com Furlan *et al.* (2011), há uma demanda relacionada à gestão das áreas que estão expostas a diversos eventos e que intensificam os riscos. As classes mais vulneráveis, sem possibilidade de moradia e terrenos legalizados, buscam outras opções para se estabelecerem, ocupando áreas que não despertam interesse do mercado e que apresentam riscos geológicos (CARVALHO, 2006).

Segundo Macedo *et al.* (2022), no Brasil, entre 1988 e junho de 2022, foram 959 eventos registrados em 269 municípios de 16 estados, totalizando 4146 mortes. A Figura 3 ilustra a suscetibilidade de deslizamentos no Brasil.

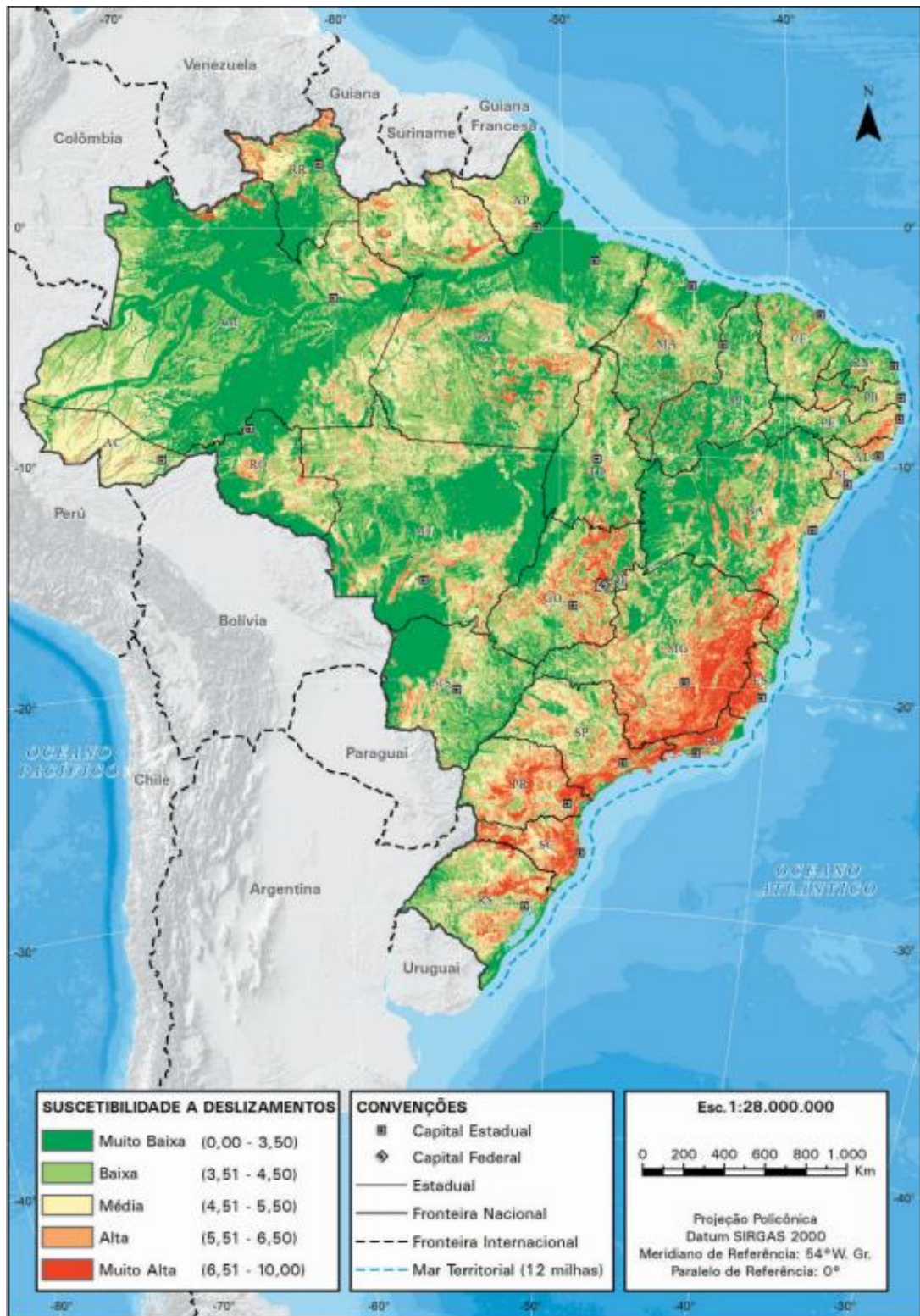


Figura 3 – Suscetibilidade a deslizamentos.

Fonte: IBGE (2019).

A Figura 3 mostra que 5,7% do território nacional tem suscetibilidade muito alta a deslizamentos e 10,4% suscetibilidade alta e, a maior parte dessas áreas é centralizada nas

regiões Sudeste (23,2% com suscetibilidade muito alta e 24,6% suscetibilidade alta) e Sul (15,6% com suscetibilidade muito alta e 24,5% suscetibilidade alta).

No período de 2016 a 2020, levando em consideração os municípios observados na pesquisa de Pinto *et al.* (2021), o Estado de Minas Gerais registrou 874 ocorrências de desastres naturais, nos quais os movimentos de massa foram os mais comuns com 269 ocorrências. E, por meio de um mapeamento no município de Ouro Preto (sede e distrito de Cachoeira do Campo) em Minas Gerais, o Serviço Geológico do Brasil – SGB elaborou a Carta de Perigo a Movimentos Gravitacionais de Massa, na qual foram identificadas 174 áreas sujeitas a deslizamentos em locais de expansão urbana (SGB, 2023). De acordo com os dados coletados, 29 setores de risco estão nos bairros Itacolomy, Lagoa, Nossa Senhora do Carmo, Novo Horizonte e Vila Aparecida, enquanto 145 estão localizados no distrito de Cachoeira do Campo, em áreas já urbanizadas ou que podem ser ocupadas. Foram apontadas 169 áreas como de risco para deslocamento de massa, destas, 26 são na sede e 143 são no distrito. Adicionalmente, há 3 áreas com risco de queda de blocos rochosos e 2 expostas a detritos em movimento.

Para prevenir ou evitar consequências negativas decorrentes de deslizamentos, é importante compreender as causas naturais e humanas que os provocam e adotar medidas preventivas e corretivas (Carvalho *et al.*, 2006). Com o objetivo de reduzir os perigos, frequentemente, são realizadas obras de contenção das encostas para proteger a população. Até 2014, foram investidos cerca de R\$10 bilhões pelo governo federal em obras para evitar inundações e R\$2,3 bilhões em obras de contenção de encostas.

#### **2.4. Estabilidade de talude com blocos de paramento de contenção de encostas**

Segundo Gerscovich (2010), para a execução de muro de contenção de encostas, necessitam serem estudadas algumas condições como ilustra a Figura 4.

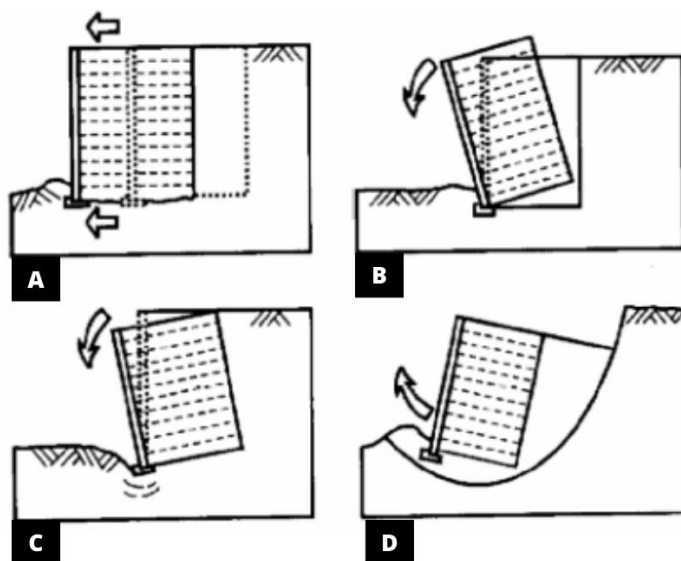


Figura 4 - Estabilidade de Muros de Arrimo: (A) Deslizamento da base, (B) Tombamento, (C) Capacidade de carga e (D) Ruptura global.

Fonte: Adaptado de Gerscovich (2010).

A Figura 4, ilustra os 4 fatores de risco: o deslizamento da base, o tombamento, a capacidade de carga e a ruptura global. Deslizamento da base do talude refere-se ao processo em que a parte inferior de uma encosta desliza devido a fatores que podem comprometer a estabilidade do talude. Sendo o tombamento o fenômeno no qual uma parte do material que compõe um talude se desloca ou inclina de maneira pronunciada.

#### 2.4.1. Segurança contra o deslizamento

A segurança contra o deslizamento se apoia na investigação do equilíbrio das forças horizontais atuantes, com a aplicação de um fator de segurança adequado (GERSCOVICH, 2010). A Figura 5 ilustra duas medidas para aumentar esse fator de segurança.

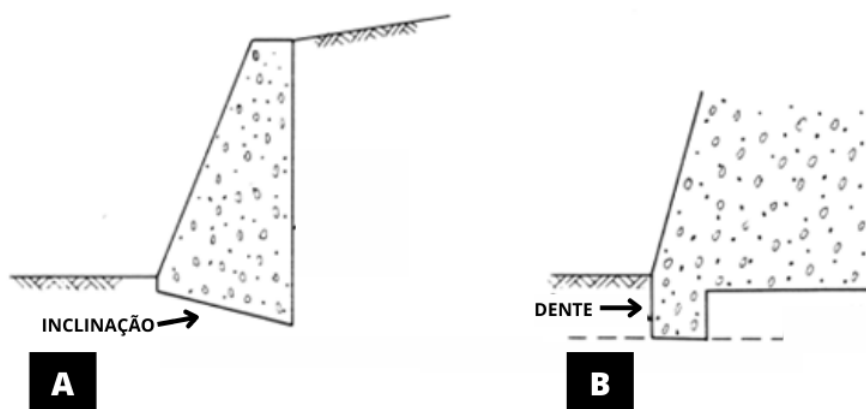


Figura 5 - Medidas para aumentar o Fator de Segurança contra o deslizamento da base do muro:

(A) Inclinação da base do muro e (B) construção de um “dente”.

Fonte: Adaptado de Gerscovich (2010).

Pela Figura 5(A) é possível entender que uma forma de diminuir os riscos de deslizamentos é por meio de uma determinada inclinação da base do muro de modo a diminuir o empuxo sobre o solo; e, a outra forma seria o prolongamento para o interior da fundação por meio de um “dente”.

#### **2.4.2. Segurança contra o tombamento**

Para que o muro não gire e tombe em torno da extremidade externa (ponto A), o momento produzido pela massa do muro (momento resistente) necessita ser maior do que o momento atuante em relação ao ponto A (momento solicitante), como sugere a Gerscovich (2010) e a 27Figura 6.

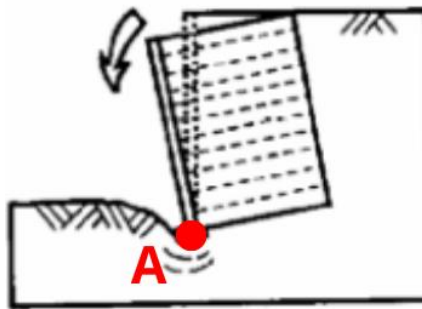


Figura 6 - Segurança contra o tombamento.

Fonte: Adaptado de Gerscovich (2010).

#### **2.4.3. Capacidade de Carga da Fundação**

De acordo com Gerscovich (2010), capacidade de carga da fundação se resume na investigação da segurança buscando inibir rupturas e deformações exorbitantes no terreno, tendo em consideração, quase sempre, um muro rígido e distribuição de tensões linear por toda a extensão da base dele (Figura 7).

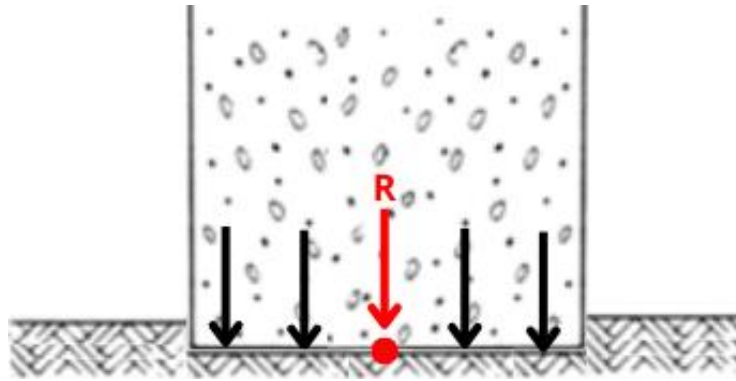


Figura 7 - Capacidade de carga da fundação.

Fonte: Adaptado de Gerscovich (2010).

Se a resultante das forças atuantes no muro se encontrar no ponto central de sua base, o terreno estará sujeito somente às tensões de compressão, evitando, assim, pressões de tração.

#### 2.4.4. Segurança contra a Ruptura Global

Para a análise da estabilidade geral, deve-se investigar a hipótese de ruptura do terreno por meio de escorregamento ABC (Figura 8), se apoiando na apuração de um meio de ruptura global do maciço (GERSCOVICH, 2010).

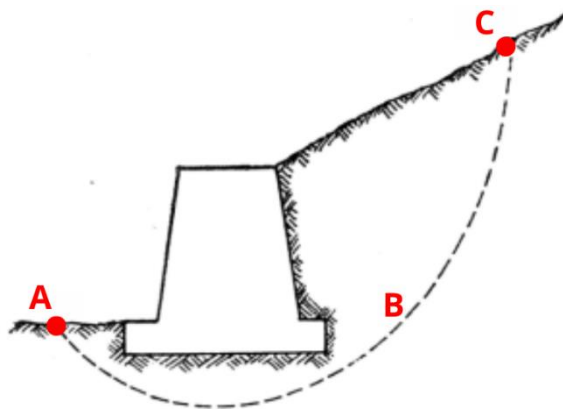


Figura 8 - Estabilidade Global.

Fonte: Adaptado de Gerscovich (2010).

Dessa forma, como mostra a Figura 8, a estrutura de contenção é tida como parte da massa do solo, que pode se deslocar como um corpo rígido. Garantindo, assim, um coeficiente de segurança à rotação de uma massa de solo que se desloca ao longo de uma superfície cilíndrica.

## 2.5. Sistemas de contenção de encostas com blocos de paramento de contenção

Para o sistema de contenção de taludes com blocos de paramento de contenção, o solo é reforçado com geogrelhas que, em conjunto com o muro, consiste em uma construção consideravelmente rápida, utilizando o solo local como material para o aterro, diminuindo a necessidade de bota-fora e de importação de solo na obra (HUESKER, 2016). A Figura 9 ilustra o corte de um terreno com o solo reforçado com geogrelhas.

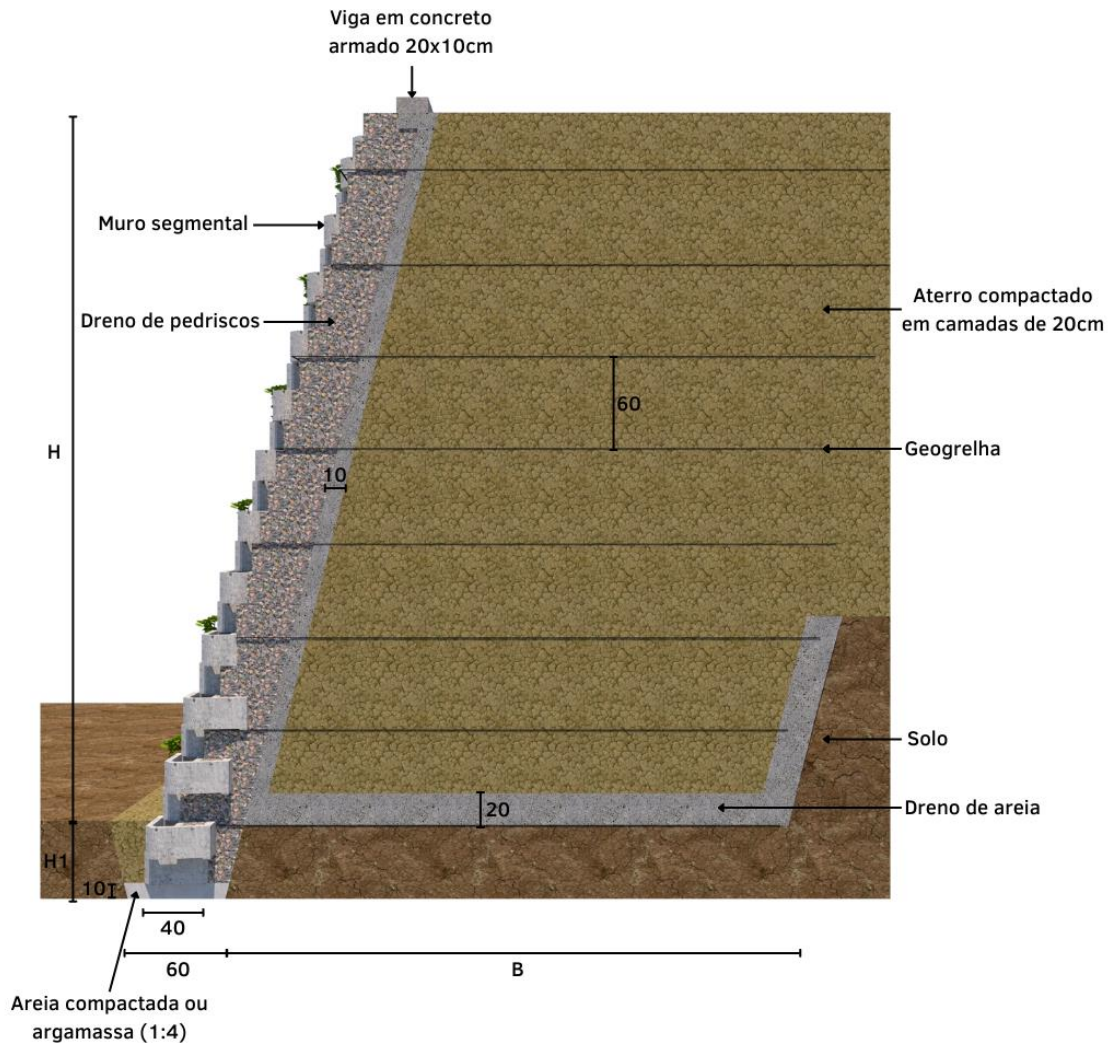


Figura 9 - Solo reforçado com geogrelhas e muro com blocos de paramento de contenção de encostas.

Fonte: Elaborado pela autora.

Geogrelha é um geossintético com elementos em forma de grelhas. Um geossintético por sua vez, segundo a NBR ISO 10318-1 (ABNT, 2018), são produtos poliméricos, industrializados, desenvolvidos para desempenhar funções como: reforço, filtração, drenagem, proteção, separação, impermeabilização e controle de erosão superficial. Para garantir a



resistência na conexão entre as geogrelhas e os blocos, o Muros Terrae® em parceria com a Huesker Ltda, fabricante das geogrelhas Fortrac®, afirmam que seus muros possuem conexão por atrito e intertravamento da geogrelha entre os blocos e a brita que os preenche, como ilustra a Figura 10. Isso garante que toda área de conexão trabalhe de modo a assegurar a resistência adequada, sem risco de arrancamento ou desprendimento de blocos (HUESKER, 2016).

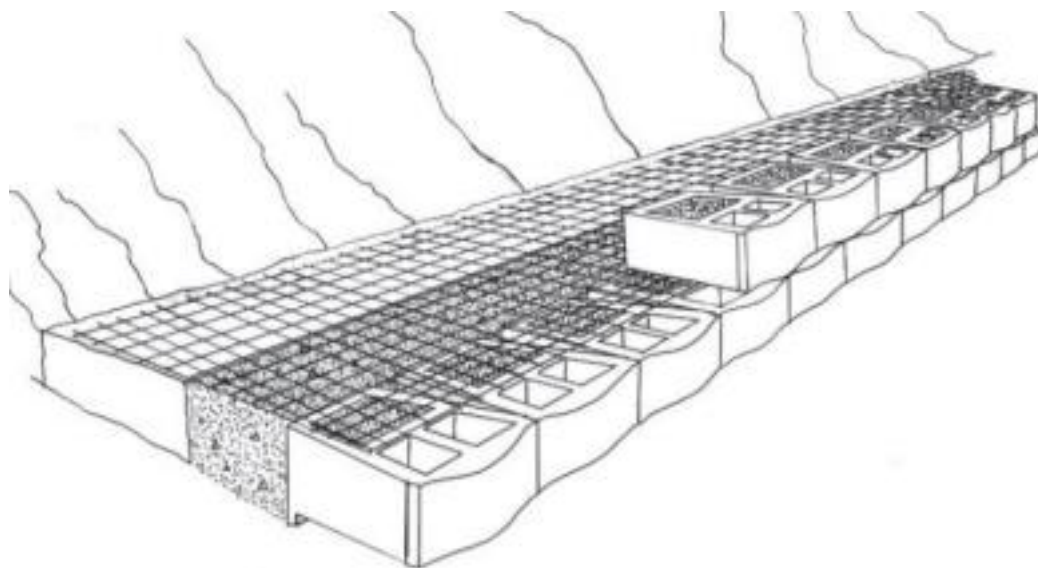


Figura 10 - Colocação da camada de blocos sobre a geogrelha.

Fonte: Contenções - teoria e aplicações em obras, 2019.

O Muros Terrae e Huesker (2016) afirmam que a construção dos Muros Terrae com utilização das geogrelhas Fortrac® é a seco (sem utilização de argamassa), rápida, simples, versátil na execução de patamares, curvas e cantos, com custo de implantação muito atrativo. É um sistema auto-drenante, que utiliza o próprio solo local como material de aterro e diminui entulho na obra.

As geogrelhas são utilizadas em sistemas de contenção para estruturas de solos que podem ser empregadas em diversas áreas com a função principal de reforço e estruturação do maciço. Os solos, que possuem baixa resistência à tração, podem receber esse reforço de modo a obter a resistência necessária. O maciço reforçado, no que lhe concerne, trabalha como muro de gravidade no qual a estabilidade é garantida pelo peso próprio da estrutura (BRAJA & SOBHAN, 2007). A prescrição desse sistema em solos deve-se ao fato de suas malhas serem dimensionadas com intuito de existir uma boa conexão entre suas fibras e o maciço (ALMEIDA & TOMA, 2011).

Como dito anteriormente, em conjunto com o sistema de solos reforçados com geogrelhas, muitas vezes emprega-se a utilização dos blocos de paramento de contenção de encostas para construção de muros de contenção ou apenas como paramento das encostas (HUESKER, 2016), tendo como vantagens a resistência às intempéries e estética visual.

Blocos de paramento de contenção de encostas são blocos pré-moldados intertravados feitos em cerâmica ou concreto que podem ser fabricados com diferentes formatos, texturas e cores e, quando arranjadas em conjunto, concebem grandes áreas de superfícies. Usualmente os blocos são ordenados por encaixe a seco, sem a necessidade de argamassas durante a realização da obra. Para diminuir as debilidades provocadas pela inexistência da argamassa de assentamento, os blocos de paramento de contenção de encostas, em geral, possuem formatos especiais (Figura 11) com encaixes que possibilitam uma maior estabilidade ao sistema construtivo (SALVADOR FILHO, 2007).

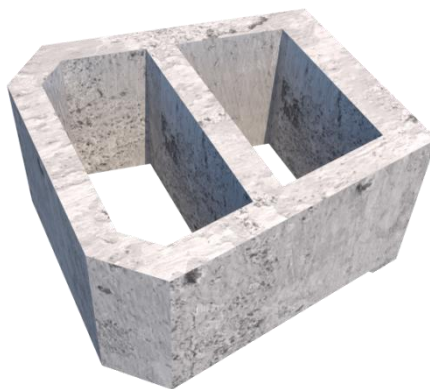


Figura 11 - Exemplo de um blocos de paramento de contenção de encostas.

Fonte: Elaborado pela autora.

Devido a não utilização de argamassa, em comparação à alvenaria convencional, a produtividade dos muros é maior e os gastos e desperdícios com argamassa são inexistentes. Entretanto não são atribuídas aos muros a seco as vantagens da utilização de argamassa como são observadas nas alvenarias convencionais, como o fechamento das juntas, absorção de esforços de flexão, uniformização da distribuição de esforços e compensação de tolerâncias dimensionais dos blocos (ROCHA *et. al.*, 2013).

Uma objeção à fabricação dos blocos de paramento de contenção de encostas é a dificuldade de equipamentos convencionais em produzir blocos em série, de forma econômica, e com menos de 1,5 mm de variação dimensional. Segundo Werf (1999), desigualdades dessa

amplitude são suficientes para ocasionar erros no assentamento, com aberturas nas juntas logo após a terceira ou quarta fiada.

Os blocos de concreto para contenção ou paramento de encostas são compostos por Cimento Portland, agregado miúdo e agregado graúdo. Comumente utiliza-se o cimento CPV ARI para promover alta resistência inicial e otimização do tempo de produção. Devido os equipamentos para a confecção dos blocos apresentarem alta intensidade de vibração e prensagem, é fundamental o uso de concreto com baixa umidade para que ele não exsude. Após a moldagem, os blocos são acondicionados à temperatura ambiente, de forma a não receberem insolação diretamente. Após 7 dias de cura, os blocos já possuem grande parte de sua resistência final e podem ser comercializados (XAVIER, 2019).

A utilização de blocos de paramento de contenção de encostas facilita o processo construtivo e, conseqüentemente resultam em obras menos deformáveis e com bom acabamento estético (BRUGGER & MONTEZ, 2003).

No Brasil não se tem normas específicas que regulamentam a fabricação de blocos de paramento de contenção de encostas, contudo existem outras que podem subsidiar o entendimento dessas características necessárias a este tipo de produto.

A Norma Britânica BS 8006-1:2010 (2010), expõe que os blocos de paramento de contenção de encostas utilizados em muros devem ser feitos de concreto denso não reforçado de alta durabilidade, adequados para meios mais agressivos, como os requeridos para rodovias e estruturas de retenção. Os blocos não devem ser os comumente usados para paredes internas em edifícios.

Os blocos devem estar em conformidade com a Norma BS EN 771-3: 2003 + A1 (BS EN, 2003), bem como:

- Máxima absorção de água de 6% quando testado de acordo com o método de BS 7263-1: 2001 (BS EN, 2001), Anexo C;
- Densidade mínima: 2.100 kg/m<sup>3</sup>;
- Teor mínimo de cimento: 365 kg/m<sup>3</sup>;
- Relação máxima água/cimento: 0,5.

Os pigmentos usados para a coloração dos blocos de concreto devem estar em conformidade para BS EN 12878 (BS EN, 2014).

De acordo com a Norma Britânica BS EN 771-3 (2003), a resistência à compressão média mínima permitida deve ser 7,3 MPa para blocos de concreto maciço de 440 mm x 215 mm x 100 mm.

No Brasil, os blocos vazados de concreto são fabricados com as características físicas e mecânicas indicadas pela NBR 6136 (2016). O conceito de "bloco vazado" é utilizado quando ele dispõe de área líquida inferior ou igual a 75% da área bruta. Os blocos devem ser compactos, ter aspecto homogêneo, arestas vivas e não possuir trincas ou outras imperfeições que prejudique o assentamento, as características mecânicas e a durabilidade.

## **2.6. Design de blocos de paramento de contenção de encostas**

A inovação está em todas as áreas, incluindo as atividades mais clássicas como indústrias de bens de consumo e serviço. Associado à inovação está o *design*, que reflete no desenvolvimento da funcionalidade e competitividade no mercado (SILVA V. C., 2016). Segundo Cardoso (2008), "*Design*" é um substantivo que além de atribuir ideia de desígnio, ou seja, intenção de realizar algo concede a ideia de arranjo e configuração. Para (LÖBACH, 2001) "O conceito de *design* compreende a concretização de uma ideia em forma de projetos ou modelos, mediante a construção e configuração resultando em um produto industrial passível de produção em série. O *design* estaria então realizando o processo configurativo".

O interesse em relação à sustentabilidade tem causado reflexões pertinentes sobre o papel do *design*. Hoje em dia encontram-se no mercado, variadas alternativas tecnológicas com diferentes materiais (MOHAMAD *et. al.*, 2015) e técnicas construtivas de encaixe a seco dos blocos de paramento de contenção de encostas que propõem, sobretudo, ampliar a produção e reduzir a perda de materiais e de mão de obra, além de garantir qualidade total à estrutura.

Para diminuir os possíveis erros causados pela inexistência de argamassa de assentamento, os sistemas de blocos intertravados dispõem de *designs* diferentes (Figura 12). Alguns encaixes que dão mais segurança ao sistema. E cada modelo de alvenaria é classificado a partir do *design* do bloco, ou seja, o material utilizado na fabricação, forma de encaixe entre os blocos e a utilização deles. Em sistemas que não utilizam encaixes geométricos entre os blocos, as juntas podem receber argamassa reforçada, cola, grauteamento ou peças plásticas (SALVADOR FILHO, 2007).

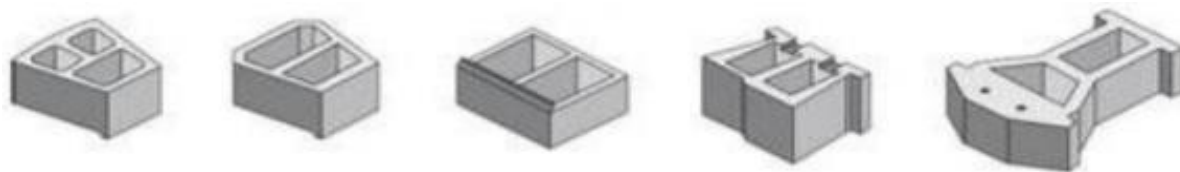


Figura 12 - Alguns *designs* de blocos de paramento de contenção de encostas.

Fonte: Muros e taludes de solo reforçado: projeto e execução (ERLICH & BECKER, 2009).

Os blocos de paramento de contenção de encostas dispõem de diferentes *designs* e propriedades desde peso e dimensões até a resistência à compressão (Figura 12), o que influencia na inclinação do muro bem como a máxima altura que ele pode ter. A determinação do modelo do bloco a ser empregado em uma obra de contenção está ligada às características pretendidas. A depender da modulação desejada, são escolhidos diferentes *designs* dos blocos. Além disso, a resistência das peças vai estabelecer o tipo de construção é ideal.

Por meio da Tabela 1 é possível conferir os dados referentes a quatro blocos comercializados.

Tabela 1 - Tabela de propriedades dos blocos comercializados.

Fonte: Elaborado pela autora.



		<b>Bloco 1</b>	<b>Bloco 2</b>	<b>Bloco 3</b>	<b>Bloco 4</b>
Dimensões do bloco	Altura (cm)	19,5	19,5	19,5	19,5
	Largura (cm)	40	40	40	40
	Profundidade (cm)	40	30	40	30
	Saliência para travamento (cm)	4	2	2	2
	Altura máxima do muro (m)	5	5	20	18
	Peças/m <sup>2</sup> (un)	13	13	13	13
<i>Design</i> do paramento	Inclinação de face do muro	45° a 76°	45° a 76°	84°	84°
Propriedade mecânica	Resistência à compressão (MPa)	6	6	6 a 18	6 a 18
Propriedade dos materiais	Peso referencial (kg)	25–30	22– 26	28–33	27–30
	Tonalidades	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza

O Bloco 1 é um dos mais tradicionais no Brasil. O emprego dele é frequente em obras de contenção (HUESKER, 2016) e o vazio frontal possibilita o preenchimento com solo para o plantio de vegetação, proporcionando a inserção de jardins verticais nos paramentos.

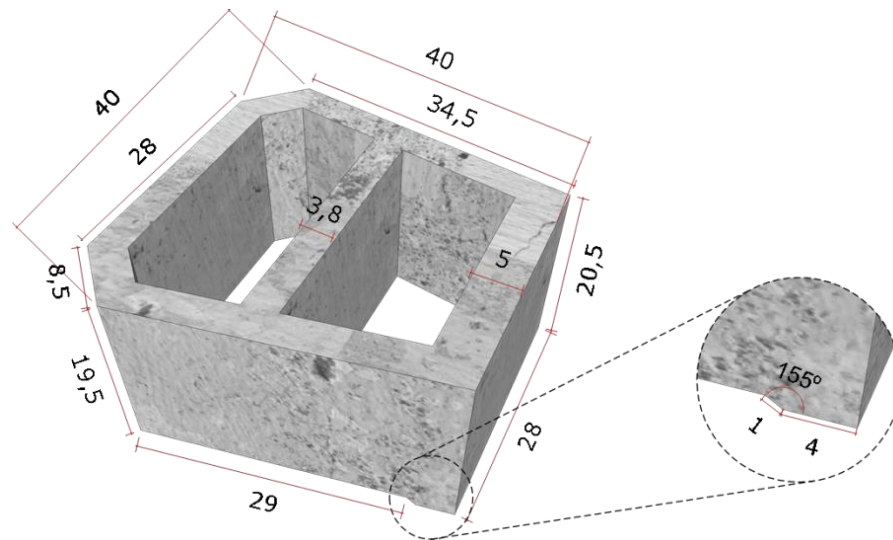


Figura 13 - Bloco 1.

Fonte: Elaborado pela autora.

A Tabela 1 e a Figura 13 mostram que o Bloco 1 possui as seguintes dimensões: 19,5 cm de altura, 40 cm de largura e 40 cm de profundidade, o que faz com que em 1 m<sup>3</sup> caiba 13 unidades dele. O bloco possui uma saliência de 4cm que, além de servir como travamento, determina a inclinação do muro. O bloco pesa entre 25 e 30 kg e dispõe de 6 MPa de resistência à compressão. Os muros feitos com a utilização do Bloco 1 tem altura máxima de 5m e a inclinação deve ser entre 45° e 76°, como mostra a Figura 14 (A).

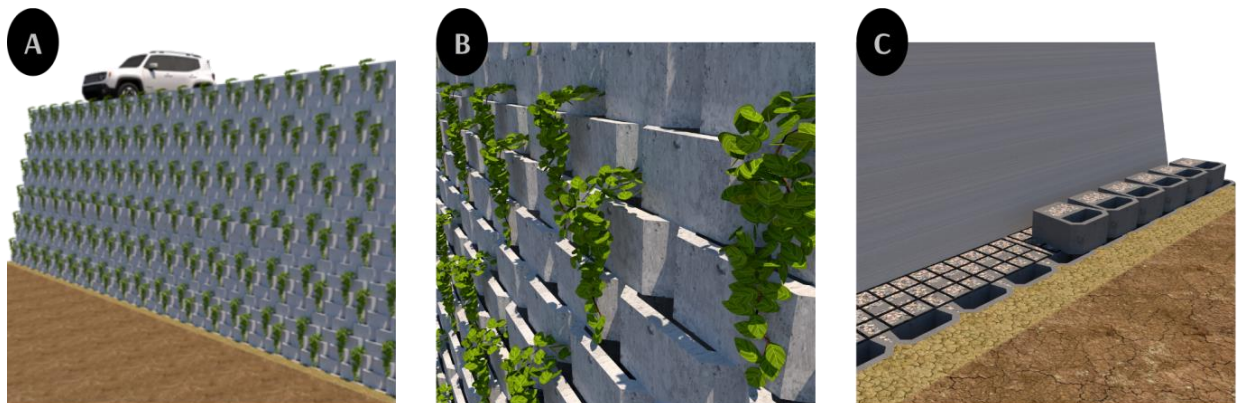


Figura 14 - Muro com blocos de paramento de contenção de encostas com Bloco 1.

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 14 (A) ilustra um muro com blocos de paramento de contenção de encostas com utilização do Bloco 1 com a altura máxima que ele pode alcançar (5m) e com flores plantadas no paramento. A Figura 14 (B) ilustra o muro mais aproximado a fim de mostrar

detalhadamente o efeito final do muro com as floreiras. Enquanto a Figura 14 (C) demonstra a forma como são colocados os blocos e as geogrelhas.

De acordo com a Tabela 1 e Figura 15, o Bloco 2 possui as seguintes dimensões: 19,5 cm de altura, 40 cm de largura e 30 cm de profundidade, o que faz com quem em 1m<sup>3</sup> caibam 13 unidades dele. O bloco possui uma saliência de 2cm que, além de servir como travamento, determina a inclinação do muro. O bloco pesa entre 22 e 26 kg e dispõe de 6 MPa de resistência à compressão.

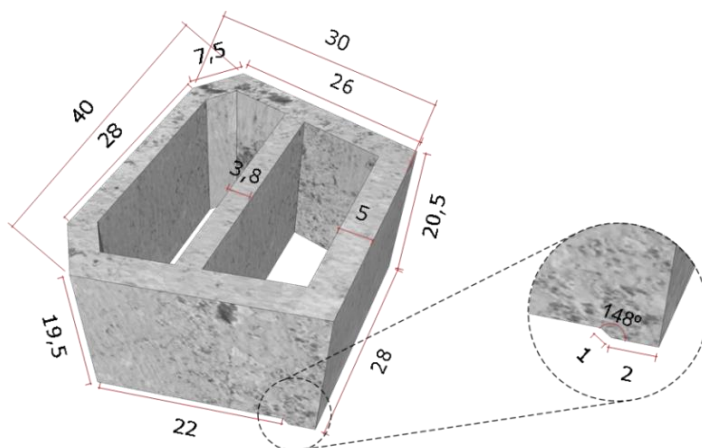


Figura 15 - Bloco 2.

Fonte: Elaborado pela autora.

Os muros feitos com a utilização do Bloco 2 tem altura máxima de 5 m e a inclinação deve ser entre 45° e 76°, como mostra a Figura 16.

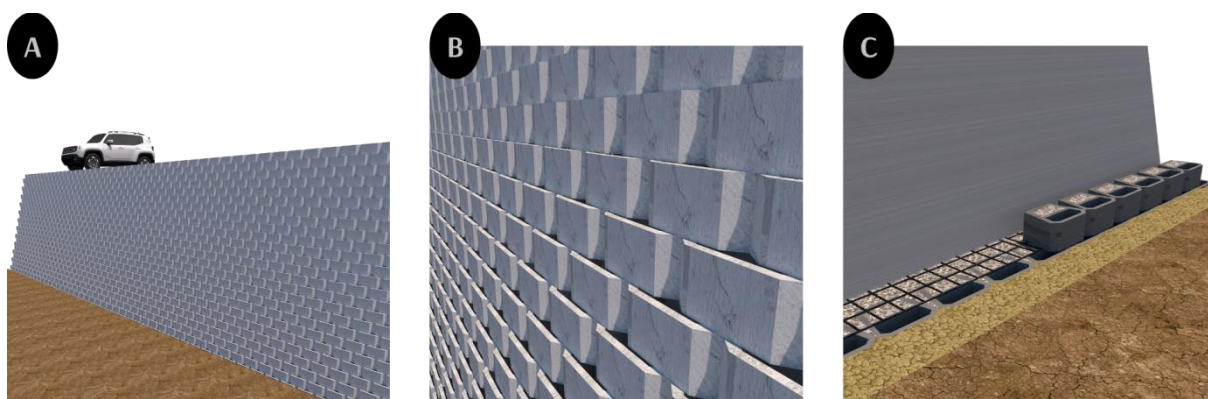


Figura 16 - Muro com blocos de paramento de contenção de encostas com Bloco 2.

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 16 (A) ilustra um muro com blocos de paramento de contenção de encostas com utilização do Bloco 2 com a altura máxima que ele pode alcançar (5m). A Figura 16 (B)

ilustra o muro mais aproximado a fim de mostrar detalhadamente o efeito final do muro. Enquanto a Figura 16 (C) demonstra a forma como são colocados os blocos e as geogrelhas.

Conforme a Tabela 1 e a Figura 17, o Bloco 3 possui as seguintes dimensões: 19,5 cm de altura, 40 cm de largura e 40 cm de profundidade, o que faz com que em 1 m<sup>3</sup> caiba 13 unidades dele. O bloco possui uma saliência de 2cm que, além de servir como travamento, determina a inclinação do muro. O bloco pesa entre 28 e 33 kg e dispõe de 6 a 18 MPa de resistência à compressão.

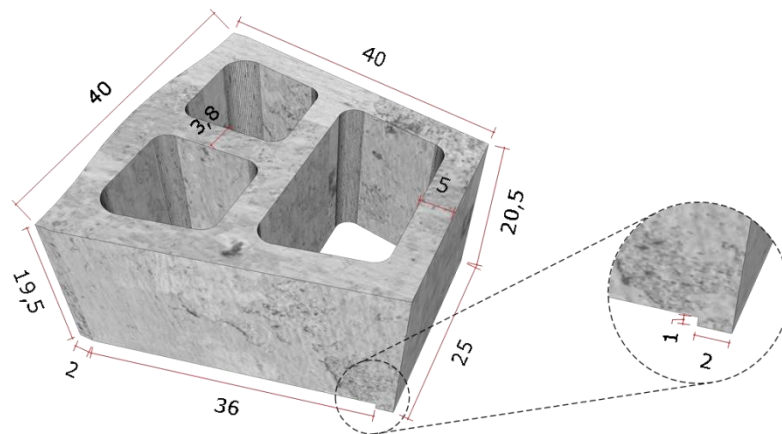


Figura 17 - Bloco 3.

Fonte: Elaborado pela autora.

Os muros feitos com a utilização do Bloco 3 tem altura máxima de 20 m e inclinação de 84°, como mostra a Figura 18.

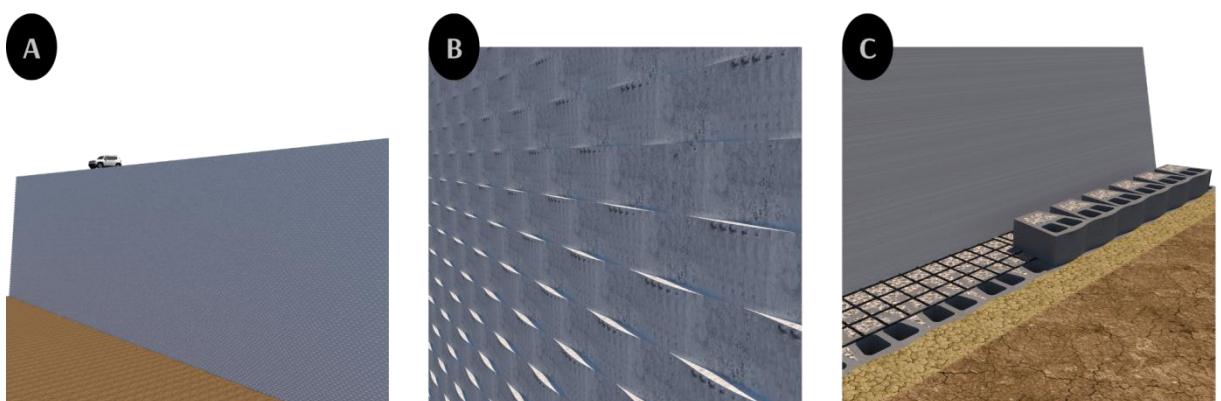


Figura 18 - Muro com blocos de paramento de contenção de encostas com Bloco 3.

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 18 (A) ilustra um muro com blocos de paramento de contenção de encostas com utilização do Bloco 3 com a altura máxima que ele pode alcançar (20m). A Figura 18 (B)



ilustra o muro mais aproximado a fim de mostrar detalhadamente o efeito final do muro. Enquanto a Figura 18 (C) demonstra a forma como são colocados os blocos e as geogrelhas.

Como mostra a Tabela 1 e a Figura 19, o Bloco 4 possui as seguintes dimensões: 19,5 cm de altura, 40 cm de largura e 30 cm de profundidade, o que faz com quem em 1 m<sup>3</sup> caiba 13 unidades dele. O bloco possui uma saliência de 2cm que, além de servir como travamento, determina a inclinação do muro.

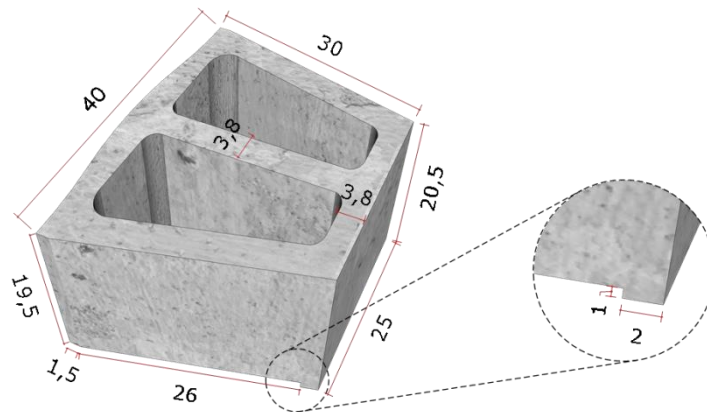


Figura 19 - Bloco 4.

Fonte: Elaborado pela autora.

O bloco pesa entre 27 e 30 kg e dispõe de 6 a 18 MPa de resistência à compressão. Os muros feitos com a utilização do Bloco 4 tem altura máxima de 18 m e inclinação de 84°, como mostra a Figura 20.

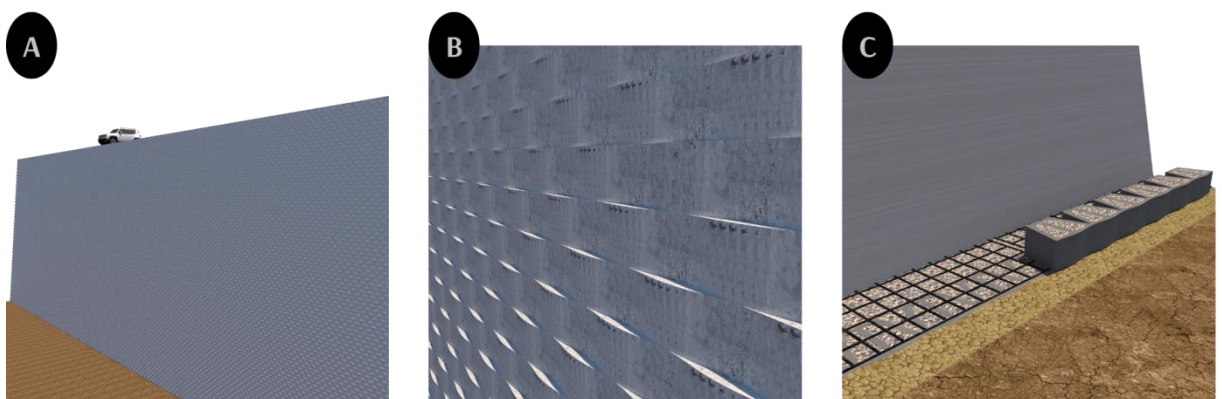


Figura 20 - Muro com blocos de paramento de contenção de encostas com Bloco 4.

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 20 (A) ilustra um muro com blocos de paramento de contenção de encostas com utilização do Bloco 4 com a altura máxima que ele pode alcançar (20m). A Figura 20 (B)

ilustra o muro mais aproximado a fim de mostrar detalhadamente o efeito final do muro. Enquanto a Figura 20 (C) demonstra a forma como são colocados os blocos e as geogrelhas.

Com as análises feitas a partir da Tabela 1, nota-se que todos os blocos possuem *designs* com cavidades (furos) que, durante a construção do muro, serão preenchidos por materiais drenantes (Brita 1 ou areia) para evitar que haja saturação da massa de solo compactado (HUESKER, 2016). Observa-se, também, que todos os blocos possuem massas consideravelmente altas comparadas a diversos blocos existentes no mercado, com isso, as cavidades ajudam na diminuição de suas massas ao mesmo tempo em que facilita o manuseio no canteiro de obra.

As espessuras entre as extremidades externas e a extremidade das cavidades de todos os blocos possuem a mesma medida (3,7cm). É notório que os valores das massas são diretamente proporcionais às dimensões e resistências à compressão dos blocos e alturas máximas dos muros. Visto que as massas dos blocos com dimensões, resistências à compressão e que alcançam maiores alturas de muro são mais elevadas. Para exemplificar, o Bloco 1 possui, em média, 12,72% mais massa que o 2 e 25% mais profundidade. Comparando o 2 e o 3 que possuem mais diferenças entre si nota-se que o Bloco 2 possui, em média, massa 21,05% menor, profundidade 25% menor, atinge altura 25% inferior e possui, em média, 50% da resistência à compressão que o 3.

A partir das representações de cada bloco, pode-se observar que todos possuem uma “quina viva” que, além de servir como travamento do muro, pois não há argamassa de assentamento, determina a inclinação do muro. Outra característica que é observada em todos os blocos é a padronização da cor, pois como não é utilizado pigmento, prevalece a cor cinza do cimento Portland.

### 3. METODOLOGIA

Após conhecer os *designs* dos blocos mencionados nas bibliografias, será procedida a proposição, por métodos projetuais, da configuração do *design* do bloco de paramento com RBMF. Por fim, a pesquisa experimental será procedida por meio de ensaios laboratoriais realizados segundo critérios normativos brasileiros, a fim de investigar as propriedades físicas e mecânicas dos concretos de RBMF, a serem utilizados como estratégia de *ecodesign* aplicada ao novo modelo de bloco.

Os procedimentos experimentais de caracterização física e química do RBMF foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de Ouro Preto – LMC<sup>2</sup>/DECIV/UFOP. No Laboratório de Materiais Compósitos da Universidade Federal de Viçosa - DECIV/UFV foram averiguadas as distribuições granulométricas dos agregados convencionalmente utilizados no Brasil; feitas as moldagens dos corpos de prova temperatura média de 25,6°C e umidade do ar em 71%. As resistências mecânicas dos concretos também foram analisadas neste laboratório. As caracterizações físicas dos concretos foram avaliadas no laboratório de caracterização do Centro Tecnológico de Geotecnia Aplicada da Universidade Federal de Ouro Preto - CTGA/NUGEO/UFOP.

#### 3.1. Materiais

O aglomerante adotado para a produção dos concretos destinados a fabricação dos blocos de paramento de contenção de encostas foi o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial CP V-ARI MAX (Cimento Nacional, Sete Lagoas, MG) fabricado de acordo com a NBR 16697 (ABNT, 2018). Optou-se pela utilização desse aglomerante por se tratar de um cimento com elevado grau de pureza e indicado para desformas rápidas das peças concretadas (Cimento Nacional, 2018), características consideráveis para um concreto seco.

Para substituição parcial dos agregados miúdos naturais e coloração dos concretos foi utilizado o RBMF proveniente da Barragem Maravilhas II, instalada em Itabirito, MG.

Adotou-se, como agregado miúdo convencionalmente utilizado no Brasil, a Areia Natural (AN) proveniente do Rio Piranga em Porto Firme - MG. E, como Areia Artificial (AA), utilizou-se o pó de pedra originário de São Geraldo - MG.

Foi usada pedra britada de origem gnáissica (Brita 0) da faixa granulométrica 4,75-12,5 mm 0, proveniente da Mineração Martins Lana - MG, como agregado graúdo.

O aditivo plastificante utilizado foi o Murasan BWA 16 (MC Bauchemie) indicado para a melhoria de concretos com baixa relação água/cimento.

### **3.2. Beneficiamento do RBMF**

O RBMF foi extraído da Barragem Maravilhas II levado para o Laboratório de Materiais de Construção Civil – LMC<sup>2</sup>/DECIV/UFOP. O material foi seco ao ar livre e, posteriormente, em estufa a (100°C ± 5°C) por 24±2h. Após a secagem, para obtenção dos finos de rejeito, o material foi destorroado em almofariz de porcelana para facilitar a separação granulométrica.

### **3.3. Caracterização química do RBMF**

A composição química do RBMF foi identificada por meio de Fluorescência de Raios-X (FRX) com a utilização do aparelho PANanalytical Epsilon 3x.

### **3.4. Caracterização física dos materiais**

#### **3.4.1. Granulometria**

A distribuição granulométrica do aglomerante foi determinada pelo fabricante mediante as normas NBR 11579 (ABNT, 2012) e NBR 9202 (ABNT, 1985). A granulometria do RBMF foi caracterizada por meio do granulômetro a laser (Bettersize 2000). Enquanto as dos demais agregados foram determinadas pelo processo descrito na NBR 248 (ABNT, 2007).

#### **3.4.2. Massa específica**

As análises das massas específicas foram utilizadas para definir um comparativo entre os agregados convencionalmente utilizados no Brasil e o obtido pelo processamento do RBMF. Os ensaios de massa específica dos agregados miúdos e graúdo foram feitos em conformidade com os limites prescritos pela NBR 52 (ABNT, 2009) e NBR 53 (ABNT, 2009) respectivamente. Enquanto do aglomerante e aditivo foram aferidas pelos fabricantes.

#### **3.4.3. Dimensionamento do traço**

O concreto foi moldado de modo a se obter massa com alto grau de compacidade, conforme critério de empacotamento fundamentado no modelo de Andreasen Modificado (ORTEGA, *et al.*, 1997).

Para a produção do concreto utilizou-se o RBMF em substituição parcial, em volume, de 25% ao volume total de agregados miúdos das misturas. Como mostra a Tabela 1.

O conhecimento do grau de compactação pode ser compreendido como a seleção adequada das granulometrias das partículas e sua correta proporção, visando sólidos com densidade controlada (ORTEGA, *et al.*, 1997). Dessa maneira, os vazios intergranulares maiores serão preenchidos por partículas menores, cujos vazios restantes serão preenchidos por frações mínimas e assim continuamente. Embora este modelo, à priori, não demande nenhum fator de forma das partículas, recomenda-se que elas apresentem formas semelhantes (GUERRA, 2013). A Equação 1 é utilizada para a determinação do grau de compactação (CARVALHO, *et al.*, 2019).

$$CPFT(\%) = 100 \left( \frac{D^q - D_s^q}{D_L^q - D_s^q} \right) \quad (1)$$

Onde:

CPFT é o percentual acumulado de partículas com tamanho menor que D, expressa em porcentagem (%);

D é o diâmetro da partícula, expressa em milímetro (mm);

$D_L$  é o diâmetro da maior partícula, expressa em milímetro (mm);

$D_s$  é o diâmetro da menor partícula, expressa em milímetro (mm);

q é o coeficiente de distribuição, com unidade adimensional.

O expoente “q”, na equação de Andreassen Modificado, pode variar entre 0,21 e 0,37, conforme requisitos de trabalhabilidade. Valores próximos a 0,21 caracteriza o aumento da quantidade de materiais finos e, valores próximos a 0,37 representa um aumento dos materiais de maior granulometria (Kumar & Santhanam, 2003). Como a necessidade e a capacidade de armazenamento de água na mistura é controlada pelo volume de finos, o “q” propicia um parâmetro para a escolha da quantidade de água e agentes modificadores de reologia como o aditivo a ser adicionados à mistura (MANGULKAR & JAMKAR, 2013).

A representação gráfica da equação de Andreasen Modificado, em escala bi-logarítmica, é uma reta de inclinação (q), como expõe a Figura 21.

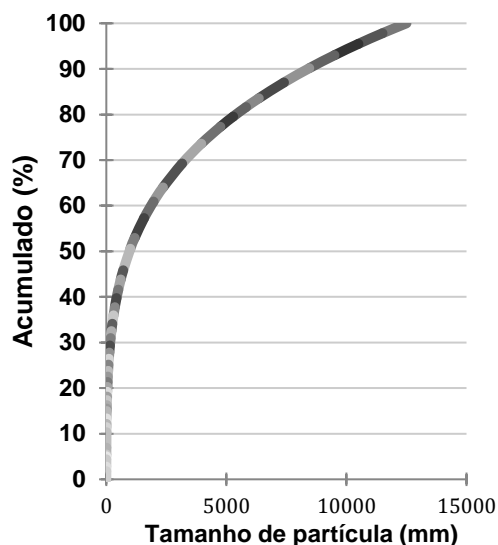


Figura 21 - Distribuição granulométrica segundo o modelo de Andreasen Modificado.

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 2 - Proporções em relação a massa (a) total (b) relação à massa de cimento.

<b>Componente</b>	<b>R25 (%)</b>	<b>R50 (%)</b>	<b>R75 (%)</b>
CPV-ARI <sup>(a)</sup>	10,0	10,0	10,0
RBMF <sup>(a)</sup>	15,0	30,0	45,0
AA <sup>(a)</sup>	22,5	15,0	7,5
AN <sup>(a)</sup>	22,5	15,0	7,5
Brita 0 <sup>(a)</sup>	30,0	30,0	30,0
Água <sup>(b)</sup>	9,5	10,5	14,0
Plastificante <sup>(b)</sup>	0,5	0,5	0,5

Fonte: Elaborado pela autora.

#### **3.4.4. Obtenção e definição da umidade ótima**

Sabe-se que a possibilidade de emprego dos concretos ensaiados está condicionada à compactação das misturas, o que lhe proporciona um grau de resistência. A compactação na umidade ótima pode desempenhar melhor resistência mecânica aos concretos. Devido aos diferentes percentuais de RBMF em cada mistura, foram necessários diferentes teores de umidade para se alcançar as máximas coesões e máximos empacotamentos delas. O grau de empacotamento das partículas e a energia de compactação estão diretamente relacionados a essas condições. Como a energia utilizada foi a mesma, à medida que se altera os percentuais dos agregados miúdos nas matrizes, mudam-se também as granulometrias e conseqüentemente o grau de empacotamento delas. Com isso, devido ao acréscimo de partículas finas, aumentam-

se a área de superfície total da mistura e, conseqüentemente, seu consumo de água. A fim de identificar a umidade ótima de cada traço (R25, R50 e R75), foi-se variando, em todas as misturas, os teores de umidade de 7% a 15%, em conformidade com a mudança dos percentuais de materiais.

#### **3.4.5. Moldagem do traço para verificações da umidade ótima**

Para avaliar o desempenho das matrizes obtidas com diferentes teores de umidade e de substituição de agregados miúdos por RBMF, foram moldados 20 corpos de prova de R25, 19 corpos de prova de R50 e 18 corpos de prova de R75, individualmente. No processo de moldagem, os materiais (cimento, RBMF, AN, AA e brita 0) e a água aditivada foram adicionados em um recipiente de aço inox do misturador mecânico.

As diferentes dosagens de materiais, dos distintos traços, foram misturadas por um misturador planetário modelo Philco PHP500, com 500W de potência, por 60 segundos em velocidade baixa, seguidos por 45 segundos de pausa e posteriormente 60 segundos em velocidade média.

Um molde cilíndrico de volume 196,34 cm<sup>3</sup> foi preenchido com a mistura fresca em duas camadas, com alturas de 8 cm aproximadamente (Figura 22-A). A cada camada, com auxílio de um compactador tipo Sand Hammer (Solotest) (Figura 22-B), foram procedidos 10 golpes de 6686 g a uma altura de 4,87 cm a cada segundo, de modo que a energia de compactação se fixasse.

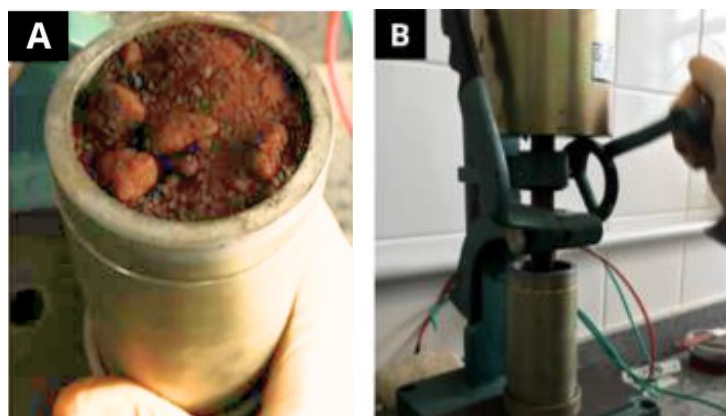


Figura 22 - Compactação utilizada nos concretos.

A - Molde cilíndrico utilizado. B – Compactador utilizado.

Posto isso, os corpos de prova foram desmoldados. Em seguida suas dimensões foram aferidas por paquímetro e as respectivas massas obtidas em balança comum com capacidade máxima de 3 kg.

#### **3.4.6. Obtenção da condição de máxima coesão das misturas**

Após as medições e verificações das massas dos corpos de prova, foram procedidas suas rupturas em prensa hidráulica Mitutoyo, de maneira a analisar as variações da coesão das matrizes em relação ao teor de umidade. A prensa fornece o valor da deformação sofrida pelo corpo de prova, que foi convertido e valores de resistência mecânica por meio do gráfico “Deformação do anel (mm) x umidade (%)”.

#### **3.4.7. Obtenção da condição de máximo empacotamento das misturas**

Para a determinação da condição do máximo empacotamento dos concretos, foi aplicada a metodologia experimental proposta por Wong e Kwan (WONG, *et al.*, 2008; KWAN, *et al.*, 2008). O protocolo utilizado teve como parâmetro a determinação da relação água/finos ótima a fim de alcançar uma condição de máximo empacotamento. A densidade de empacotamento influi nas características físicas do concreto, uma vez que, quanto maior a densidade de empacotamento de partículas, mais elevada será a resistência mecânica. As Equações 2, 3 e 4 demonstram os cálculos utilizados:

$$V_s = \frac{M}{\rho_w u_w + \sum_{i=1}^n \rho_i R_i} \quad (2)$$

$$\mu = \frac{V - V_s}{V_s} \quad (3)$$

$$\varphi = \frac{V}{V_s} \quad (4)$$

Onde:

$V_s$  é o volume de sólidos dos materiais finos presentes nas pastas, expressa em centímetros cúbicos (cm<sup>3</sup>);

$M$  é a massa das pastas que preenche o recipiente para determinação da densidade aparente, expressa em grama (g);



V é o volume do recipiente para determinação da densidade aparente, expressa em centímetros cúbicos (cm<sup>3</sup>)

$\rho_w$  é a massa específica da água, expressa em grama por centímetro cúbico (g/cm<sup>3</sup>);

$u_w$  é a razão volumétrica a/s, unidade adimensional;

$\rho_i$  é a massa específica do material i, expressa em grama por centímetro cúbico (g/cm<sup>3</sup>);

$R_i$  é volume do material i em relação ao volume total de sólidos, expressa em centímetro cúbico (cm<sup>3</sup>);

u é o índice de vazios, expressa em porcentagem (%);

$\varphi$  é a concentração de sólidos, expressa em porcentagem (%).

#### 3.4.8. *Moldagem, desmoldagem e cura dos concretos*

Após as moldagens dos 57 corpos de prova e verificações das umidades ótimas de cada concreto (R25, R50 e R75) tendo como parâmetro o máximo empacotamento e máxima coesão das misturas, foram moldados 12 corpos de prova apenas com as umidades ótimas de cada traço, com exceção do R75 que contaram com 14. Os processos de moldagem e desmolda seguiram as técnicas apresentadas no item 3.3.5. Logo após as desmoldas, os corpos de prova foram colocados em uma bancada onde ficaram por cerca de 14 horas em temperatura ambiente para iniciarem o processo de cura, Figura 23(A) apresenta uma parcela desses corpos de prova.

Passadas às 14 horas, com intuito de manter a umidade constante durante o processo de cura, os corpos de prova foram hermeticamente fechados e submersos em um tanque de água por 7 dias, em temperatura ambiente (Figura 23-B e Figura 23-C).



Figura 23 - Corpos de prova iniciando o processo de cura.

A – Parcela dos corpos de prova. B - Corpo de prova hermeticamente fechado.

C - Corpos de prova armazenados.

### **3.4.9. Caracterização física e mecânica dos concretos**

A avaliação das caracterizações físicas e mecânicas neste estudo é dada por meio dos seguintes parâmetros: massa específica, absorção de água, índice de vazios, velocidade de propagação do pulso ultrassônico e resistência à compressão. Essas verificações são imprescindíveis na análise da eficiência e da qualidade final dos concretos. Para análise dimensional, as dimensões dos concretos foram aferidas com uso de paquímetro.

### **3.4.10. Massa específica, absorção de água e índice de vazios**

As determinações da massa específica, absorção de água e índice de vazios dos concretos foram feitas em conformidade com prescrições estabelecidas pela NBR 9778 (ABNT, 2005). Para obtenção dos resultados desses ensaios foram avaliados 3 corpos de prova de cada traço de concreto (R25, R50 e R75).

### **3.4.11. Velocidade de Pulso ultrassônico (VPU)**

A VPU foi determinada por meio de um aparelho de pulso ultrassônico TICO, com emissão do impulso na frequência de 54 kHz e composto por dois transdutores de contato, sendo, um emissor e outro receptor das ondas ultrassônicas. Para obtenção dos resultados desse ensaio foram avaliados 3 corpos de provas de cada traço de concreto (R25, R50 e R75).

## **3.5. Caracterização mecânica do concreto**

A caracterização mecânica do concreto foi feita por meio de ensaios de resistência à compressão conforme metodologia prescrita pela NBR 5739 (ABNT, 2018) e foram realizados aos 7 e 28 dias de idade, sendo 5 corpos de prova ensaiados por idade.

## **3.6. Proposição do novo bloco**

A arquitetura, engenharia e *design* de interiores têm sido influenciados pelo conceito de *ecodesign* em diversos aspectos. O conceito em questão busca técnicas e estratégias ecoambientais, não necessariamente previstas previamente, que promovam a gestão consciente dos recursos naturais e não renováveis em todas as etapas do processo de fabricação, considerando fatores ambientais com a mesma importância estética e econômica, promovendo a desaceleração do ciclo de vida de produtos.

Com isso, a proposição do novo modelo de bloco de paramento de contenção de encostas busca aprimorar as características dos blocos já existentes, sobretudo por meio de métodos que vise a reutilização e menor impacto ambiental dos insumos utilizados para a sua fabricação. A reutilização consiste no reuso do RMBF, que contribui para um menor impacto ambiental, por meio da redução do consumo e extração da areia.

A partir desses pontos principais, surgem outros secundários como a busca por um muro com blocos de paramento de contenção de encostas mais orgânico causadas pelas curvaturas nos encaixes dos blocos e a naturalidade das inserções das plantas que conferem ao muro um aspecto belo, assim como a cor terracota que causa menor impacto visual.

Por fim, as práticas ambientais empregadas resultam em um conjunto de técnicas que beneficiam diferentes setores e proporcionam maior qualidade ao produto.

### ***3.6.1. Simulação da inclinação da face do muro***

Para simulação do ângulo de inclinação da face do muro usou-se como parâmetro a altura máxima do muro (5m) e a distância horizontal considerando a saliência do bloco (7,5cm). Como apresenta as Equação 5 e 6:

$$\mathbf{tg} = \frac{h_v}{d_h} \quad (5)$$

$$\mathbf{i} = \arctg(\mathbf{tg}) \quad (6)$$

Onde:

tg é a tangente, número adimensional;

$h_v$  é a altura vertical do muro, expressa em metro (m);

$d_h$  é a distância ao longo do solo relativa à medida vertical do muro, expressa em metro (m);

i é a inclinação, expressa graus (°).

### ***3.6.2. Simulação do peso referencial do bloco proposto***

Para simulação do peso referencial do bloco utilizou-se como parâmetro as massas específicas de cada material seguindo as proporções em relação ao volume total de materiais utilizados no concreto R25 e o volume do bloco proposto.

$$\mathbf{Peso\ ref}_{\mathbf{bloco}} = ME_{\mathbf{concreto}} \times V_{\mathbf{bloco}} \quad (7)$$

Onde:

Peso  $ref_{bloco}$  é o peso referencial do bloco, expressa em quilograma (kg);

$ME_{concreto}$  é a soma das massas específicas de todos os materiais utilizados no concreto, expressa em grama por centímetro cúbico ( $g/cm^3$ );

$V_{bloco}$  é o volume do bloco proposto, expressa em centímetro cúbico ( $g/cm^3$ ).

Posto isso, para simular a massa específica do concreto, foi aplicada a Equação 6. Considerando o percentual de material em relação ao volume total de materiais utilizados no concreto R25.

$$ME_{concreto} = (ME_{cimento} \times 10\%) + (ME_{RBMF} \times 15\%) + (ME_{AA} \times 22,5\%) + (ME_{AN} \times 22,5\%) + (ME_{Brita\ 0} \times 30\%) \quad (8)$$

Onde:

$ME_{concreto}$  é a massa específica do concreto, expressa em grama por centímetro cúbico ( $g/cm^3$ );

$ME_{cimento}$  é a massa específica do cimento, expressa em grama por centímetro cúbico ( $g/cm^3$ );

$ME_{RBMF}$  é a massa específica do RBMF, expressa em grama por centímetro cúbico ( $g/cm^3$ );

$ME_{AA}$  é a massa específica da Areia Artificial, expressa em grama por centímetro cúbico ( $g/cm^3$ );

$ME_{AN}$  é a massa específica da Areia Natural, expressa em grama por centímetro cúbico ( $g/cm^3$ );

$ME_{Brita\ 0}$  é a massa específica da Brita 0, expressa em grama por centímetro cúbico ( $g/cm^3$ ).

Posto isso, para simular o volume do bloco proposto, foram aplicadas as Equações 7, 8 e 9. Considerando o volume o volume bruto menos as áreas vazias.

$$V_{cheio} = \left[ \left( \frac{(base_{maior} + base_{menor}) \times l}{2} \right) + \left( \frac{\pi \times r^2}{2} \right) \times h \right] + (l_{sal} \times c_{sal} \times h_{sal}) \quad (9)$$

$$V_{vazio} = \left[ \left( \frac{(base_{maior\ vazio} + base_{menor\ vazio}) \times l}{2} \right) + \left( \frac{\pi \times r_{vazio}^2}{2} \right) \times h \right] \quad (10)$$

$$V_{bloco} = V_{cheio} - V_{vazio} \quad (11)$$

Onde:

$V_{cheio}$  é o volume do bloco considerando os vazios, expressa em centímetro cúbico ( $cm^3$ );

$base_{maior}$  é a base maior do bloco proposto, expressa em centímetro (cm);

$base_{menor}$  é a base menor do bloco proposto, expressa em centímetro (cm);

$l$  é a largura do bloco proposto, expressa em centímetro (cm);

$\pi$  é a razão entre a circunferência de um círculo e seu diâmetro, número adimensional;

$r$  é o raio do bloco proposto, expressa em centímetro (cm);

$h$  é a altura do bloco proposto, expressa em centímetro (cm);

$l_{sal}$  é a largura da saliência do bloco proposto, expressa em centímetro (cm);

$c_{sal}$  é o comprimento da saliência do bloco proposto, expressa em centímetro (cm);

$h_{sal}$  é a altura da saliência do bloco proposto, expressa em centímetro (cm);

$V_{vazio}$  é o volume do bloco vazio, expressa em centímetro cúbico (cm<sup>3</sup>);

$base_{maior_{vazio}}$  é a base maior do espaço vazio, expressa em centímetro (cm);

$base_{menor_{vazio}}$  é a base menor do espaço vazio, expressa em centímetro (cm);

$V_{bloco}$  é o volume real do bloco proposto, expressa em centímetro cúbico (cm<sup>3</sup>).

### ***3.6.3. Simulação da resistência à compressão do bloco proposto***

Para simulação da resistência à compressão do bloco utilizou-se como parâmetro o resultado da resistência à compressão do concreto em estudo. Para isso, foram averiguadas as dimensões do bloco proposto.

Para descobrir o percentual da área bruta do bloco que está sujeita a compressão, foi utilizada a Equação 10:

$$P_{ab}(\%) = \frac{A_1 \times 100}{A_b} \quad (12)$$

Onde:

$P_{ab}$  é o percentual da área concretada para cálculo da resistência do bloco, expressa em %;

$A_1$  é a área líquida do bloco, expressa em centímetro quadrado (cm<sup>2</sup>);

$A_b$  é a área bruta do bloco, expressa em centímetro quadrado (cm<sup>2</sup>).

Posto isso, para encontrar a resistência análoga do bloco, foi aplicada a Equação 11 para o concreto ensaiado.

$$R_b = \frac{R_c \times P_{ab}}{100} \quad (13)$$

Onde:

$R_b$  é a resistência simulada do bloco, expressa em MPa;

$R_c$  é a resistência do concreto, expressa em MPa;

$P_{ab}$  é o percentual da área concretada para cálculo da resistência do bloco, expressa em %.

Os resultados de simulação das resistências à compressão dos blocos foram aferidos e comparados segundo resistências à compressão indicadas na Tabela 1.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Caracterização física dos agregados naturais e artificial

#### 4.1.1. Caracterização química do RBMF

As características químicas dos rejeitos podem variar segundo a composição do solo e as substâncias químicas envolvidas no processo de beneficiamento dos metais (SABBO, 2017). Sendo assim, os percentuais médios dos componentes químicos do RBMF são expressos na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição química do RBMF por FRX.

Componente	Teor, em óxido (%)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	78,26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,82
SiO <sub>2</sub>	8,62
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,10
SO <sub>3</sub>	1,06
TiO <sub>2</sub>	0,73
M <sub>n</sub> O	0,33

Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados obtidos pela técnica de FRX para o RBMF apontaram que ele é constituído basicamente por Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e SiO<sub>2</sub>. Essa composição sugere uma mineralogia composta pela

predominância de hematita/magnetita e secundariamente micas e quartzo. A presença de hematita/magnetita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) justifica o elevado peso específico do material estudado, enquanto o quartzo contribui para o surgimento de produtos de hidratação do cimento e pelas reações de cura dele (Bastos, 2016).

#### 4.1.2. Granulometria dos agregados

A Figura 24 apresenta a distribuição granulométrica dos agregados, enquanto a Tabela 4 apresenta suas dimensões características.

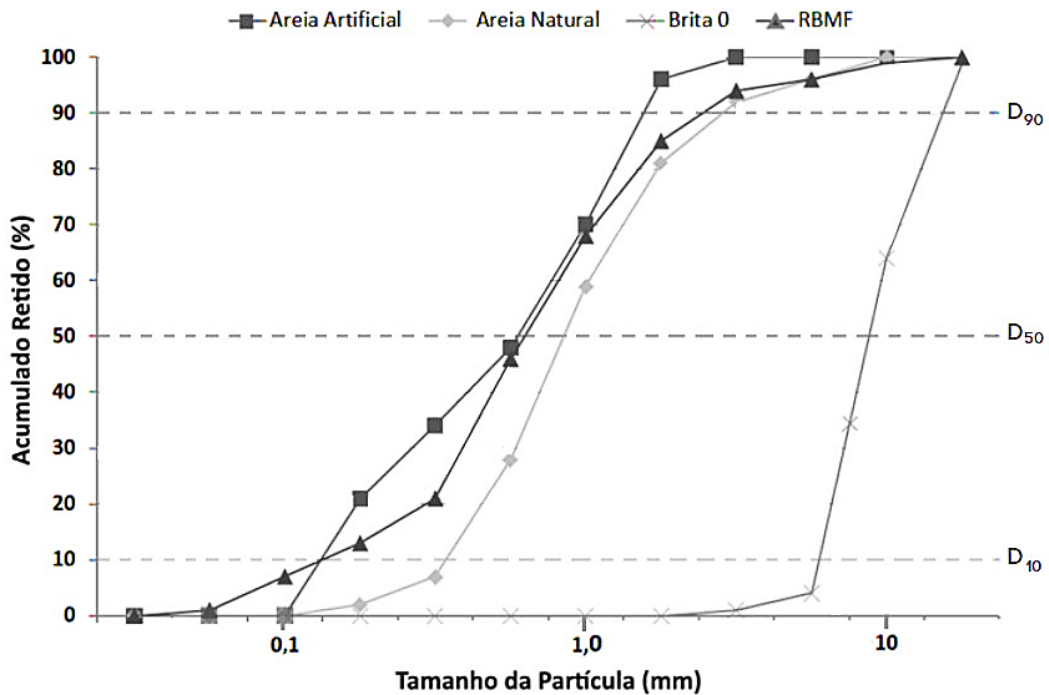


Figura 24 - Distribuição granulométrica dos agregados.  
Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 4 - Dimensões características dos agregados utilizados nas misturas.

$D_N$ (mm)	AA	AN	Brita 0	RBMF
$D_{10}$	0,13	0,35	6,35	0,13
$D_{50}$	0,68	0,97	8,70	0,75
$D_{90}$	2,10	4,25	11,85	3,62

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 24 e Tabela 4 mostram que o RBMF é um material bem graduado e particularmente fino, com 10% das partículas ( $D_{10}$ ) menores que 0,125 mm, com o tamanho

médio das partículas ( $D_{50}$ ) igual a 0,746 mm e 90% ( $D_{90}$ ) das suas partículas são menores que 3,62 mm. A AN possui partículas com 90% de granulometria inferior a 4,25 mm; AA tem 90% de suas partículas predominantemente menores que 2,10 mm e; a Brita 0, como agregado graúdo, possui  $D_{90}$  11,85 mm. De uma maneira geral o RBMF e a AN apresentaram uma distribuição granulométrica mais uniforme em comparação aos demais agregados, em contrapartida, a Brita 0 obteve resultados que demonstram ser um material com granulometrias mais similares.

#### **4.1.3. Massa específica do aglomerante e dos agregados**

O aglomerante e os agregados utilizados nas misturas apresentaram resultados de massa específica em conformidade com a Tabela 5.

Tabela 5 - Massas específicas do aglomerante e agregados utilizados nas misturas.

	<b>Cimento</b>	<b>RBMF</b>	<b>AA</b>	<b>AN</b>	<b>Brita 0</b>
<b>Massa específica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	3,10	3,999	2,86	2,63	2,66

Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados obtidos estão de acordo com o esperado. A massa específica relativamente alta do RBMF é justificada pela quantidade de hematita/magnetita que estão presentes no material que é de 78,28%. A hematita apresenta uma massa específica em torno de 5,25 g/cm<sup>3</sup> (PRESOTTI, 2002). Relacionando os resultados apresentados, verifica-se que a massa específica do RBMF é 39,97% superior à da AA e 51,94% superior à da AN.

#### **4.1.4. Obtenção da condição de máximo empacotamento da mistura**

A distribuição granulométrica das partículas, o formato dos grãos e a técnica de compactação empregada são as principais condições que induzem o empacotamento de partículas (DE LARRARD, 1999). A distribuição granulométrica utilizada é apresentada na Figura 25.



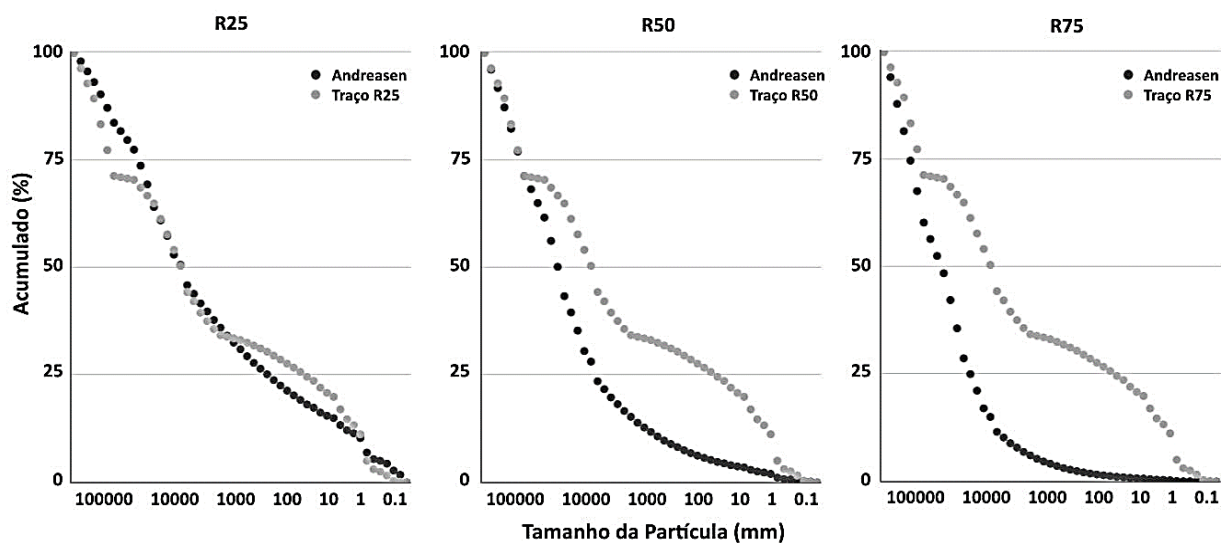


Figura 25 - Curvas granulométricas e curvas ideais de Andreasen Modificado para os traços R25, R50 e R75.  
Fonte: Elaborado pela autora.

Os ensaios de empacotamento das misturas apresentados mostram a variação na tendência das curvas à medida que se adiciona RBMF. Essa variação se dá ao aumento da proporção de finos. As frações finas têm tendência em se aglomerar em razão da sua alta área superficial, que faz com que as forças de superfície ultrapassem às gravitacionais (Londero, 2017; Damineli, 2017), o que pode favorecer o desenvolvimento de vazios. Logo o índice de vazios está diretamente vinculado ao empacotamento, influenciando as propriedades mecânicas que são os principais para avaliação das durabilidades dos materiais componentes das misturas (Castro, *et al.*, 2011).

Desse modo, a alta porção de RBMF no traço R75 justifica a curva da mistura permanecer mais distante da curva ideal de Andreasen Modificada, pois atinge um menor grau de empacotamento em relação aos outros concretos (R25 e R50).

#### 4.1.5. Massa específica e umidade ótima da mistura de concreto fresco

A Figura 26 contém dados de massa específica no estado fresco da mistura de acordo com a umidade ótima alcançada.

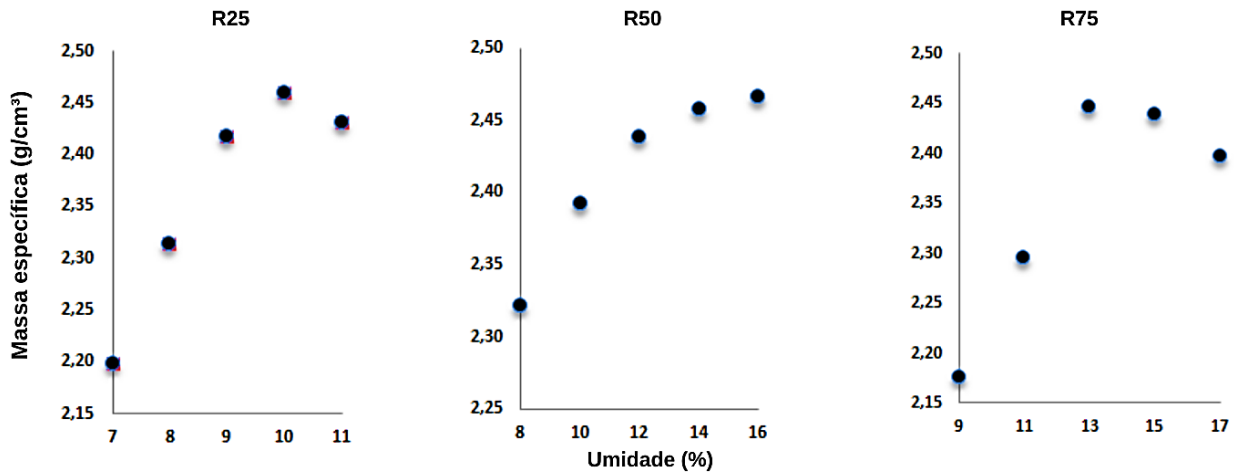


Figura 26 - Massa específica e umidades das misturas no estado fresco.  
 Fonte: Elaborado pela autora.

Nota-se que os corpos de prova R25 alcançaram umidade ótima aos 10% e massa específica de 2,46 g/cm<sup>3</sup>. Para os corpos de prova R50, a umidade ótima foi definida aos 10,50% e massa específica de 2,39 g/cm<sup>3</sup>. Já para os corpos de prova R75, a umidade ótima foi atingida aos 14% e a massa específica era de 2,45 g/cm<sup>3</sup>. Os resultados obtidos indicam que à medida que se adiciona RBMF à mistura, os valores da umidade ótima aumentam.

#### 4.1.6. Obtenção da condição de máxima coesão das misturas

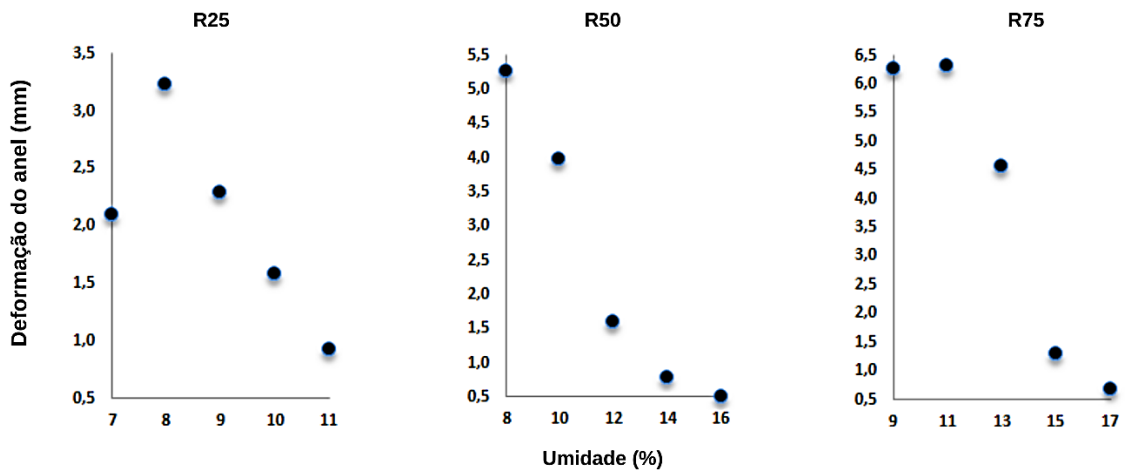


Figura 27 - Coesões das misturas.  
 Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados das coesões mostraram que os corpos de prova R25 tiveram, em média, deformação linear de 1,6 mm aos 10% de umidade, enquanto os R50 tiveram, em média, deformação linear de 3,4 mm na umidade de 10,5%. Os R75 por sua vez, alcançaram em média 3,0mm de deformação linear aos 14% de umidade. Vê-se que a coesão tende a ser relativamente

baixa comparada aos concretos convencionais devido a umidade não ser suficiente para hidratar totalmente as partículas de cimento.

#### 4.2. Proporção dos materiais utilizados nos concretos

Após a análise da umidade ótima para a mistura, o concreto foi produzido seguindo a proporção descrita na Tabela 6.

Tabela 6 - Proporções em relação a massa (a) total (b) relação à massa de cimento.

<b>Componente</b>	<b>R25</b>	<b>R50</b>	<b>R75</b>
CPV-ARI <sup>(a)</sup>	10,0	10,0	10,0
RBMF <sup>(a)</sup>	15,0	30,0	45,0
AA <sup>(a)</sup>	22,5	15,0	7,5
AN <sup>(a)</sup>	22,5	15,0	7,5
Brita 0 <sup>(a)</sup>	30,0	30,0	30,0
Água <sup>(b)</sup>	9,5	10,5	14,0
Plastificante <sup>(b)</sup>	0,5	0,5	0,5

Fonte: Elaborado pela autora.

#### 4.3. Caracterização física e mecânica do concreto endurecido

Para a caracterização física do concreto foi considerado três parâmetros: massa específica, absorção de água e índice de vazios no estado endurecido.

#### 4.3.1. Massa específica

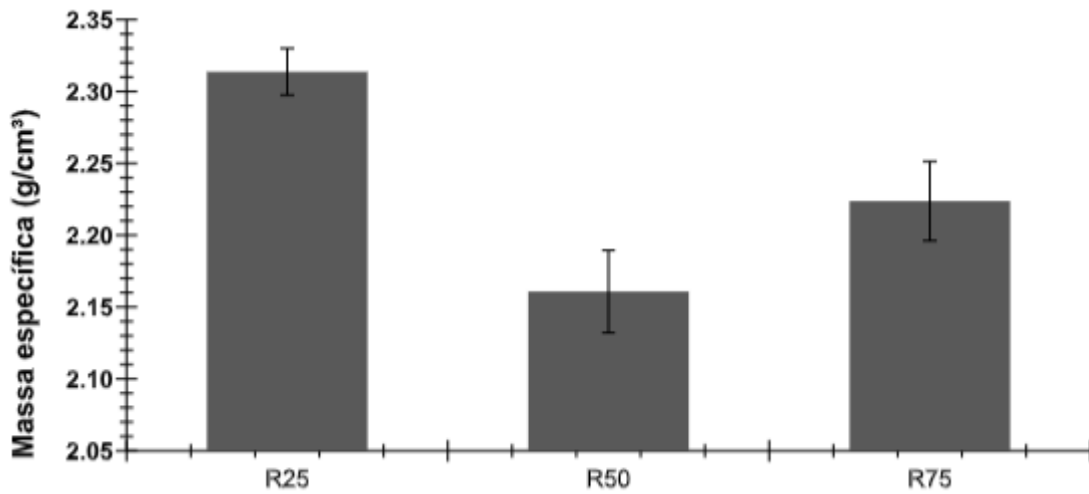


Figura 28 - Massa específica dos concretos.  
Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com a Figura 28, pôde-se observar que a mistura R25 obteve a maior massa específica, chegando a um valor 6,96% maior que o R50 e 4,77% superior ao R75. Esse resultado é fundamentado pelo melhor empacotamento das partículas, que pode ser avaliado pela curva de Andreasen Modificada (Figura 21).

Em contrapartida, o R75, apesar de não ter obtido um bom empacotamento devido ao excesso de finos em sua composição, superou o R50 em massa específica em razão da maior concentração de RBMF (rico em  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) em sua composição. Os resultados obtidos estão em conformidade com a NBR 8953 (ABNT, 2015) na qual é salientado que uma das propriedades do concreto é dispor de massa específica entre 2,0 e 2,8g/cm<sup>3</sup>, média que foi atingida em todos os corpos de prova ensaiados.

#### 4.3.2. Absorção de água e índice de vazios

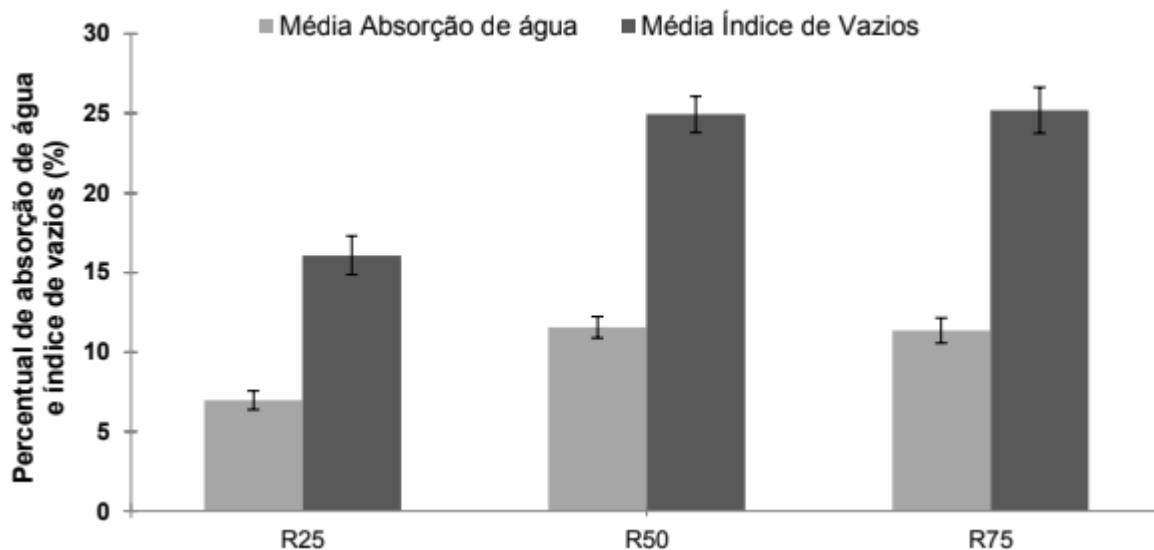


Figura 29 - Absorção de água e índice de vazios dos concretos.  
Fonte: Elaborado pela autora.

O resultado mostrado pela Figura 29 mostra que os concretos R25 dispuseram de uma média de absorção de água 62,0% inferior ao R50 e 63,1% menor que o R75. Entre as médias dos R50 e R75, a diferença foi ínfima, com o R75 apenas 0,68% maior que o R50. Ao mesmo tempo em que, para o índice de vazios, os resultados mostram que a média do R25 é 52,8% menor que o R50 e 56,7% inferior ao R75. Em seguida, os corpos de prova R50, com valores 2,58% menores que R75.

Os resultados dos ensaios de absorção de água e índice de vazios dos concretos relevaram a efetividade do empacotamento das misturas. Os resultados reiteram as constatações de Marchioni (2012) de que os concretos secos possuem presença significativa de vazios e mostram que, quanto maior o teor de RBMF nos concretos, maior será a quantidade de vazios presentes na matriz e conseqüentemente maior a absorção de água pelos corpos de prova. Isso ocorre devido à facilidade que o RBMF tem em aglomerar-se em razão de sua baixa granulometria e, assim, elevada área superficial.

### 4.3.3. Velocidade de Pulso ultrassônico

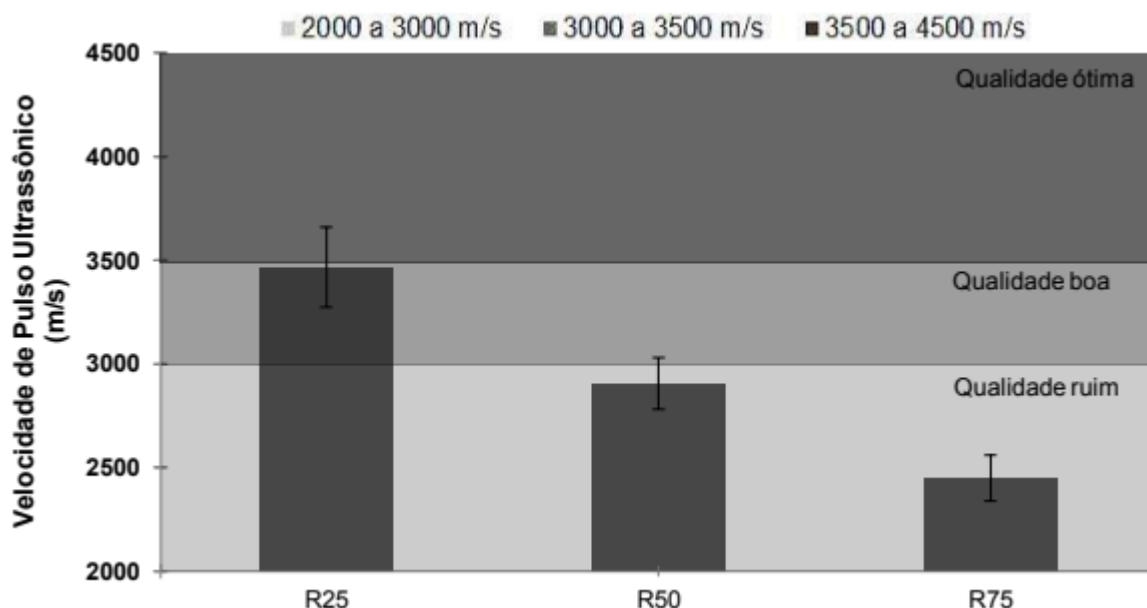


Figura 30 - Resultados de Velocidade de Propagação da Onda Ultrassônica aos 25 dias.  
Fonte: Elaborado pela autora.

O resultado da VPU (Figura 30) dos corpos de prova mostrou que as ondas longitudinais desenvolveram velocidades entre 2220 (R75) e 3690 m/s (R25) representando, em percentual, 66,2% da velocidade mais baixa para a mais alta. Ao classificar os concretos com base na Norma Britânica BS EN 12504-4 (BSI, 2000), verifica-se que os concretos R50 e R75 são classificados com qualidade ruim devido os resultados estarem entre 2000 a 3000 m/s. Enquanto os concretos do traço R25 são classificados com qualidade boa tendo em vista que os resultados se encontram entre 3500 e 4500 m/s.

Os agregados finos podem apresentar impactos significativos nos resultados de VPU, e isso não depende apenas das propriedades químicas e mineralógicas, como também da microestrutura que cada agregado gera na matriz (Mendes, *et al.*, 2020). A principal comprovação desse conceito nesse estudo é o comportamento do RBMF que, por produzirem, normalmente, concretos mais pesados que os convencionais devido ao alto teor de  $Fe_2O_3$ , o que se esperaria resultar nos maiores valores de VPU, apresentaram os menores resultados. Pois as ondas se propagaram mais lentamente nos corpos de prova com teores mais elevados de RBMF. Sendo resultado dos poros gerado pelas particularidades do RBMF. O que reitera as considerações feitas quanto aos resultados obtidos nos ensaios de máximo empacotamento e índice de vazios.

#### 4.3.4. Resistência à compressão do concreto

A Figura 31 mostra os resultados obtidos para as resistências à compressão dos concretos aos 7 e 28 dias de cura.

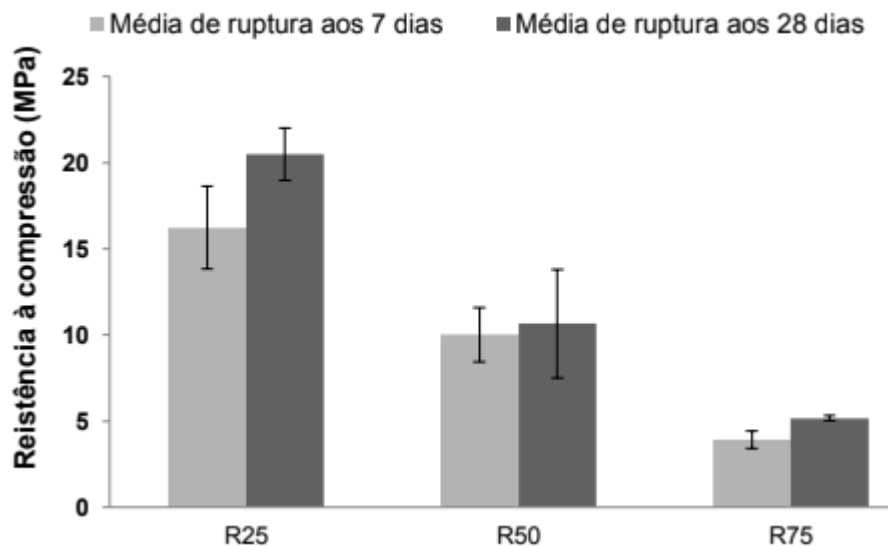


Figura 31 - Resistências à Compressão aos 7 e 28 dias de cura.

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se, dentre os concretos R25, R50 e R75, que os corpos de prova R25 obtiveram maiores resistências à compressão, tanto aos 7 dias quanto aos 28 dias de cura. Os resultados aos 7 dias foram 43,24% maiores que R50 e 310,34% superiores ao R75. Enquanto que aos 28 dias os R25 alcançaram, em média, resultados 92,44% maiores que os R50 e 296,66% superiores aos R75. Os R50, atingiram, em média, valores 186,46% maiores que R75 aos 7 dias e 106,13% superiores aos 28 dias.

De 7 para 28 dias de cura todos os concretos apresentaram ganhos de resistência, porém em proporções destoantes entre si. Os R25 obtiveram, em média, aumento de 20,79%, os R50 de 6,32%, enquanto as resistências dos R75 foram 31,62% vezes maiores aos 28 comparado aos 7 dias. De acordo com a Avaliação Estatística de Desempenho do Ensaio, presente no Anexo B da norma NBR 5739 (ABNT, 2018), os concretos ensaiados dos traços R25 e R75 tiveram desempenho “excelente” e os R50 se foram classificados como “bom”. Esse resultado está coerente com o fato de os corpos de prova R50 estarem com o maior desvio padrão observado.

#### 4.4. Proposição do novo bloco

O *design* do novo bloco foi proposto considerando as propriedades dos blocos 1, 2, 3 e 4 estudados neste trabalho e as propriedades do concreto com utilização de RBMF. A fim de proporcionar melhor estética ao muro, foi proposto um bloco com a face frontal arredondada que possa funcionar como jardim vertical por meio do plantio de vegetação em seu vazio frontal. A Figura 32 mostra o *design* e as dimensões do bloco proposto.

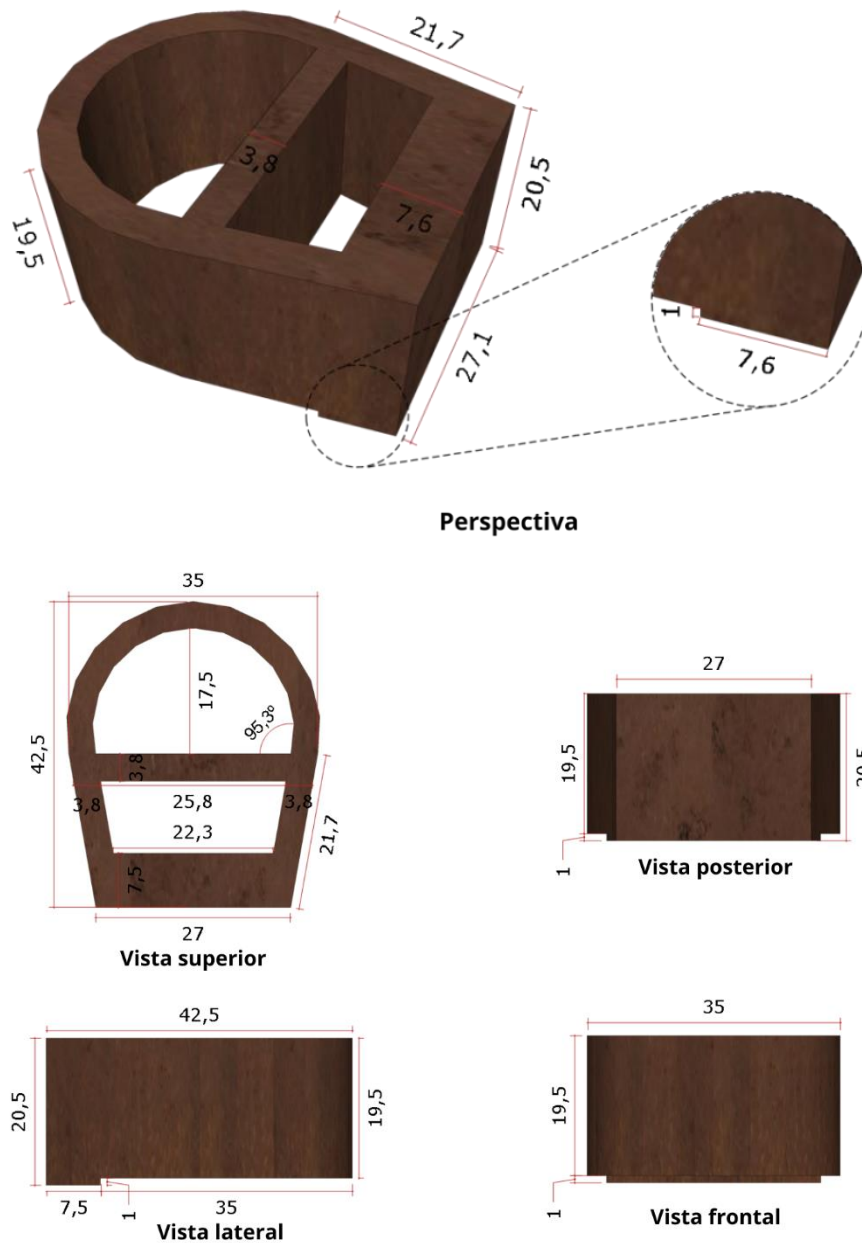


Figura 32 - Bloco proposto.  
Fonte: Elaborado pela autora.



Por possuir a cor terracota, devido ao alto teor de hematita ( $Fe_2O_3$ ), o RBMF também pode ser utilizado para a pigmentação dos blocos (FONTES, *et. al.*, 2018), gerando um menor impacto visual do sistema construtivo e favorecendo sua utilização em regiões históricas, como o Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais, não confrontando as orientações do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional.

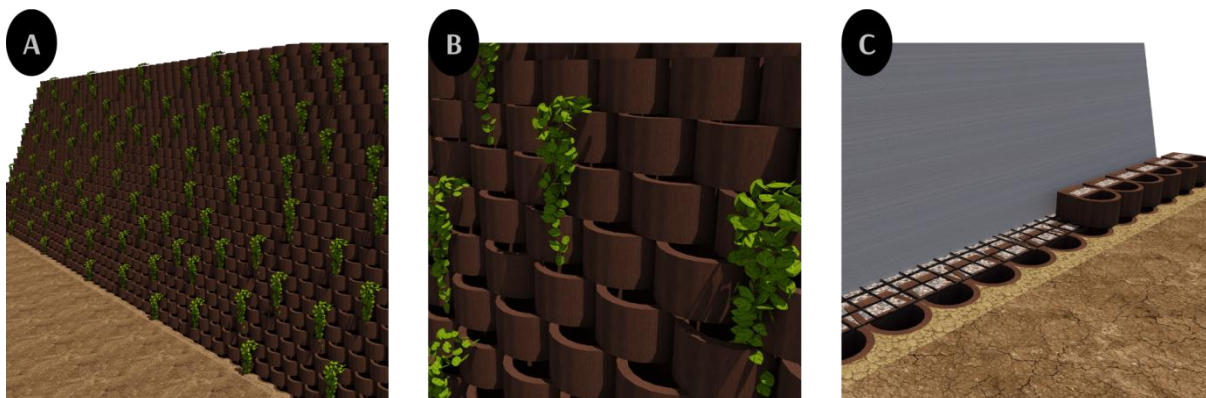


Figura 33 - Bloco proposto.  
Fonte: Elaborado pela autora.

O *design* arredondado, que se diferencia dos blocos existentes, é justificado por possuir maior espaço interno útil para plantio da vegetação, resultando em obras de alto valor estético e com menor impacto ao meio ambiente devido à utilização de RBMF. O Conjunto Arquitetônico e Urbanístico de Ouro Preto é protegido pelo tombamento do IPHAN, por força do Decreto Lei nº 25, de 30/11/1937, por meio do processo nº 0070-T-38, estando inscrito no Livro do Tombo das Belas Artes, em 20/04/1938, e nos Livros do Tombo Histórico e Arqueológico, Etnográfico e Paisagístico, em 20/09/1986 (SENADO FEDERAL, 1937).

Atualmente, as intervenções construtivas integrantes deste Conjunto Arquitetônico e Urbanístico são regulamentadas pela Portaria IPHAN nº 312 de 20/10/2010, que estabelece os padrões e diretrizes para regulamentar as intervenções dentro dessa zona de proteção sob jurisdição federal. Portanto, a incorporação do bloco de paramento de contenção de encostas em estudo, pode contribuir para a coesão estética da arquitetura e a atmosfera histórica da cidade. Isso ocorre devido à semelhança da cor terracota com a tonalidade natural do solo, e as plantas que podem ser criadas nesse ambiente diminuem a presença de elementos contemporâneos em zonas históricas, preservando a harmonia visual da paisagem urbana.

Além disso, devido à capacidade de fabricar os blocos em variados formatos e texturas, é possível criar uma ampla gama de *designs* que se mantêm em sintonia com a estética histórica. Isso se torna vantajoso ao conceber elementos urbanos de forma criativa e única.

#### 4.4.1. Simulação da inclinação da face do muro

A Equação 6 apresenta o resultado da simulação da inclinação da face do muro usando o bloco proposto.

$$\mathbf{tg} = \frac{h_v}{d_h} \quad (5)$$

$$\mathbf{tg} = \frac{5}{1,875} \quad (5)$$

$$\mathbf{tg} = \mathbf{2,66m} \quad (5)$$

$$\mathbf{i} = \arctg 2,66 \quad (6)$$

$$\mathbf{i} = \mathbf{69.88^\circ \sim 70^\circ} \quad (6)$$

Com essa simulação, pode-se observar que a face do muro tem um ângulo aproximado de 70°, enquanto a média da inclinação dos blocos 1, 2, 3 e 4 é 72,5°. O que torna o muro com o bloco proposto 3,45% menos inclinado que a média dos demais blocos analisados.

#### 4.4.2. Simulação do peso referencial do bloco proposto

A Equação 7 apresenta o resultado da simulação do peso do bloco de concreto proposto.

$$\mathbf{Peso\ ref_{bloco}} = ME_{concreto} \times V_{bloco} \quad (7)$$

$$\mathbf{Peso\ ref_{bloco}} = \frac{2,941g}{cm^3} \times 12.077,83\ cm^3 \quad (7)$$

$$\mathbf{Peso\ ref_{bloco}} = 35.520,90\ g \rightarrow \mathbf{Peso\ ref_{bloco}} = \mathbf{35,50\ kg} \quad (7)$$

A Equações 8, 9, 10 e 11 servem como memorial de cálculo para a Equação 7.

$$ME_{concreto} = (ME_{cimento} \times 10\%) + (ME_{RBMF} \times 15\%) + (ME_{AA} \times 22,5\%) + (ME_{AN} \times 22,5\%) + (ME_{Brita\ 0} \times 30\%) \quad (8)$$

$$ME_{concreto} = (3,10 \times 10\%) + (3,999 \times 15\%) + (2,86 \times 22,5\%) + (2,63 \times 22,5\%) + (2,6 \times 30\%) \quad (8)$$

$$ME_{concreto} = 0,31 + 0,60 + 0,643 + 0,59 + 0,798 = \mathbf{2,941g/cm^3} \quad (8)$$

$$V_{cheio} = \left[ \left( \frac{(base_{maior} + base_{menor}) \times l}{2} \right) + \left( \frac{\pi r^2}{2} \right) \times h \right] + (l_{sal} \times c_{sal} \times h_{sal}) \quad (9)$$

$$V_{\text{cheio}} = \left[ \left( \frac{(35+27) \times 21,7}{2} \right) + \left( \frac{\pi \times 17,5^2}{2} \right) \times 19,5 \right] + (7,6 \times 27,1 \times 1) \quad (9)$$

$$V_{\text{cheio}} = \left[ \left( \frac{62 \times 21,7}{2} \right) + \left( \frac{\pi \times 306,25}{2} \right) \times 19,5 \right] + 205,96 \quad (9)$$

$$V_{\text{cheio}} = [(672,7) + (481,05) \times 19,5] + 205,96 \quad (9)$$

$$V_{\text{cheio}} = 22.498,25 + 205,96 \quad (9)$$

$$V_{\text{cheio}} = \mathbf{22.704,21 \text{ cm}^3} \quad (9)$$

$$V_{\text{vazio}} = \left[ \left( \frac{(\text{base}_{\text{maior vazio}} + \text{base}_{\text{menor vazio}}) \times l}{2} \right) + \left( \frac{\pi \times r_{\text{vazio}}^2}{2} \right) \times h \right] \quad (10)$$

$$V_{\text{vazio}} = \left[ \left( \frac{(25,8+22,3) \times 10,4}{2} \right) + \left( \frac{\pi \times 13,7^2}{2} \right) \times 19,5 \right] \quad (10)$$

$$V_{\text{vazio}} = \left[ \left( \frac{48,10 \times 10,4}{2} \right) + \left( \frac{\pi \times 187,69}{2} \right) \times 19,5 \right] \quad (10)$$

$$V_{\text{vazio}} = [(250,12 + 294,82) \times 19,5] \quad (10)$$

$$V_{\text{vazio}} = \mathbf{10.626,38 \text{ cm}^3} \quad (10)$$

$$V_{\text{bloco}} = V_{\text{cheio}} - V_{\text{vazio}} \quad (11)$$

$$V_{\text{bloco}} = 22.704,21 \text{ cm}^3 - 10.626,38 \text{ cm}^3 \quad (11)$$

$$V_{\text{bloco}} = \mathbf{12.077,83 \text{ cm}^3} \quad (11)$$

Com essa simulação, pode-se observar que o bloco proposto obteve um peso referencial de 35,50kg, sendo 22,41% maior que a média dos blocos 1, 2, 3 e 4, que é de 29kg, reafirmando que a massa específica do RBMF é relativamente alta devido a quantidade de hematita/magnetita que estão presentes no material.

#### 4.4.3. Simulação da resistência à compressão do bloco proposto

A Equação 13 apresenta o resultado da simulação da resistência à compressão do bloco de concreto proposto.

$$P_{\text{ab}} = \frac{A_l \times 100}{A_b} = \frac{6 \times 100}{13} = \frac{600}{13} = \mathbf{46,15\%} \quad (12)$$

$$R_b = \frac{R_c \times P_{\text{ab}}}{100} = \frac{21,93 \times 46,15}{100} = \frac{1.012,15}{100} = \mathbf{10,12 \text{ MPa}} \quad (13)$$

Com essa simulação, pode-se observar que o bloco obteve resistência à compressão de 10,12MPa, o que justifica a utilização dele em muros para paramento de encostas, pois, os blocos 1 e 2 que são fabricados para muros com altura de até 5m, são produzidos com resistência à compressão de 6MPa (HUESKER, 2016). Os blocos com maiores resistências são indicados para as primeiras fiadas, considerando a sustentação, por eles, de todo o sistema. Enquanto os blocos de menores resistências são apropriados para as camadas superiores da contenção.

Com isso, o resultado de resistência à compressão do bloco presumidamente fabricados com substituição parcial de agregado miúdo por RBMF seria aprovado para utilização em muros com blocos de paramento de contenção de encostas. A Tabela 7 mostra as propriedades do bloco proposto em comparação aos 4 blocos estudados.

Tabela 7 - Tabela de propriedades do bloco proposto em comparação aos 4 blocos estudados.

		<b>Bloco Proposto</b>	<b>Bloco 1</b>	<b>Bloco 2</b>	<b>Bloco 3</b>	<b>Bloco 4</b>
Dimensões do Bloco	Altura (cm)	<b>19,5</b>	19,5	19,5	19,5	19,5
	Largura (cm)	<b>35</b>	40	40	40	40
	Profundidade (cm)	<b>42,5</b>	40	30	40	30
	Altura máxima do muro (m)	<b>5</b>	5	5	20	18
	Peças/m <sup>2</sup> (un)	<b>13</b>	13	13	13	13
<i>Design</i> do paramento	Inclinação de face do muro (°)	<b>70</b>	45 a 76	45 a 76	84	84
Propriedade mecânica	Resistência à compressão (MPa)	<b>10</b>	6	6	6 a 18	6 a 18
Propriedade dos materiais	Peso referencial (kg)	<b>35,50</b>	25–30	22– 26	28–33	27–30
	Tonalidade	<b>Terracota</b>	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza

Fonte: Elaborado pela autora.

Na tabela comparativa (Tabela 7), o bloco proposto apenas na tonalidade terracota, possui as seguintes dimensões: 19,5x35x42,5cm (AxLxP), com um peso referencial de cerca de 35,50kg e resistência à compressão de 10MPa. O muro de paramento construído com este material alcançaria até 5 metros de altura com inclinação de aproximadamente 70°, sendo necessárias 13 peças por metro quadrado.

Sendo assim, pode-se notar que há similaridades nas dimensões, inclinação, resistência à compressão e peso referencial entre os blocos. No entanto, a diferença mais notável está na coloração, o que é considerado uma vantagem, especialmente quando se trata de intervenções construtivas em taludes de sítios históricos.

## 5. CONCLUSÃO

A indústria da construção civil é reconhecida como uma das maiores consumidoras de recursos naturais não renováveis, tendo um impacto substancial no meio ambiente global (SANTOS, 2022). O aço, elemento essencial para este setor, é produzido a partir do ferro, cuja obtenção envolve processos de mineração que geram consideráveis volumes de resíduos em todas as etapas, desde a extração inicial até a eventual reciclagem. Isso contribui significativamente para os impactos socioambientais que o setor acarreta.

As considerações relacionadas às questões ambientais estão influenciando as práticas adotadas por empresas de variados setores. Por meio de uma compreensão abrangente do ciclo de vida do produto, iniciativas como o *Ecodesign* estão sendo implementadas. Nesse cenário, no que tange às empresas de mineração, as alternativas de reutilização do RBMF são impulsionadas pela consideração de fatores ligados ao encerramento das estruturas. Isso envolve uma análise dos impactos a longo prazo, bem como da complexidade e dos riscos associados que toda barragem apresenta.

Os resultados revelaram que as amostras do R25 apresentaram desempenho superior em comparação com R50 e R75, em ambos os intervalos de 7 e 28 dias. Constatou-se que a mistura R25 obteve a mais alta densidade, ultrapassando R50 em 6,96% e superando R75 em 4,77%. Essa observação pode ser explicada pelo empacotamento mais eficiente das partículas.

Quanto à absorção de água, os concretos R25 apresentaram uma redução média de 62,0% em relação a R50 e uma diminuição de 63,1% em relação a R75. Paralelamente, os resultados de índice de vazios revelaram que o R25 possui, em média, 52,8% menos vazios que R50 e 56,7% menos que R75. Esses resultados reforçam a importância do empacotamento eficiente das misturas, uma vez que um teor maior de RBMF está diretamente associado a um maior volume de vazios na matriz, resultando em maior absorção de água pelos corpos de prova.

Os corpos de prova de R50 e R75 foram classificados com qualidade ruim nos resultados de VPU, registrando valores entre 2000 e 3000 m/s. Por outro lado, os concretos de R25 obtiveram uma classificação de qualidade boa, com valores médios de resultados entre 3500 e 4500 m/s. Esses desfechos também estão intrinsecamente relacionados ao empacotamento das matrizes, considerando a potencial aglomeração de partículas.

Em relação à resistência à compressão, os concretos R25 demonstraram desempenho "excelente" em conformidade com o Anexo B da norma NBR 5739 (ABNT, 2018). Os resultados aos 7 dias foram 43,24% superiores aos de R50 e 310,34% maiores em relação a R75. Já aos 28 dias, os concretos R25 alcançaram resultados médios que excederam em 92,44% os valores de R50 e em 296,66% os de R75.

Por fim, foi apresentada uma proposta de bloco que desempenha a função de jardim vertical, permitindo o plantio de vegetação em sua face frontal vazada. Além de suas qualidades funcionais, o RBMF também desempenha um papel estético devido à sua tonalidade terracota, resultante da alta concentração de hematita. Isso contribui para minimizar o impacto visual do sistema construtivo, tornando-o mais adequado para áreas históricas e em conformidade com as diretrizes do IPHAN. O bloco proposto possui dimensões de 19,5x35x42,5 cm (altura, largura e profundidade), pesando cerca de 35,50 kg e demonstrando uma resistência à compressão de 10 MPa. Utilizando esse material, um muro de contenção construído pode atingir até 5 metros de altura com uma inclinação de 70°, requerendo 13 peças por metro quadrado.

A partir dessas constatações, torna-se plausível a formulação de concretos destinados à fabricação de blocos de paramento de encostas com substituições parciais dos agregados miúdos pelo RBMF. Essa abordagem demonstra ser uma técnica ambientalmente adequada para mitigar os impactos ambientais da mineração, por meio da reutilização do RBMF.

## 6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9202**: Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da finura por meio da peneira 0,044 mm (n° 325) - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9778** - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 248** - Agregados - Determinação da composição granulométrica. *Agregados - Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 52** - Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. *Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente*. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 53** - Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água . *Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água*. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11579** - Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (n°200). Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575** - Edificações habitacionais — Desempenho . Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8953** - Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16605** - Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16697** - Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739** - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 10318-1** - Geossintéticos Parte 1: Termos e definições. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 10318-1** - Geossintéticos Parte 1: Termos e definições. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6136** - *Blocos vazados de concretos simples para alvenaria - Requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABRAINC. (28 de junho de 2021). **ABRAINC Explica: A importância da Construção Civil para impulsionar a economia brasileira**. Fonte: ABRAINC: <https://www.abrainc.org.br/abrainc-explica/2021/06/28/abrainc-explica-a-importancia-da-construcao-civil-para-impulsionar-a-economia-brasileira/>

ALBERTO *et al.* (julho de 2012). **Estudo do telhado verde nas construções sustentáveis**. São Paulo, SP, Brasil: XII Safety, Health and Environment World Congress.

ALMEIDA, A. F., & TOMA, B. H. (2011). **Análise experimental de conexão entre blocos segmentais e geogrelhas de PVA**. Guaratinguetá, SP, Brasil: UNESP.

ALMG. (2019). **Assembleia Legislativa de Minas Gerais**. Acesso em 03 de novembro de 2021, disponível em [https://www.almg.gov.br/acompanhe/noticias/arquivos/2019/02/25\\_sancao\\_projeto\\_barragens.html](https://www.almg.gov.br/acompanhe/noticias/arquivos/2019/02/25_sancao_projeto_barragens.html)

ANDRADE, L. (2014). **Caracterização De Rejeitos De Mineração De Ferro, In Natura E Segregados, Para Aplicação Como Material De Construção Civil**. Viçosa, MG, Brasil.

ANM. (2017). **Portaria N° 70.389, De 17 De Maio De 2017**. Brasília, DF.

APAZA, F. R., GUIMARÃES, A. C., SOUSA, M. S., & CASTRO, C. D. (2018). Estudo sobre a utilização de Resíduo de Minério de Ferro em microrrevestimento asfáltico. *Transportes*, 26, 118-138.

ARAÓZ, H. M. (2020). **Mineração, genealogia do desastre: O extrativismo na América como origem da modernidade**. São Paulo: Elefante.

Bastos, L. A. (2016). Using Iron Ore Tailings from Tailing Dams as Road Material. **Journal of Materials in Civil Engineering - American Society of Civil Engineers**.

Bezerra, C. G. (2017). **Caracterização do rejeito de minério de ferro (IOT) e avaliação da sua influência no comportamento físico-químico e mecânico de pastas de cimento**. Rio de Janeiro.

BLANCO *et al.* (28 de junho de 2012). **Conjunto multicamada à base de cimento que pode ser utilizado como suporte biológico para fachadas de edifícios ou outras estruturas**. Espanha: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA.

Braja, M. D., & Sobhan, K. (2007). **Fundamentos de Engenharia Geotécnica** (Vol. Tradução da 6ª ed. norteamericana). São Paulo: Thomson Learning.

BRASILEIRO, L. L., & MATOS, J. E. (março de 2015). Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. *Cerâmica*, vol.61, p. 178-189. <https://doi.org/10.1590/0366-69132015613581860>.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. (2003). **BS EN 771-3. Specification for masonry units: Aggregate**. Londres, Inglaterra.

BRUGGER, P. J., & MONTEZ, F. (2003). **Muros de Contenção em Solo Reforçado com Geogrelhas e Blocos Segmentais - Um Caso de Obra com Altra de 13,50 metros**. Porto Alegre.

BS 8006-1:2010. (Outubro de 2010). **Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills**. Inglaterra: BRITISH STANDARD.

BS EN. (2001). **Precast concrete flags, kerbs, channels, edgings and quadrants. Precast, unreinforced concrete paving flags and complementary fittings - Requirements and test methods (Withdrawn)**. Inglaterra: British Standards Institution.

BS EN. (2003). **BS EN 771-3: 2003. Specification for masonry units - Part 3: Aggregate concrete masonry units (Dense and light-weight aggregates)**. Inglaterra: British Standards Institution.



BS EN. (2014). **Pigments for the colouring of building materials based on cement and/or lime. Specifications and methods of test.** Inglaterra: British Standards Institution.

BSI. (2000). Testing concrete. **Determination of ultrasonic pulse velocity.** London.

CARDOSO, R. (2008). Uma introdução à história do design. **Blucher.**

Carvalho et al. (2006). **Caracterização e Tipologia de Assentamentos Precários: estudos de caso brasileiros.** Fonte: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9613/1/Preven%C3%A7%C3%A3o%20de%20Oriscos.pdf>

CARVALHO, e. (2006). Prevenção de riscos de deslizamento em encostas: guia para elaboração de políticas municipais. **MCidades.**

Carvalho, J. M., Melo, T. V., Fontes, W. C., Batista, J. O., Brigolini, G. J., & Peixoto, R. A. (2019). More eco-efficient concrete: An approach on optimization in the production and use of waste-based supplementary cementing materials. **Construction and Building Materials.**

Castro, A. L., Liborio, J. B., & Pandofelli, V. C. (2011). **Reologia de concretos de alto desempenho aplicados na construção civil: revisão.**

Castro, L. V. (2008). **Avaliação do comportamento do nível d'água em barragem de contenção de rejeito alteada a montante.** São Paulo.

CAUBR. (2012). **Atividades e atribuições profissionais do arquiteto e urbanista.** Fonte: [https://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2015/07/Atribuicoes\\_CAUBR\\_06\\_2015\\_WEB.pdf](https://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2015/07/Atribuicoes_CAUBR_06_2015_WEB.pdf)

CBCS. (novembro de 2014). **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas.** Fonte: CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável: [http://www.cbcs.org.br/\\_5dotsystem/userfiles/mma-pnuma/aspectos%20da%20construcao%20sustentavel%20no%20brasil%20e%20promocao%20de%20politicas%20publicas.pdf](http://www.cbcs.org.br/_5dotsystem/userfiles/mma-pnuma/aspectos%20da%20construcao%20sustentavel%20no%20brasil%20e%20promocao%20de%20politicas%20publicas.pdf)

CBIC. (06 de julho de 2021). **A importância da construção civil para a economia nacional.** Fonte: CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção: <https://cbic.org.br/a-importancia-da-construcao-civil-para-a-economia-nacional/#:~:text=A%20constru%C3%A7%C3%A3o%20civil%2C%20por%20ser,capaz%20de%20proporcionar%20desenvolvimento%20social.>

CBIC. (2021). **Pós-Obra: Geração De Renda E Emprego Na Economi.** Fonte: Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2021/02/pos-obraestudo-cbic.pdf>

COSTA, E., & et. al. (2013). **Clínquer Portland com reduzido impacto ambiental.** *Ambiente Construído*, 75-86.

CRUZ, A. (novembro de 2020). **Estudo da modelagem e do controle de um processo de biolixiviação de pirita.** Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

DAMINELI, B. L., PILEGGI, R. G., & JOHN, V. M. (2017). **Influência do empacotamento e dispersão de partículas no consumo de cimento de concretos.** São Paulo.

Dowson, A. J. (1980). Mix design for concrete block paving. Procedures 1st International Conference o CBP.

EHRlich, M., & BECKER, L. (2009). **Muros e taludes de solo reforçado: Projeto e execução**. São Paulo: Oficina de Textos.

ELÓI, F. (2019). **Ativação Alcalina do Rejeito de Barragem de Minério de Ferro com Adição de Sílica Ativa**. Ouro Preto, MG, Brasil: UFOP.

ERLICH, M., & BECKER, L. (2009). **Muros e taludes de solo reforçado: projeto e execução**. São Paulo: Oficina de Textos.

FERNANDES, F. R., MATOS, G. M., CASTILHOS, Z., & LUZ, A. d. (2007). Tendências Tecnológicas Brasil 2015. **Geociências e Tecnologia Mineral**.

FERREIRA, B. (31 de março de 2023). **Estudo do aproveitamento de rejeito magnético de fosfato em substituição ao agregado miúdo em compósitos cimentícios**. Ouro preto, MG, Brasil.

Filho, J. N. (Stembro de 2017). Viabilidade técnica e ambiental de pavimentadoras de concreto intertravadas com rejeitos de minério de ferro de barragens de rejeitos. **Revista de Materiais em Engenharia Civil**.

FONTES, W. (novembro de 2013). **Utilização do rejeito de barragem de minério de ferro como agregado reciclado para argamassas de revestimento e assentamento**. Ouro Preto, MG, Brasil: UFOP.

FONTES, W. C., FONTES, G. G., COSTA, E. C., MENDES, J. C., SILVA, G. B., & PEIXOTO, R. F. (2018). Iron ore tailings in the production of cement tiles: a value analysis on building sustainability. (<https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000400312>, Ed.) **Ambient Construído**, 395-412.

FRAGA, F. (2006). **Panorama da geração de resíduos da construção civil em belo horizonte: medidas de minimização com base em projeto e planejamento obras**. Brasil: Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais.

FRANCO, L. (29 de setembro de 2015). **Concretos e argamassas sustentáveis aplicados à habitação de interesse social**. Ouro Preto, MG, Brasil.

Frasson Junior, A. (2000). **Proposta de metodologia de dosagem e controle do processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural**. Florianópolis.

FREITAS, C. M. (2019). **Da Samarco em Mariana à Vale em Brumadinho: desastres em barragens de mineração e Saúde Coletiva**. Cadernos de Saúde Pública, v.35.

FURLAN, e. (2011). **Vulnerabilidade socioeconômica à ocorrência de eventos extremos: proposta metodológica**. Fonte: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.11.14.33/doc/p1542.pdf>

GASQUES, A. (2014). Impactos ambientais dos materiais da construção civil: breve revisão teórica. **Revista Tecnológica**, p. 13-24.

GERSCOVICH, D. (2010). **Estruturas de Contenção: Muros de Arrimo**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: UERJ.

GERSCOVICH, D., DANZIGER, B. R., & SARAMAGO, E. (2019). Contenções. Teoria e aplicações em obras. **Oficina de Textos**.

Guerra, R. S. (27 de dezembro de 2013). Acesso em 15 de abril de 2020, disponível em Clube do Concreto: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/12/empacotamento-2-modelos.html>

HUESKER. (Outubro de 2016). **Sistema de Contenção em Blocos Segmentais e Geogrelhas Fortrac®**. São José dos Campos, SP, Brasil. Acesso em 29 de outubro de 2021

IBAMA. (16 de dezembro de 2019). **Rompimento da Barragem de Fundão: Documentos relacionados ao desastre da Samarco em Mariana/MG**. Acesso em 07 de abril de 2020, disponível em <https://www.ibama.gov.br/recuperacao-ambiental/rompimento-da-barragem-de-fundao-desastre-da-samarco/documentos-relacionados-ao-desastre-da-samarco-em-mariana-mg>

IBGE. (2011). **Base de informações do Censo Demográfico 2010: resultados do universo por setor censitário. Rio de Janeiro: IBGE**. Fonte: IPEA: [https://www.ipea.gov.br/redeipea/images/pdfs/base\\_de\\_informacoess\\_por\\_setor\\_censitario\\_universo\\_censo\\_2010.pdf](https://www.ipea.gov.br/redeipea/images/pdfs/base_de_informacoess_por_setor_censitario_universo_censo_2010.pdf)

IBGE. (29 de novembro de 2019). **Estudo inédito do IBGE mostra Sul e Sudeste como regiões que concentram as maiores áreas de suscetibilidade a deslizamentos**. Fonte: Agência IBGE: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/26118-estudo-inedito-do-ibge-mostra-sul-e-sudeste-como-regioes-que-concentram-as-maiores-areas-de-suscetibilidade-a-deslizamentos>

IBGE. (2020). **Pesquisa Anual da Indústria da Construção 2020**. Fonte: IBGE: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/54/paic\\_2020\\_v30\\_informativo.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/54/paic_2020_v30_informativo.pdf)

IBRACON. (2009). Concreto: material construtivo mais consumido no mundo. **Concreto e Construções**, 11. Fonte: [http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas\\_ibracon/rev\\_construcao/pdf/revista\\_concreto\\_53.pdf](http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/revista_concreto_53.pdf)

Instituto Brasileiro de Museus - IBRAM. (2019). **Relatório Anual de Atividades**. Instituto Brasileiro de Mineração.

Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN. (novembro de 2010). **Normatização de Cidades Históricas** - orientações para a elaboração de diretrizes e Normas de Preservação para áreas urbanas tombadas . Brasília, DF, Brasil.

JURAS, D. A. (2015). *Os impactos da indústria no meio ambiente*. Brasília: Câmara dos Deputados.

KWAN, A. K., & WONG, H. H. (2008). Packing density of cementitious materials: part 2—packing and flow of OPC + PFA + CSF. **Materials and Structures**.

LAPA, J. (2008). **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto**. Belo Horizonte, MG, Brasil: UFMG.

Larrard, F. d. (1999). **Concrete Mixture Proportioning: A Scientific Approach**. London: **Modern Concrete Technology Series**.

LIMA JÚNIOR, P. G. (Maio de 2016). **Dimensionamento de estruturas de contenção em solo reforçado com geossintéticos e face elaborada com blocos segmentais de concreto**. Delmiro Gouveia, AL: UFAL.

LÖBACH, B. (2001). **Design industrial: Bases para a configuração** (1 ed.). (F. CAMP, Trad.) São Paulo, SP, Brasil: Edgard Blücher.

LONDERO, C., LENZ, L. A., SANTOS, Í. M., & KLEIN, N. S. (2017). **Determinação da densidade de empacotamento de sistemas granulares compostos a partir da areia normal**

**do IPT: comparação entre modelos de otimização de distribuição granulométrica e composições aleatórias.** Curitiba.

LOURENZANI, W., & BERTONCELLO, A. (18 de setembro de 2019). **Dinâmica de desenvolvimento rural na região de presidente prudente.** 8-8. Brasil: FUMEC.

MACEDO, e. (2022). Mortes por deslizamentos no Brasil. Mortes por deslizamentos no Brasil: 1988 A 2022. Brasil.

MAGALHÃES, A. (2018). **Argamassas de cal com adições pozolânicas: contribuição para o desenvolvimento de formulações para o restauro.** Salvador, BA, Brasil.

MANZINI, E., & VEZZOLI, C. (2002). **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais** (1ª ed.). (A. d. Carvalho, Trad.) São Paulo: EDUSP.

Marchioni, M. L. (2012). **Desenvolvimento de técnicas para caracterização de concreto seco utilizado na fabricação de peças de concreto para pavimentação intertravada.** São Paulo.

Marina Altoé, C. (2020). **Avaliação de matrizes obtidas pela alcaliativação do rejeito de barragem de minério de ferro aditivado com resíduo de lã de vidro.** Ouro Preto, MG, Brasil: UFOP.

Martinez, C. (07 de fevereiro de 2019). **Sindicato dos Serviços Públicos do Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais.** Acesso em 17 de março de 2020, disponível em <http://sindsemamg.com.br/tag/barragem-a-montante/>

MAURY, M., & et. al. (04 de junho de 2012). Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente. **Sustentabilidade em Debate**, pp. 75-96.

MCTI. (26 de maio de 2021). **Movimento de Massa.** Fonte: GOV.BR: <https://www.gov.br/cemaden/pt-br/paginas/ameacas-naturais/movimento-de-massa#:~:text=Movimento%20de%20Massa%2C%20tamb%C3%A9m%20denominado,potencializado%20pela%20a%C3%A7%C3%A3o%20da%20C3%A1gua>

Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2008). **Concreto: estrutura, propriedades e materiais** (Vol. 3ª edição). São Paulo: Pini.

Mendes, J. C., Barreto, R. R., Costa, L. C., Brigolini, G. J., & Peixoto, R. A. (2020). **Correlation Between Ultrasonic Pulse Velocity and Thermal Conductivity of Cement-Based Composites.** 39(36).

Menezes, R. R., Neves, G. d., & Ferreira, H. C. (2002). **O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas.** Campina Grande.

METALOCUS. (23 de janeiro de 2013). **Aeronautical cultural centre in prat airport.** Fonte: metalocus: <https://www.metalocus.es/en/news/aeronautical-cultural-centre-prat-airport>

MILLER, W. (1998). **A definição de design.** Fonte: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38810091/MillerDesign-libre.pdf?1442607263=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DWilliam\\_Miller\\_A\\_definicao\\_de\\_design\\_The.pdf&Expires=1685068901&Signature=au60v1By7pdCC8ePeZCxa6h3ny4meeX8S0qY8GLjfhQ3OSsD](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38810091/MillerDesign-libre.pdf?1442607263=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DWilliam_Miller_A_definicao_de_design_The.pdf&Expires=1685068901&Signature=au60v1By7pdCC8ePeZCxa6h3ny4meeX8S0qY8GLjfhQ3OSsD)

- MIRANDA, M., CAMACHO, D., BESSA, S., & SACTH, H. (Setembro de 2019). Breve histórico do uso e os aspectos técnicos dos elementos vazados na arquitetura brasileira nos últimos 20 anos. **3º Congresso Internacional de História da Construção Luso-Brasileira**.
- MOHAMAD, G., Bavastri, E. Y., Kirchhof, L. D., Rizzatti, E., & Jantsch, A. A. (2015). Desenvolvimento de uma nova concepção geométrica para os blocos de concretos não modulares para alvenaria estrutural. **Ambiente Construído**, 127-152.
- MORAES, I. (24 de maio de 2023). **Casa e Jardim**. Fonte: G1: <https://revistacasaejardim.globo.com/Casa-e-Jardim/Arquitetura/noticia/2021/03/cobogo-o-que-e-e-como-usa-lo-na-arquitetura.html>
- Moysés, t., & benatti, a. (2019). **Envelhecimento ativo e saudável nos espaços públicos: os casos da praça victor civita e do parque linear cantinho do céu em são paulo (brasil)**. Campinas, sp, brasil: oculum ensaios.
- Ortega, F. d., Pileggi, R. G., Sepúlveda, P., & Pandolfelli, V. C. (1997). **Influência dos Modelos de Alfred e de Andreasen Sobre a Microestrutura e Densidade a Verde de Compactos Cerâmicos Obtidos por Colagem ou Prensagem**. São Carlos.
- PINTO et al. (2021). **Desastres naturais em minas gerais (2016-2020)**. MG, Brasil: Universidade Federal de Itajubá.
- Pirola, F. C. (2011). **Contribuição para o estudo de concreto seco utilizado na fabricação de peças de concreto para pavimentação de 50MPA**. Florianópolis.
- Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS. (02 de agosto de 2010). **LEI Nº 12.305**. Brasília, DF, Brasil. Acesso em 03 de novembro de 2021, disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm#art53](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm#art53)
- Presotti, E. d. (2002). **Influência do teor de ferro dos parâmetros de resistência de um rejeito de minério de ferro**. Ouro Preto.
- Queiroz, I. d. (2018). **Desenvolvimento de concretos de ultra-alta resistência com uso de materiais disponíveis na região do norte de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CEFET-MG.
- Rezende, M. L., Nascimento, J. W., Neves, G. d., Silva, F. L., Leal, A. F., & Ferreira, H. C. (2012). **Uso de metacaulim em concreto seco: uma abordagem por superfície de resposta**. Campina Grande.
- Rezende, V. A. (2013). **Estudo de comportamento de barragem de rejeito arenoso alteada por montante**. Ouro Preto: UFOP.
- Ribeiro, J. S. (2005). **Avaliação do desempenho de blocos de concreto para alvenaria com e sem função estrutural produzidos com resíduos de concreto compactado com rolo**. Goiânia.
- RIFFEL, E., GUASSELLI, L., & BRESSANI, L. (julho de 2016). **Desastres associados a movimentos de massa: uma revisão de literatura**. Fonte: <file:///C:/Users/ludimila.antunes/Downloads/admin,+42796-179537-1-CE.pdf>
- ROCHA, F. M., MELO, A. B., SILVA, E. P., & TORRES, S. M. (junho de 2013). **Pré-moldado (bloco EVAi) para alvenaria intertravada: projeto, produção, desempenho e simulação de uso em habitação social**. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212013000200005>.

ROCHA, S., & et. al., (2020). As políticas públicas como instrumento efetivo para o planejamento territorial e sua relação com o desenvolvimento sustentável. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**.

Sabbo, G. R., Assis, M. M., & Berterquini, A. B. (2017). **Barragens de retenção de rejeitos de mineração**. Araçatuba: Revista Engenharia em Ação UniToledo,.

SALVADOR FILHO, J. A. (26 de junho de 2007). Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas. São Carlos, SP, Brasil: USP.

SASSEN, S. (2016). **Expulsões: brutalidade e complexidade na economia global**. São Paulo: Paz e Terra.

SGB. (09 de janeiro de 2023). **Vetores de expansão urbana de Ouro Preto (MG) tem 174 áreas sujeitas a deslizamentos, queda de blocos e fluxo de detritos**. Fonte: Serviço Geológico do Brasil: <https://www.cprm.gov.br/publique/Noticias/Vetores-de-expansao-urbana-de-Ouro-Preto-%28MG%29-tem-174-areas-sujeitas-a-deslizamentos%2C-queda-de-blocos-e-fluxo-de-detritos-7835.html>

SIGMA BLOCOS. (2021). **Sigma Blocos**. Acesso em 30 de novembro de 2021, disponível em Sigma Blocos: <https://www.sigmablocos.com.br/blog/conhea-as-vantagens-do-bloco-de-concreto-115-cm>

SILVA. (2014). **Aproveitamento e Reciclagem de Resíduos de Concentração de Minério de Ferro na Produção de Pavers e Cerâmica**.

SILVA, A. (2022). **Utilização de cimento álcali-ativado para produção de cobogó**. Cratéus, CE, Brasil: UFC.

Silva, F. L. (Março de 2014). **Aproveitamento e Reciclagem de Resíduos de Concentração de Minério de Ferro na Produção de Pavers e Cerâmica**. Ouro Preto.

Silva, M., Fortes, M., & Delgado, M. (2020). **A extração irregular de areia e os impactos ambientais no ramal água preta/areal, zona rural de manaus-am**. *Revista Ciência Geográfica*, 684-697.

SILVA, N. (Maio de 2012). **Muros de Terra Armada - Verificação da segurança**. Lisboa, Portugal.

SILVA, R. G. (2017). **Caracterização de concreto asfáltico elaborado com Rejeito de Minério de Ferro do Quadrilátero Ferrífero**.

SILVA, V. C. (outubro de 2016). O design como potencializador para alcançar a inovação no reaproveitamento de resíduos industriais: tecnologia para agregar valor na produção de pisos intertravados. **Blucher Design Proceedings**, pp. 4528 - 4538.

SVAMPA, M. (2019). **As fronteiras do neoextrativismo na América Latina: conflitos socioambientais, giro ecoterritorial e novas dependências**. São Paulo: Elefante.

THOMÉ, R., & et. al., (2018). **Barragens de rejeito de mineração: características do método de alteamento para montante que fundamentaram a suspensão de sua utilização em Minas Gerais**. (C. S. UNIOESTE/MCR, Ed.) 18, pp. 49-65.

TRIGO, P. (07 de julho de 2014). **Projeto de Herzog & de Meuron na suíça é o maior edifício em terra crua da Europa**. Fonte: Teto: Arquitetura sustentável: <https://teto2r.com/2014/07/07/projeto-de-herzog-de-meuron-na-suica-e-o-maior-edificio-em-terra-crua-da-europa/>

- VERMEMATTI, J. (2004). **Manual brasileiro de geossintéticos**. São Paulo: Blucher.
- VIEIRA, A., BORBA, C., & RODRIGUES, J. (2012). Cobogó de pernambuco. Em J. RODRIGUES, **Cobogó de pernambuco** (p. 5). Recife.
- VORMITTAG,, E. A. (2018). Avaliação de saúde da população de barra longa afetada Pelo desastre de mariana, brasil. **Ambiente & Sociedade**, v. 21.
- WANDERLEY, L. J. (2017). Do Boom ao Pós-boom das commodities: o comportamento do stor mineral no Brasil. **Versos - Textos Para Discussão Poemas**.
- WERF, V. P. (1999). **Mortarless block system: Masonry Construction**.
- WONG, H., & KWAN, A. (2008). Packing density of cementitious materials: part 1— measurement using a wet packing method. **Materials and Structures**.
- XAVIER, F. G. (2019). **Estudo do potencial tecnológico de uso de rejeitos de minério de ferro em blocos destinados para paramento de estruturas de solo reforçado por geossintéticos em Ouro Preto-MG**. Ouro Preto: UFOP.