



Ministério da Educação
Secretaria de Educação
Profissional e Tecnológica

**DIRETORIA DE ENSINO DO CAMPUS DE
SALVADOR DEPARTAMENTO ACADÊMICO
DE CONSTRUÇÃO CIVIL EDIFICAÇÕES**

**EMANUELE CRISTINA PEREIRA MIRANDA
GUILHERME ALVES CHAGAS**

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE MISTURAS PARA TIJOLOS
ECOLÓGICOS PRODUZIDAS COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO**

**SALVADOR/ BA
2025**

**EMANUELE CRISTINA PEREIRA MIRANDA
GUILHERME ALVES CHAGAS**

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE MISTURAS PARA TIJOLOS
ECOLÓGICOS PRODUZIDAS COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - Campus Salvador, como requisito parcial para obtenção do grau de Técnico em Edificações.

Orientadora: Me. Juliane Santos Souza.

SALVADOR/ BA

2025

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS DO IFBA, COM OS
DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

M762a Miranda, Emanuele Cristina Pereira

Avaliação das propriedades de misturas para tijolos ecológicos produzidas com resíduos de construção e demolição / Emanuele Cristina Pereira Miranda; Guilherme Alves Chagas; orientadora Juliane Santos Souza -- Salvador, 2025.

50 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Edificações) -- Instituto Federal da Bahia, 2025.

1. Resíduo de construção e demolição. 2. Tijolo de solo-cimento. 3. Material reciclado. I. Chagas, Guilherme Alves, colab. II. Souza, Juliane Santos, orient. III. TÍTULO.

CDU 666.712

**EMANUELE CRISTINA PEREIRA MIRANDA
GUILHERME ALVES CHAGAS**

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE MISTURAS PARA TIJOLOS
ECOLÓGICOS PRODUZIDAS COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO**

Atividade De Conclusão De Curso apresentada ao Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia Da Bahia - Campus Salvador como requisito parcial para a obtenção do grau de De Técnico em Edificações.

Salvador, 06 de janeiro de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Juliane Santos Souza (Orientadora) Juliane Santos Souza
Mestra em Engenharia Civil e Ambiental pela UEFS.
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - Campus Salvador.

Adriano Silva Fortes (Examinador) Adriano Silva Fortes
Doutor em Engenharia Civil pela UFSC/Universidade do Minho-PT.
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - Campus Salvador.

Regina Maria Cunha Leite (Examinador) Regina Maria Cunha Leite
Doutora em Gestão e Tecnologia Industrial pelo SENAI.
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - Campus Salvador.

DEDICATÓRIA

A Deus, nossa eterna rocha e base sólida, por sustentar cada passo de nossa jornada e nos guiar na construção dos nossos sonhos.

Às nossas famílias, nossa fundação inabalável, que fornece suporte e amor incondicional, permitindo que a gente erga frente aos desafios.

Aos professores, pilares incansáveis da educação, que, com sua sabedoria, transmitiram o conhecimento necessário para a nossa formação.

Aos amigos e colegas de jornada, que como vigas, garantiram estabilidade emocional e fortaleceram as estruturas nos momentos mais difíceis.

Ao IFBA-Campus Salvador, pelo suporte técnico e estrutural para a realização deste trabalho.

E, por fim, a todos que acreditaram na construção deste projeto, contribuindo com sua confiança, como peças fundamentais para a conclusão desta obra chamada ACC.

A vocês, nossa eterna gratidão.

AGRADECIMENTOS

Emanuele Cristina Pereira Miranda:

Primeiramente, agradeço a Deus, que sempre me guiou e fortaleceu em cada passo dessa jornada, iluminando meu caminho e me dando forças para nunca desistir.

A minha mãe, Elisabete Cristina, pelo amor incondicional, pelo apoio em todos os momentos e por ser minha maior inspiração. Ao meu pai, Edmilson, que mesmo não estando mais presente nesse mundo, continua vivo em meu coração e em cada conquista que alcanço. Ao meu padrasto Joeliton, que considero também meu pai, pelo carinho, incentivo e presença constante.

Ao meu tio Carlos Alberto e a minha irmã Micaelle Cristina, minha pequena, meu orgulho, minha melhor amiga. Amo vocês imensamente e sou muito grata por terem feito parte dessa trajetória.

Aos meus colegas, que estiveram ao meu lado, ajudando e incentivando ao longo desse processo, tornando essa caminhada mais leve e motivadora.

A nossa orientadora, Juliane Santos, meu sincero agradecimento por sua paciência, dedicação e acolhimento. Seu apoio foi essencial para tornar essa jornada mais fluida e enriquecedora. Seu comprometimento e incentivo foram fundamentais para que esse trabalho alcançasse o melhor resultado possível.

Por fim, ao meu parceiro de pesquisa e grande amigo, Gui. Desde o início, estivemos juntos em todos os momentos, nos desafios e nas conquistas, nos dias bons e nos difíceis. Como você mesmo disse, nos tornamos uma prioridade um para o outro, e nossa amizade se fortaleceu como algo verdadeiro e sincero. Obrigada por cada troca, por cada risada e por cada superação lado a lado.

A todos vocês, minha eterna gratidão.

Guilherme Alves Chagas:

Primeiramente, agradeço a Deus por suas maravilhosas obras em minha vida e pela força que me concede para continuar, independentemente dos desafios.

Aos meus pais, Joelma e Milton, minha eterna gratidão pelos esforços, pelos valiosos ensinamentos e pelo amor incondicional. Não estaria aqui sem os sacrifícios que ambos fizeram por mim.

Aos meus irmãos e a toda a minha família, obrigado pelo apoio inestimável.

Aos amigos e colegas, sou grato pela ajuda e pelas palavras de incentivo. Em especial, agradeço àqueles que contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Deixo também o mais sincero agradecimento à nossa orientadora, querida Juliane, que nos acolheu e tornou essa jornada a mais leve possível. Seremos eternamente gratos por sua dedicação e orientação.

Por fim, agradeço a Manu, minha parceira de pesquisa, que durante toda a nossa trajetória acadêmica nunca saiu do meu lado, e nós tornamos prioridade um do outro, nossa amizade foi algo verdadeiro e sincero. Você foi mais que uma parceira de trabalho, mais que uma colega de turma, foi uma verdadeira amiga.

Obrigado por tudo.

“O ontem é história, o amanhã é um mistério, mas o hoje é uma dádiva.
É por isso que se chama presente.”
(Kung Fu Panda)

MIRANDA, Emanuele Cristina Pereira; CHAGAS, Guilherme Alves. **Avaliação das propriedades de misturas para tijolos ecológicos produzidas com resíduos de construção e demolição**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Edificações) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA) – Campus Salvador.

RESUMO

A indústria da construção civil tem consumido cada vez mais recursos naturais. O Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) 1, seguido do PAC 2 e o PAC 3 são impulsionadores do aumento do número de obras. O cenário citado ocasiona a geração de resíduos de construção e demolição (RCD). Nesse cenário, o uso do RCD na produção de tijolos ecológicos pode ser uma saída viável para a diminuição dos impactos da cadeia produtiva da construção civil, principalmente pelo consumo dos resíduos, que anteriormente deveriam ser descartados. Outro aspecto importante é que os tijolos de solo-cimento não precisam ser submetidos a queima, como os tijolos mais utilizados atualmente, que são os de material cerâmico. Com base no que foi apresentado, o objetivo geral deste trabalho é a avaliação de misturas para a produção de tijolos de solo-cimento com diferentes percentuais de RCD em substituição parcial ao solo. Para isso, inicialmente foi feita a caracterização dos materiais utilizados e, posteriormente, as misturas foram avaliadas quanto à resistência à compressão e a absorção por imersão. Os resultados mostraram que a incorporação de RCD em tijolos ecológicos promoveu redução da absorção e aumento da resistência mecânica, indicando que é uma alternativa promissora para a gestão de resíduos da construção civil, proporcionando uma destinação mais sustentável para esses materiais e reduzindo a extração de recursos naturais.

Palavras-chave: Resíduo de construção e demolição, tijolo de solo-cimento, material reciclado.

MIRANDA, Emanuele Cristina Pereira; CHAGAS, Guilherme Alves. **Evaluation of the properties of mixtures for ecological bricks produced with construction and demolition waste**. 2025. Course Conclusion Work (Building Technician) – Federal Institute of Education, Science, and Technology of Bahia (IFBA) – Salvador Campus.

ABSTRACT

The construction industry has been consuming more and more natural resources. The Growth Acceleration Program (PAC) 1, followed by PAC 2 and PAC 3, is driving the increase in construction projects. The aforementioned scenario results in the generation of construction and demolition waste (CDW). In this scenario, the use of CDW in producing ecological bricks can be a viable solution to reduce the impacts of the construction production chain, mainly due to the consumption of waste, which would previously have to be discarded. Another important aspect is that soil-cement bricks do not need to be fired, unlike the most commonly used bricks today, which are made of ceramic material. Based on the above, the general objective of this work is to evaluate mixtures for the production of soil-cement bricks with different percentages of CDW as a partial replacement for soil. To this end, the materials used were initially characterized and, subsequently, the mixtures were evaluated for compressive strength and absorption by immersion. The results showed that the incorporation of RCD into ecological bricks is a promising alternative for the management of construction waste, providing a more sustainable destination for these materials and reducing the extraction of natural resources.

Keywords: Construction and demolition waste, soil-cement brick, recycled material.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma das etapas desta pesquisa.....	25
Figura 2 – RCD resultante de argamassa, utilizado nesta pesquisa.....	26
Figura 3 – RCD após peneiramento na peneira de 0,15 mm.....	26
Figura 4 - Solo utilizado na confecção dos tijolos.....	27
Figura 5 - Ensaio de plasticidade.....	28
Figura 6 - Amostras do ensaio de plasticidade antes de irem para a estufa.....	29
Figura 7 - Ensaio do limite de liquidez.....	29
Figura 8 - Ensaio de sedimentação.....	30
Figura 9 - Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria.....	30
Figura 10 - Mistura de solo-cimento sem adição de RCD.....	31
Figura 11 - Mistura de solo-cimento com adição de 5% de RCD.....	32
Figura 12 - Mistura de solo-cimento com adição de 10% de RCD.....	32
Figura 13 - Amostras em descanso durante o período de cura.....	33
Figura 14 - Amostras em estufa para secagem.....	34
Figura 15 - Amostras submersas em água para o ensaio de absorção.....	34
Figura 16 - Amostras após aplicação da nata cimentícia para regularização das superfícies superiores e inferiores.....	35
Figura 17 - Amostra na prensa hidráulica utilizada para o ensaio de compressão.....	35
Figura 18 - Resultado no ensaio do limite de liquidez para o solo de referência.....	37
Figura 19 – Resultado no ensaio do limite de liquidez para o solo com 5% de RCD.....	37
Figura 20 – Resultado no ensaio do limite de liquidez para o solo com 10% de RCD.....	38
Figura 21 - Resultado do ensaio de granulometria para a amostra de solo natural.....	39
Figura 22 – Resultado do ensaio de granulometria para a amostra de solo+5% de RCD.....	40
Figura 23 – Resultado do ensaio de granulometria para a amostra de solo+10% de RCD...	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – A geração do RCD por região.....	15
Tabela 2 - Classificação dos resíduos da construção civil.....	17
Tabela 3 – Influência do rcd na absorção de tijolos produzidos com RCD na composição....	21
Tabela 4 – Influência do RCD na compressão dos tijolos com 7 dias de cura.....	22
Tabela 5 – Influência do RCD na compressão dos tijolos com 28 dias de cura.....	23
Tabela 6 - Características físicas do cimento utilizado.....	27
Tabela 7 - Traços usados na composição das misturas.....	31
Tabela 8 - Resultados do ensaio do limite de plasticidade para os solos utilizados neste trabalho.....	36
Tabela 9 - Resultados dos índices de consistência dos solos analisados.....	38
Tabela 10 – Resultado do ensaio de absorção dos tijolos.....	41
Tabela 11 – Resultado do ensaio de compressão dos tijolos.....	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Objetivos.....	14
1.1.1 Objetivos específicos.....	15
2. USO DE RCD PARA PRODUÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS.....	15
2.1 Geração de resíduo de construção e demolição.....	15
2.2 Caracterização do RCD.....	16
2.2.1 Classificação do RCD.....	16
2.2.3 Massa Específica.....	18
2.2.4 Angulosidade.....	18
2.2.5 Quantidade de material pulverulento.....	19
2.3 Influência do RCD nas propriedades dos tijolos.....	19
2.3.1 Absorção.....	19
2.3.2 Compressão simples.....	22
3. METODOLOGIA.....	24
3.1 Materiais.....	25
3.1.1 Resíduos de construção e demolição.....	25
3.1.2 Cimento.....	26
3.1.3 Solo.....	27
3.1.4 Água.....	27
3.2 Métodos.....	28
3.3 Caracterização do solo.....	28
3.3.1 Ensaio de plasticidade.....	28
3.3.2 Ensaio do limite de liquidez.....	29
3.3.3 Ensaio de granulometria.....	30
3.4 Confecção das misturas de solo-cimento.....	31
3.4.1 Traço utilizado.....	31
3.4.2 Ensaio de Absorção.....	33
3.4.3 Ensaio de Compressão Simples.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
4.1 Caracterização dos materiais.....	36
4.1.1 Limite de plasticidade e Limite de liquidez.....	36
4.1.2 Granulometria dos solos.....	39
4.2 Ensaio de absorção por imersão.....	41
4.3 Ensaio de resistência à compressão.....	42
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
6. REFERÊNCIAS.....	44
APÊNDICE A.....	48

1. INTRODUÇÃO

A sustentabilidade e sua importância têm sido um tema amplamente discutido no setor da construção civil. O desenvolvimento sustentável é pensado dentro de um lema, para atender a geração atual sem comprometer o desenvolvimento das gerações futuras.

Nesse contexto, a indústria da construção civil desempenha um papel fundamental, por ser um dos setores que mais consome recursos naturais e gera resíduos (Monteiro et al., 2017). Portanto, a adoção de práticas sustentáveis nessa indústria se tornou essencial para promover a eficiência no uso de recursos naturais e a redução dos impactos ambientais, por meio de soluções mais inovadoras e ecológicas (Pereira, 2023).

Um Panorama de Resíduos Sólidos do Brasil, publicado em 2024 pela Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA), faz uma estimativa que em 2023 foram gerados cerca de 44 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) (ABREMA, 2024). Segundo o relatório, os montantes coletados, em boa parte, estavam abandonados em vias e locais públicos, o que representa um grave problema para as prefeituras resolverem (ABREMA, 2022). Esses dados mostram, de forma preocupante, a responsabilidade que o setor da construção civil deve ter para diminuir os impactos associados à produção dos materiais que serão descartados. Considerando o contexto apresentado, é perceptível a necessidade da adoção de práticas sustentáveis na construção civil, que tem como foco reduzir a quantidade de RCD produzida, ou mesmo, promover um gerenciamento adequado desse tipo de material.

Além dos aspectos citados, a extração de recursos naturais pela construção civil, como areia, pedra e argila, gera problemas ambientais, e são os principais recursos extraídos por esse setor (Lira, 2020). A mineração dos materiais citados, pode resultar na depreciação da qualidade do solo, a diminuição da infiltração de água e a ocorrência de processos de erosão (Nogueira, 2016).

Além dos danos diretos ao meio ambiente, há os danos decorrentes dos processos de produção associados à construção civil, como a fabricação de cimento e tijolos tradicionais, que liberam grandes quantidades de CO₂ na atmosfera,

contribuindo com o problema das mudanças climáticas (Laruccia, 2014).

Uma solução promissora no contexto da construção sustentável é o reaproveitamento de materiais, inclusive a Resolução CONAMA N° 307, de 2002 preconiza que alguns resíduos provenientes das atividades de construção civil podem ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados. Nesse contexto, há a viabilidade de avaliar a produção de tijolos ecológicos confeccionados com RCD beneficiado em forma de agregado miúdo. Essa abordagem pode oferecer possíveis vantagens, como a redução na quantidade de resíduos descartados, a diminuição na demanda por materiais naturais, frequentemente usados na fabricação dos tijolos tradicionais. e a diminuição da liberação de CO₂, resultante do processo de queima dos tijolos comuns (Monteiro et al., 2017).

De acordo com a literatura, os tijolos feitos com RCD podem alcançar características mecânicas adequadas para a sua utilização de forma efetiva, representando uma alternativa viável e ecológica aos materiais convencionais. No entanto, há estudos que indicam que as propriedades dos agregados de RCD se distinguem das areias naturais, sendo necessário, portanto, a avaliação desses materiais antes da do seu emprego em tijolos reciclados (Faria et al., 2022; Lira, 2020).

Também é importante ressaltar que apesar das promessas e benefícios aparentes dos tijolos ecológicos feitos a partir de RCD, várias questões de pesquisa permanecem em aberto: indicação do melhor percentual de substituição do agregado natural pelo agregado de RCD e quais as alterações que os RCD promovem na resistência mecânica e absorção desses tijolos reciclados (Viana; Gonçalves, 2017).

Diante do que foi apresentado, esse trabalho busca identificar as características de misturas produzidas com resíduo de construção e demolição, com diferentes percentuais de agregado reciclado de RCD na composição.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral analisar a resistência mecânica e a absorção de misturas com substituição parcial de solo por resíduos de construção e demolição em forma de agregado miúdo reciclado.

1.1.1 Objetivos específicos

Para cumprir o objetivo geral, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- caracterizar os resíduos de construção e demolição e o solo utilizado para as misturas;
- analisar a absorção de água das misturas produzidas com diferentes percentuais de RCD;
- avaliar a resistência à compressão das misturas produzidas com diferentes percentuais de RCD.

2. USO DE RCD PARA PRODUÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS

2.1 Geração de resíduo de construção e demolição

A geração de resíduos decorrentes das atividades da construção civil é um dos maiores desafios enfrentados pelo setor (Faria et al., 2022). Segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON), cerca de 44 milhões de toneladas de RCD foram coletadas no ano de 2023, sendo apenas 10% (dez por cento) destinados à reciclagem (ABRECON, 2023). Isso reflete diretamente como a indústria da construção civil se porta ao gerenciar esses resíduos, sendo urgente a necessidade de melhoria dos índices. A Tabela 1 traz a geração desses resíduos considerando as diferentes regiões do Brasil.

Tabela 1 – A geração do RCD por região

Região	Geração do RCD por região
Norte	1.663.097
Nordeste	8.677.633
Centro-oeste	5.222.876
Sudeste	22.665.826
Sul	6.235.319

Fonte: ABREMA, adaptado pelos autores, 2024.

A Tabela 1 indica que a região sudeste gera a maior quantidade de resíduos, correspondendo a metade do total gerado no país, sendo, portanto, importante concentrar maiores ações nesse local.

Além disso, O Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) apontou que, entre 2015 e 2023, a destinação e recuperação dos RCD tiveram algumas melhorias, mas é evidente, que ainda é necessário um maior empenho para melhorar os índices de reciclagem e reaproveitamento (SINIR, 2024).

Portanto, a geração de resíduos na construção civil continua crescendo, sendo necessária uma destinação mais eficiente para minimizar impactos ambientais e aumentar as taxas de reciclagem e reutilização. No entanto, essa tarefa não é fácil, principalmente pelo fato de que o responsável pelo resíduo gerado é o próprio cidadão (ABREMA, 2024).

Gonçalves (2013) verificou em seu estudo que, em média, 45 % dos RCD produzidos são restos de cerâmicas, concretos e argamassas, ou seja, são classificados como um material que pode ser reaproveitado ou reciclado dentro do próprio setor.

No entanto, esses dados ainda são imprecisos, pois existem poucos materiais que fazem essa previsão, inclusive há a ausência de dados mais recentes. Porém os artigos que tratam do tema indicam que, de forma geral, os RCD são heterogêneos e, portanto, precisam ser classificados antes do seu uso em outros materiais (Segantini, 2024).

2.2 Caracterização do RCD

2.2.1 Classificação do RCD

De acordo com a Resolução CONAMA N° 307 (2002), os resíduos da construção civil podem ser classificados em quatro classes diferentes, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação dos resíduos da construção civil

Classe	Descrição
A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.
B	São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos: papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso.
C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.
D	São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Fonte: Resolução CONAMA N° 307 (2002), adaptada pelos autores.

Conforme a resolução CONAMA N° 307 (2002) os resíduos classe A, podem ser reciclados ou reutilizados como agregados. No entanto essa aplicabilidade não é direta, os materiais precisam ser analisados quanto às suas propriedades, para analisar a viabilidade da inserção desses materiais em novos (Lira, 2020). Os tópicos seguintes fazem uma descrição desses materiais quanto a algumas características.

2.2.2 Porosidade e absorção

A porosidade é a medida da quantidade de espaços vazios dentro de um material sólido, em relação ao seu volume total. Os agregados reciclados provenientes de RCD apresentam maior porosidade quando comparados aos agregados de rochas naturais (Cho e Yeo, 2004).

A característica de porosidade é resultante dos materiais que dão origem aos RCD, pois são constituídos, em sua maioria, por argamassa, concreto e cerâmica, que são materiais que possuem espaços vazios no seu interior (Faria et al., 2022).

Essa porosidade pode comprometer a resistência mecânica dos materiais produzidos com os RCD, principalmente se a sua aplicação for em materiais cimentícios (Ricci e Balbo, 2009).

A alta porosidade ocasiona nos agregados reciclados uma também elevada absorção. O potencial de absorção é um dos aspectos que mais causam impacto no uso dos RCD. Há redução da água na mistura, o que leva a uma perda de trabalhabilidade (Viana; Gonçalves, 2017).

2.2.3 Massa Específica

A massa específica é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, sem considerar os vazios. Segundo observações de Bazuco (1999) os valores da massa específica dos agregados reciclados são geralmente de 5% a 10% menores que os valores de massa específica dos agregados naturais, existindo a possibilidade desses números variarem um pouco, de acordo com a origem do material.

Além disso, Leite (2001) afirma que tanto a massa específica dos agregados reciclados quanto a massa unitária são geralmente menores do que a dos agregados naturais utilizados na produção de concretos.

A característica supracitada causa uma menor massa específica do material em que o RCD for aplicado, por consequência. O que não é prejudicial no caso de tijolos ecológicos, afinal serão mais leves, facilitando a sua aplicação no momento da construção.

2.2.4 Angulosidade

A angulosidade dos resíduos é resultante da irregularidade e presença de arestas vivas nas partículas. Essa característica ocorre pelo processo de beneficiamento desse material, que ocorre por meio da sua quebra em grãos menores (Monteiro, Amaral e Delgado, 2017).

Segundo Leite (2021) os agregados provenientes de resíduos de construção e demolição apresentam uma angulosidade e textura mais ásperas. A característica citada pelo autor contribui para uma melhor aderência ao material reciclado e ao solo.

2.2.5 Quantidade de material pulverulento

Os materiais pulverulentos são, por definição, os passantes na peneira de N° 200 (Souza, Segantini e Santos, 2024). Os RCD costumam apresentar uma grande quantidade de grãos pequenos, devido ao processo de quebra dos materiais cerâmicos e cimentícios, que são mais frágeis (Faria et al. (2022).

A existência de materiais pulverulentos pode ocasionar aumento da resistência mecânica e redução da absorção dos tijolos produzidos com agregado reciclado de RCD. Esse comportamento pode ser explicado pelos finos preencherem os vazios (porosidade) dos blocos (Faria et al., 2022).

2.3 Influência do RCD nas propriedades dos tijolos

2.3.1 Absorção

Segundo (Ambrozewicz, 2012) os materiais possuem a capacidade de absorver e reter em maior ou menor grau, a água. A esta propriedade dá-se o nome de absorção. Aspectos importantes a serem salientados sobre o tijolo ecológico é sobre sua grande durabilidade e manutenção reduzida das edificações realizadas com o mesmo, pois por apresentar elevada resistência e boa impermeabilidade, as construções com ele executadas são muito duráveis, resistindo ao longo dos anos ao desgaste e à umidade (Teixeira et al., 2012).

Os tijolos produzidos a partir de RCD apresentam, em geral, uma porosidade mais elevada em comparação aos materiais convencionais, o que influencia diretamente sua capacidade de absorção de água. Esse aumento no aspecto da porosidade pode trazer benefícios específicos, como a melhoria no isolamento térmico e acústico do material, relevante para eficiência energética das edificações (John, 2000). No entanto, uma elevada absorção de água pode representar um fator de vulnerabilidade, favorecendo processos de eliminação por umidade e durabilidade do componente construtivo (Isaia et al., 2017). Dessa forma, o controle da porosidade dos tijolos de RCD, por meio da otimização da granulometria e do processo de cura, torna-se essencial para equilibrar suas propriedades físicas e mecânicas, garantindo um desempenho adequado ao longo do tempo.

Por outro lado, é crucial considerar as propriedades específicas dos materiais envolvidos na mistura de solo-cimento com RCD. Estudos de caracterização, incluindo testes de compactação, determinação da umidade ótima e da massa específica aparente seca, são fundamentais para garantir a qualidade e a durabilidade dos tijolos produzidos. Esses testes permitem ajustar as proporções de solo, cimento e resíduos, otimizando as propriedades mecânicas do material final (Silva et al., 2011).

De acordo com Masson et al. (2016) a absorção é influenciada pela porosidade dos RCD, sendo mais alta para elementos mais porosos. Ou seja, a amostra que mostra mais absorção de água é mais porosa e pode ter sofrido grande influência da presença do RCD na composição. Geralmente nas paredes de alvenaria, a absorção de água é causada pela ascensão capilar da água, através dos poros do bloco cerâmico. Com esta situação, geralmente notam-se manchas, bolor e eflorescências, destacamento de placas, etc. Para minimizar esse efeito, são empregados métodos como o uso de impermeabilizantes e a aderência a parâmetros normativos específicos.

A literatura traz alguns resultados de absorção para tijolos produzidos com RCD na composição da mistura, conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Influência do rcd na absorção de tijolos produzidos com RCD na composição

Autor (ano)	Material Utilizado	Teor de Absorção (%)
Lima et al. (2015)	Referência	21,03
Lima et al. (2015)	10% de resíduo misto	18,82
Lima et al. (2015)	20% de resíduo misto	19,26
Lima et al. (2015)	30% resíduo misto	18,53
Lima et al. (2015)	40% resíduo misto	18,14
Souza (2006)	Referência	17,5
Souza (2006)	20% de resíduo de concreto	14,7
Souza (2006)	40% de resíduo de concreto	13,5
Souza (2006)	60% de resíduo de concreto	12,5
Ferraz; Segantini (2004)	Sem resíduo	17,2
Ferraz; Segantini (2004)	20% de resíduo de argamassa de cimento	16,9
Souza et al. (2006)	Referência	17,5
Souza et al. (2006)	20% de resíduo de concreto	14,7
Souza et al. (2006)	40% de resíduo de concreto	13,5
Souza et al. (2006)	60% de resíduo de concreto	12,5
Faria et al. (2022)	10% de RCD misto	37
Faria et al. (2022)	15% de RCD misto	30
Faria et al. (2022)	25% de RCD misto	20,83

Fonte: Os autores.

Faria et al. (2022) verificaram em seu estudo que os tijolos ecológicos produzidos com 10, 15 e 25 % de RCD misto apresentaram redução da absorção conforme se aumentava o teor de material reciclado na mistura. O mesmo comportamento foi verificado pelos demais autores analisados, independentemente da quantidade de material reciclado empregado na mistura.

2.3.2 Compressão simples

Em conjunto, a resistência à compressão é uma propriedade física muito importante para a segurança e durabilidade de uma edificação. Diante disso, se faz preciso que os tijolos ecológicos mantenham a sua eficácia sem que os compostos de RCD alterem sua composição, e conseqüentemente sua resistência.

Segundo a NBR 8491 (ABNT, 2012), a amostra não pode apresentar a média dos valores de resistência à compressão menor do que 2,0 MPa (20 kgf/cm²) nem valor individual inferior a 1,7 MPa (17 kgf/cm). As Tabelas 4 e 5 trazem os resultados de diferentes autores nos ensaios de compressão realizados no período de 7 e 28 dias

Tabela 4 – Influência do RCD na compressão dos tijolos com 7 dias de cura

Autor (ano)	Material utilizado	Resistência à compressão (7 dias)
Viana; Gonçalves (2017)	10% de resíduo de agregado	1,73 MPa
Viana; Gonçalves (2017)	20% de resíduo de agregado	1,70 MPa
Viana; Gonçalves (2017)	50% de resíduo de agregado	2,00 MPa
Segantini; Wada (2011)	60% de resíduo misto	3,40 MPa
Segantini; Wada (2011)	80% de resíduo misto	2,20 MPa
Souza (2006)	Referência	2,84 MPa
Souza (2006)	20% de resíduo de concreto	3,08 MPa
Souza (2006)	40% de resíduo de concreto	3,50 MPa
Souza (2006)	60% de resíduo de concreto	3,50 MPa
Souza et al. (2006)	Referência	1,60 MPa
Souza et al. (2006)	20% de resíduo de concreto	2,50 MPa
Souza et al. (2006)	40% de resíduo de concreto	2,78 MPa
Souza et al. (2006)	60% de resíduo de concreto	2,78 MPa
Ferraz; Segantini (2004)	Referência	1,6 MPa
Ferraz; Segantini (2004)	20% de resíduo de argamassa de cimento	2,8 MPa

Fonte: Os autores.

Tabela 5 – Influência do RCD na compressão dos tijolos com 28 dias de cura

Autor (ano)	Material utilizado	Resistência à compressão (28 dias)
Souza et al. (2006)	Referência	3,40 Mpa
Souza et al. (2006)	20% de resíduo de concreto	3,74 Mpa
Souza et al. (2006)	40% de resíduo de concreto	4,39 Mpa
Souza et al. (2006)	60% de resíduo de concreto	4,64 Mpa
Lima et al. (2015)	Referência	1,67 Mpa
Lima et al. (2015)	10% de resíduo misto	2,03 Mpa
Lima et al. (2015)	20% de resíduo misto	1,59 Mpa
Lima et al. (2015)	30% resíduo misto	1,56 Mpa
Lima et al. (2015)	40% resíduo misto	1,74 Mpa
Souza (2006)	Referência	3,52 Mpa
Souza (2006)	20% de resíduo de concreto	4,52 Mpa
Souza (2006)	40% de resíduo de concreto	4,77 Mpa
Souza (2006)	60% de resíduo de concreto	4,69 Mpa
Copari; Oliveira (2016)	15% de resíduos de concreto	2,15 Mpa
Copari; Oliveira (2016)	35% de resíduos de concreto	2,63 Mpa

Fonte: Os autores.

Em seus ensaios, Viana e Gonçalves (2017) obtiveram que os tijolos ecológicos com 50% de resíduo são os que apresentaram os melhores resultados, sendo uma alternativa viável.

No entanto, Copari e Oliveira (2016) notaram que em relação ao ensaio de compressão, os tijolos de solo-cimento analisados não obtiveram o resultado mínimo exigido por norma com adições de resíduos superiores a 15% e 35% respectivamente com exatos 7 dias de cura e ao serem comparados com o traço sem adição de resíduos, os mesmos não apresentaram resistência igual ou superior. Mas ao analisar os tijolos com 28 dias de cura, os mesmos traços obtiveram valores satisfatórios exigidos por norma. Com isso pode-se afirmar que o tempo de cura dos tijolos influencia na resistência à compressão.

Outro fator que impacta na qualidade dos tijolos é a qualidade do solo, em seus experimentos Faria et al. (2022) obteve resultados insatisfatórios em todos os seus corpos de prova, eles afirmaram que isso se deu, muito provavelmente, pela qualidade do solo que utilizam na composição dos corpos de prova. Com isso, percebe-se a necessidade de um solo adequado para a fabricação dos tijolos.

Portanto, pode-se concluir que, uma vez que os tijolos ecológicos compostos por RCD possuem as resistências mecânicas, sendo estas estabelecidas por normas, necessárias para a sua utilização nas construções, mas também, os estudos nos alertam para questões sobre a qualidade dos materiais utilizados para a composição, o tempo de cura e a concentração dos materiais nos tijolos.

3. METODOLOGIA

A pesquisa deste trabalho caracteriza-se como exploratória, experimental e quantitativa. Inicialmente, pode-se definir a pesquisa como exploratória, uma vez que buscou-se identificar e compreender as propriedades físicas e mecânicas dos tijolos ecológicos produzidos a partir de RCD. Gil (2002) refere que a pesquisa exploratória tende a proporcionar maior afinidade com o problema de pesquisa, tornando-o mais claro ou permitindo a construção de hipóteses. No caso deste trabalho, o objetivo é aprofundar o entendimento sobre o comportamento dos tijolos ecológicos com substituição parcial do agregado por RCD.

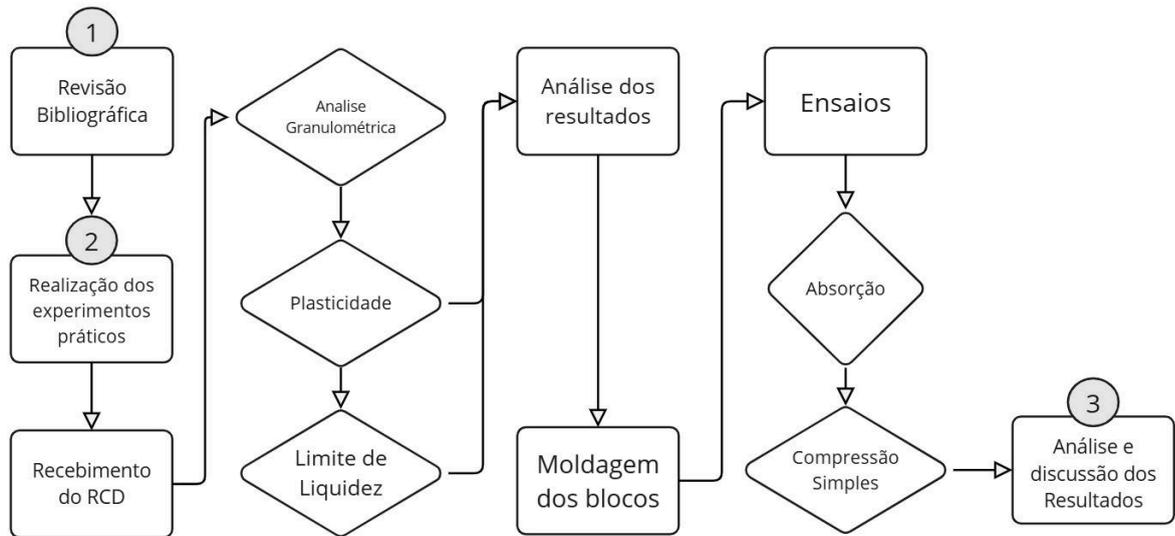
Esta pesquisa também é classificada como experimental, pois envolve a realização de ensaios laboratoriais para analisar propriedades físicas e mecânicas das misturas, e os respectivos materiais utilizados na sua produção.

Por fim, a pesquisa adota uma abordagem quantitativa, visto que os resultados serão expressos em números e analisados estatisticamente, por meio de desvio padrão e coeficiente de variação. Uma vez que, neste estudo, a quantificação dos resultados permitirá a comparação das propriedades das misturas com RCD com de referência (0%), facilitando a análise da viabilidade técnica.

Este trabalho foi desenvolvido em três etapas, conforme a Figura 1, iniciando-se com uma revisão da literatura, seguida da realização dos experimentos práticos, concluindo com a análise estatística da parte experimental, bem como a comparação dos resultados com os apresentados pelos estudos levantados na revisão da literatura. A revisão bibliográfica tem como objetivo reunir e analisar estudos anteriores relacionados ao uso de RCD na produção de tijolos ecológicos.

A parte experimental envolveu a coleta e preparação dos RCDs, a produção da mistura, a preparação das amostras e a realização de ensaios laboratoriais para a avaliação de suas propriedades físicas e, por fim, a análise dos resultados.

Figura 1 - Fluxograma das etapas desta pesquisa



Fonte: Os autores.

3.1 Materiais

Para a produção das amostras foram utilizados os seguintes materiais: RCD cimentício, solo, cimento Portland e água.

3.1.1 Resíduos de construção e demolição

Os RCD utilizados, conforme a Figura 2, foram adquiridos por meio de doação e foram beneficiados no laboratório de Mecânica dos Solos do IFBA - Campus Salvador. O material foi proveniente de resíduos de argamassa. Os mesmos foram caracterizados quanto à classificação granulométrica e a massa específica, com base na NBR 7211 (ABNT, 2022) e NBR 6458 (ABNT, 2025), respectivamente.

Figura 2 – RCD resultante de argamassa, utilizado nesta pesquisa



Fonte: Os autores.

Optou-se por peneirar os RCD na peneira de 0,15 mm, utilizando a fração passante, com o objetivo de reduzir a absorção das misturas e permitir uma boa plasticidade às amostras. A Figura 3 traz o aspecto do RCD após o peneiramento.

Figura 3 – RCD após peneiramento na peneira de 0,15 mm



Fonte: Os autores.

3.1.2 Cimento

O cimento empregado foi o CP II Z 32, pois possui caracterização satisfatória para ser empregado na produção de solo-cimento e é um material facilmente encontrado nas lojas do ramo de materiais para a construção civil. A caracterização do material fornecida pelo fabricante consta na Tabela 6.

Tabela 6 - Características físicas do cimento utilizado

Caracterização Físicas	Limites Máximo	Resultados
Finura — Resíduo peneira #200 (%)	≤ 12,0	6,6
Finura — Resíduo peneira #325 (%)	NE	18,8
Área específica - Blaine (cm ² /g)	≥ 2600	3.604,00
Consistência normal (%)	NE	24,6
Início de pega (min)	≥ 60,0	179,00
Término de pega (min)	≤ 600	226,00
Massa específica (g/cm ³)	NE	2,96
Expansibilidade a quente (mm)	≤ 5,0	0,5
Resistência à compressão 1D (MPa)	NE	-
Resistência à compressão 3D (MPa)	≥ 10,0	23,00
Resistência à compressão 7D (MPa)	≥ 20,0	28,1
Resistência à compressão 28D (MPa)	≥ 30,0	35,5

Fonte: Dados do Boletim de Ensaios de Cimento, Votorantim (2025)

3.1.3 Solo

O solo utilizado, conforme a Figura 4, foi resultante de uma coleta feita no próprio campus do IFBA. O material foi destorroado e depois peneirado.

Figura 4 - Solo utilizado na confecção dos tijolos



Fonte: Os autores.

3.1.4 Água

A água foi proveniente da rede de abastecimento do IFBA – Campus Salvador.

3.2 Métodos

Na dosagem das misturas foram adotados três traços diferentes: referência (0% de RCD), 5% de RCD e 10% de RCD. Após a moldagem, as amostras foram submetidas a um processo de cura que durou 28 dias. Os corpos de prova foram moldados em formato cilíndrico e submetidos a ensaios laboratoriais para a avaliação das propriedades de resistência à compressão e absorção. Os ensaios deste trabalho foram realizados no laboratório de Mecânica dos Solos do IFBA, exceto a resistência à compressão, que foi realizada por uma empresa de construção civil da cidade de Salvador.

3.3 Caracterização do solo

3.3.1 Ensaio de plasticidade

O teste de plasticidade é fundamental para avaliar a capacidade do solo em ser moldado sem que se quebre ou perca a forma. Essa propriedade é crucial para a confecção das misturas de solo-cimento. O ensaio foi realizado seguindo os critérios da NBR 7180 (ABNT, 2016). A Figura 5 e a Figura 6 trazem a realização desse ensaio para o solo utilizado neste estudo.

Figura 5 - Ensaio de plasticidade.



Fonte: Os autores.

Figura 6 - Amostras do ensaio de plasticidade antes de irem para a estufa



Fonte: Os autores.

3.3.2 Ensaio do limite de liquidez

O objetivo do ensaio de limite de liquidez é determinar o teor de umidade no qual o solo passa da condição plástica para a líquida, caracterizando assim uma propriedade fundamental de sua consistência. Para isso, empregou-se os procedimentos descritos pela NBR 6459 (ABNT, 2016). A Figura 7 mostra a realização desse ensaio para o solo empregado neste trabalho.

Figura 7 - Ensaio do limite de liquidez



Fonte: Os autores.

3.3.3 Ensaio de granulometria

O teste de granulometria e sedimentação são necessários para determinar a distribuição dos diferentes tamanhos de partículas no solo, influenciando diretamente suas propriedades mecânicas e na composição das misturas de solo-cimento e RCD. Esses ensaios permitem avaliar a proporção de grãos finos, médios e grossos, auxiliando na adequação do material para a fabricação de tijolos ecológicos. O ensaio foi realizado seguindo os critérios da NBR 7181 (ABNT, 2018). A Figura 8 ilustra o ensaio de sedimentação, enquanto a Figura 9 ilustra o conjunto de peneiras utilizado no ensaio de granulometria.

Figura 8 - Ensaio de sedimentação



Fonte: Os autores.

Figura 9 - Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria



Fonte: Os autores.

3.4 Confeção das misturas de solo-cimento

3.4.1 Traço utilizado

O processo de definição do traço foi fundamentado a partir de uma revisão bibliográfica que analisou trabalhos relacionados ao uso de RCD como material de substituição parcial de solo em tijolos. Baseando-se nos resultados apresentados na literatura, optou-se por trabalhar com um traço de 1:10, ou seja, uma parte de cimento para dez partes em massa, com variações de 5% e 10% de substituição de material convencional, solo, pelo RCD.

A Tabela 7 indica os traços utilizados neste trabalho. Já as figuras 10, 11 e 12 mostram as misturas de cada traço antes da adição de água.

Tabela 7 - Traços usados na composição das misturas

Mistura	Traço unitário, em massa (cimento: areia)
Referência	01:10
CP-5%	1:10, com 5% de RCD
CP-10%	1:10, com 10% de RCD

Fonte: Os autores.

Figura 10 - Mistura de solo-cimento sem adição de RCD



Fonte: Os autores.

Figura 11 - Mistura de solo-cimento com adição de 5% de RCD



Fonte: Os autores

Figura 12 - Mistura de solo-cimento com adição de 10% de RCD



Fonte: Os autores

As misturas foram fabricadas seguindo um processo bem definido. Primeiramente, os materiais foram pesados de acordo com o traço especificado e colocados em uma bandeja para a mistura inicial. Essa etapa teve como objetivo alcançar uma composição homogênea.

Após isso, foi adicionada água à mistura e ocorreu o processo de homogeneização, garantindo que todos os componentes estivessem uniformemente distribuídos.

As amostras compactadas foram retiradas do corpo de prova utilizando um extrator de amostras, o que permitiu preservar a integridade estrutural de cada unidade.

Por fim, os corpos de prova foram armazenados em um tanque no laboratório, onde permaneceram durante 28 dias para o processo de cura (Figura 13), sendo os primeiros 7 dias mantidos úmidos. Esse período de cura foi fundamental para que as misturas desenvolvessem a resistência e as propriedades finais desejadas.

Figura 13 - Amostras em descanso durante o período de cura



Fonte: Os autores.

3.4.2 Ensaio de Absorção

A determinação da absorção de água é um fator essencial na avaliação da qualidade dos tijolos ecológicos, pois influencia diretamente sua resistência e durabilidade ao longo do tempo. Esse ensaio permite verificar a quantidade de água absorvida, garantindo que os tijolos atendam aos requisitos estabelecidos para uso na construção civil. O ensaio foi realizado seguindo as diretrizes da NBR 8492 (ABNT, 2012). A Figura 14 mostra as amostras em estufa onde passaram 24 horas para secagem, enquanto a Figura 15 mostra as amostras durante o processo de imersão, evidenciando o procedimento adotado para a análise deste estudo.

Figura 14 - Amostras em estufa para secagem



Fonte: Os autores.

Figura 15 - Amostras submersas em água para o ensaio de absorção



Fonte: Os autores.

3.4.3 Ensaio de Compressão Simples

A resistência à compressão é um parâmetro fundamental na avaliação da qualidade dos tijolos ecológicos, pois determina sua capacidade de suportar cargas sem falhar. Esse ensaio teve como objetivo verificar se os tijolos atendem aos requisitos estabelecidos para uso na construção civil, garantindo sua segurança e durabilidade. O ensaio foi realizado conforme as diretrizes da NBR 8492 (ABNT, 2012), após um período de 28 dias de cura. Antes da realização do teste, foi feito um capeamento com nata de cimento, no traço 1:3, utilizando uma parte de água para

três de cimento, com o objetivo de regularizar a superfície dos tijolos e garantir a distribuição uniforme da carga durante o ensaio de compressão na prensa hidráulica. As Figuras 16 e 17 apresentam o processo desse ensaio.

Figura 16 - Amostras após aplicação da nata cimentícia para regularização das superfícies superiores e inferiores



Fonte: Os autores.

Figura 17 - Amostra na prensa hidráulica utilizada para o ensaio de compressão



Fonte: Os autores

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados das propriedades avaliadas durante a realização do programa experimental, bem como, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

4.1 Caracterização dos materiais

4.1.1 Limite de plasticidade e Limite de liquidez

O solo utilizado foi avaliado quanto ao índice de plasticidade, os resultados estão indicados na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados do ensaio do limite de plasticidade para os solos utilizados neste trabalho

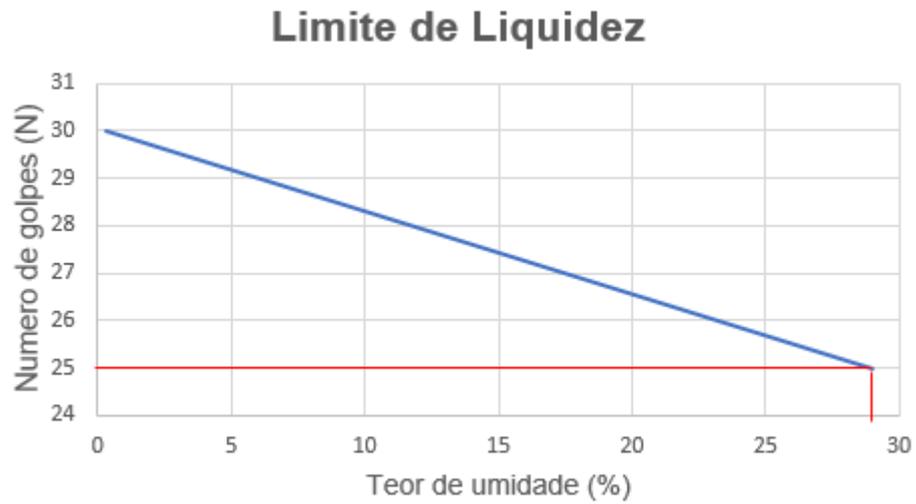
Mistura	Composição do solo	Limite de Plasticidade (%)
Referência	Solo natural	16,00
CP-5%	Solo + 5 % de RCD	15,20
CP-10%	Solo + 10 % de RCD	15,10

Fonte: Os autores.

Os dados indicados na Tabela 8 mostram que a matéria-prima utilizada perde plasticidade conforme se adiciona RCD na composição. No entanto, essa diminuição da plasticidade não inviabiliza o uso do material reciclado.

Para o limite de liquidez (LL) foi montado o gráfico, conforme a Figura 18.

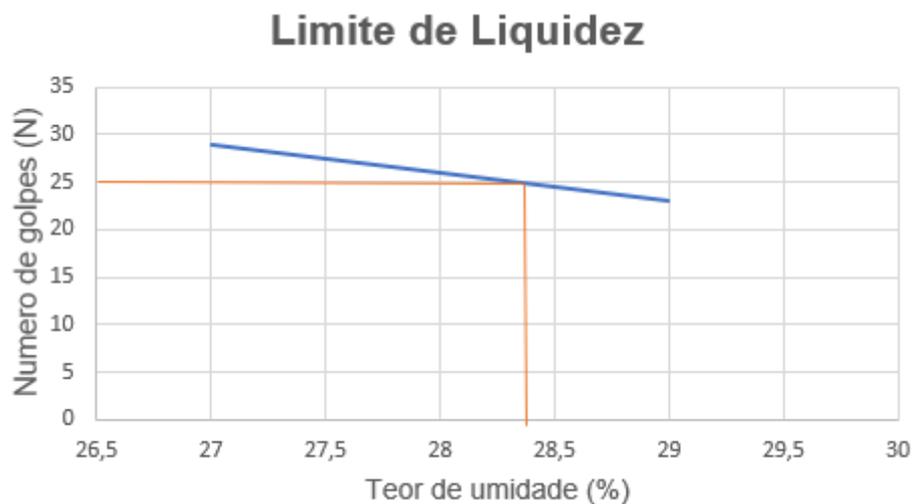
Figura 18 - Resultado no ensaio do limite de liquidez para o solo de referência



Fonte: Autores.

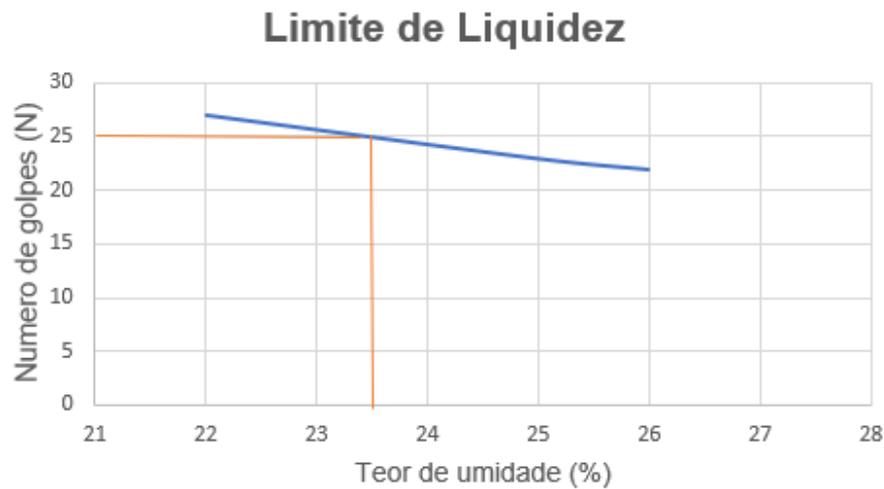
Conforme o gráfico da Figura 18, o LL para o solo de referência foi de 29%. Nas Figuras 19 e 20 temos os LL para os solos com adição do RCD nas proporções de 5% e 10%, respectivamente.

Figura 19 – Resultado no ensaio do limite de liquidez para o solo com 5% de RCD



Fonte: Autores.

Figura 20 – Resultado no ensaio do limite de liquidez para o solo com 10% de RCD



Fonte: Autores.

Conforme os gráficos das Figuras 19 e 20, os LL para o solo com adição de 5% de RCD e 10% de RCD foram de 28,4% e 23,5%, respectivamente.

Os dados da Tabela 9 trazem os resultados dos índices de consistência para os solos analisados.

Tabela 9 - Resultados dos índices de consistência dos solos analisados

Mistura	Composição do solo	Limite de Plasticidade (%)	Limite de liquidez (%)	Índice de plasticidade
Referência	Solo natural	16,00	29	13
CP-5%	Solo + 5 % de RCD	15,20	28,4	13,2
CP-10%	Solo + 10 % de RCD	15,10	23,5	8,4

Fonte: Os autores.

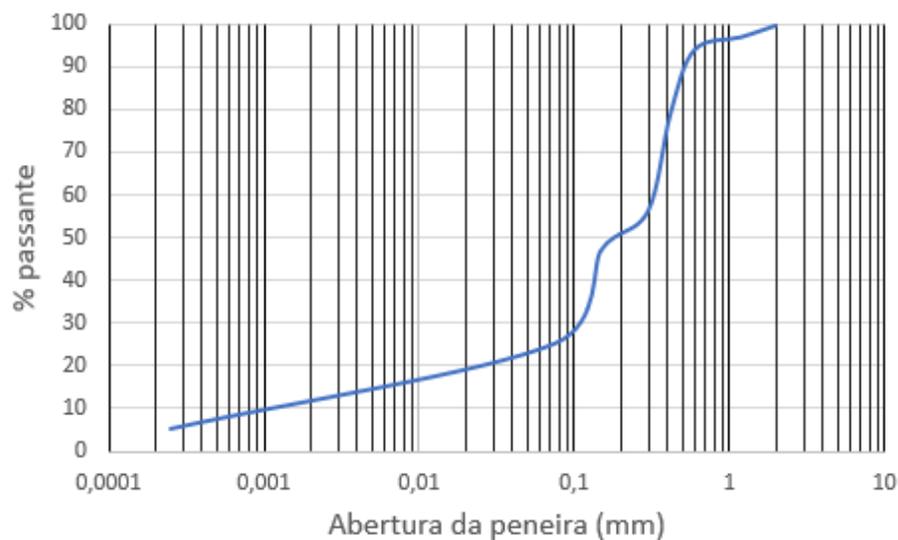
De acordo com a NBR 10833 (ABNT, 2012), o limite de liquidez não pode ultrapassar o valor de 45%, e o índice de plasticidade não pode superar 18%, portanto, os valores obtidos para os solos analisados atendem aos critérios estabelecidos pela NBR 10833 (ABNT, 2012), indicando que o material se apresenta propício para a produção de tijolos ecológicos de solo-cimento.

4.1.2 Granulometria dos solos

A análise granulométrica é essencial para compreender a distribuição das partículas do material analisado, influenciando diretamente nas propriedades mecânicas e absorção do tijolo produzido.

Aqui foram realizados ensaios para se determinar a composição granulométrica do solo no estado natural e das misturas com os resíduos estudados. A Figura 21 apresenta a distribuição granulométrica do solo no estado natural. A amostra indica partículas que estão inseridas na faixa de areia, argila e silte. É importante salientar que a presença dos grãos menores, argilas (grãos menores que 0,002 mm) e siltes (grãos menores que 0,06 mm) só foram verificados por meio do ensaio de sedimentação.

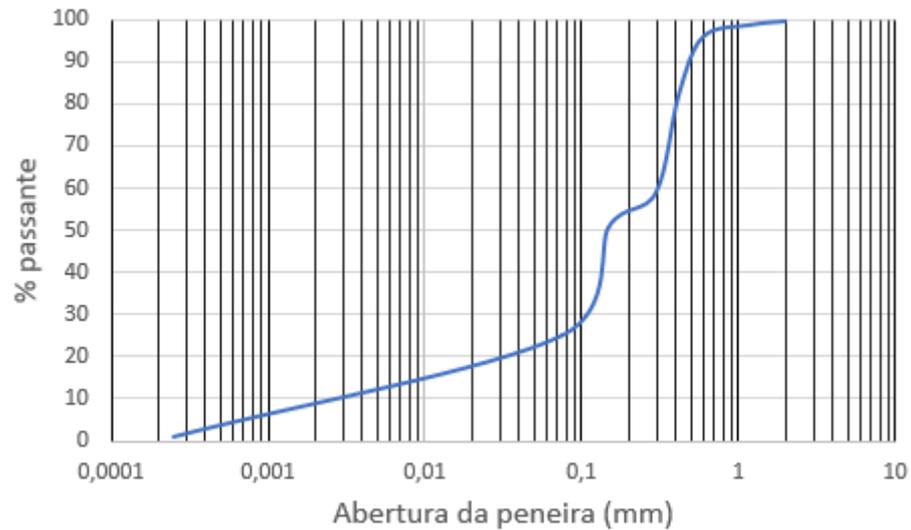
Figura 21 - Resultado do ensaio de granulometria para a amostra de solo natural



Fonte: Os autores.

Conforme a curva de distribuição granulométrica, o material possui 76% de areia, 12% de silte e 12% de argila, atendendo ao que preconiza a NBR 10833 (ABNT, 2012) que determina que o solo deve conter uma porcentagem de 60 % a 80 % de areia para ser utilizado na produção de tijolos de solo-cimento.

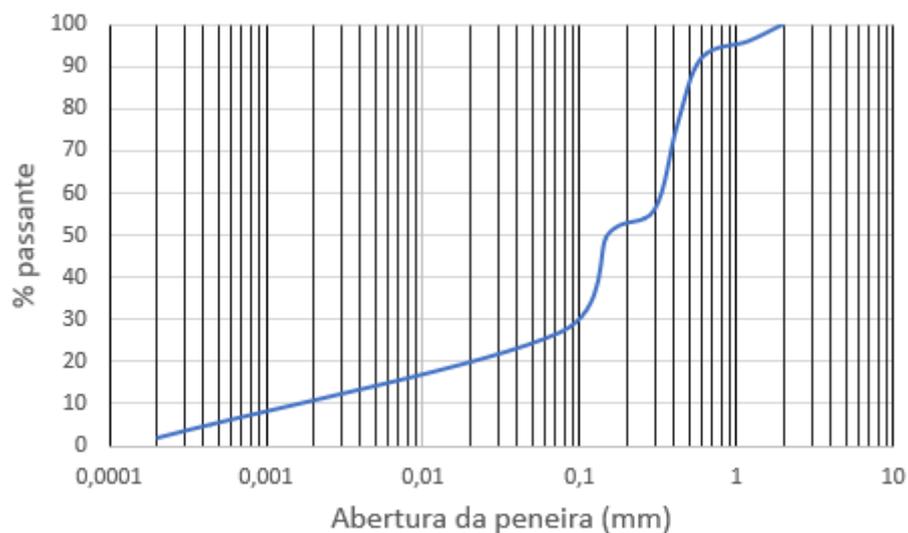
Figura 22 – Resultado do ensaio de granulometria para a amostra de solo+5% de RCD



Fonte: Os autores.

A amostra com inserção de 5% de RCD na composição apresentou uma maior presença de grãos menores que 0,002 mm. Esse resultado é decorrente do maior teor de material pulverulento na composição do RCD beneficiado, confirmando o que Souza, Segantini e Santos (2024) e Faria et al. (2022) verificaram em suas pesquisas. Resultado parecido pode ser observado para a mistura com 10% de RCD, porém a presença de finos na mistura foi maior.

Figura 23 – Resultado do ensaio de granulometria para a amostra de solo+10% de RCD



Fonte: Os autores.

As curvas granulométricas das misturas apresentaram aspectos semelhantes, o que já era esperado, considerando que os percentuais de RCD utilizados foram relativamente baixos. Dessa forma, as adições promoveram poucas alterações na distribuição granulométrica do material. No entanto, observou-se um aumento no teor de material pulverulento, ou seja, na fração de grãos menores que 0,002 mm. Esse resultado indica que o RCD beneficiado contribuiu para um maior conteúdo de finos na mistura, o que pode impactar propriedades como trabalhabilidade, absorção de água e resistência mecânica dos tijolos produzidos.

A presença de material pulverulento influencia diretamente a distribuição granulométrica, podendo impactar as propriedades físicas e mecânicas das misturas. No contexto da produção de tijolos ecológicos, a adequação dessa distribuição é essencial para garantir um bom desempenho em termos de compactação e redução da porosidade.

4.2 Ensaio de absorção por imersão

Os resultados médios dos valores de absorção das misturas estão mostrados na Tabela 10. Os valores de cada amostra foram apresentados no Apêndice A.

Tabela 10 – Resultado do ensaio de absorção dos tijolos

Mistura	Composição do solo	Absorção \pm SD (CV) % \pm % (%)
Referência	Solo natural	18,36 \pm 0,3 (1,6)
CP-5%	Solo + 5 % de RCD	15,77 \pm 0,2 (1,3)
CP-10%	Solo + 10 % de RCD	15,51 \pm 0,5 (3,2)

Nota: SD – desvio padrão; CV – coeficiente de variação.

Fonte: Os autores.

Os resultados obtidos no ensaio de absorção demonstram uma variação entre as diferentes amostras avaliadas. Os corpos de prova de referência apresentaram os maiores valores de absorção. Em contrapartida, as misturas CP-10% obtiveram os menores valores de absorção. Esses resultados são compatíveis com os observados na literatura, Ferraz; Segantini (2004), por exemplo, também utilizaram resíduo de argamassa para a produção de tijolos ecológicos e notaram uma redução da absorção. Os autores justificaram esse comportamento por meio do maior preenchimento de vazios que os RCD promovem na mistura.

Considerando os resultados do ensaio de absorção por imersão, foi verificado que as misturas com adição de RCD apresentaram melhor desempenho quando comparadas a de referência, com redução de absorção de 14,11% e 15,52%, para as amostras CP-5% e CP-10%, respectivamente.

4.3 Ensaio de resistência à compressão

Os resultados médios dos valores de compressão das misturas estão mostrados na Tabela 11. Os valores individuais de cada amostra estão apresentados no Apêndice A.

Tabela 11 – Resultado do ensaio de compressão dos tijolos

Mistura	Composição do solo	Fc28 ± SD (CV) MPa ± MPa (%)
Referência	Solo natural	2,00 ± 0,1 (5,6)
CP-5%	Solo + 5 % de RCD	2,25 ± 0,1 (3,9)
CP-10%	Solo + 10 % de RCD	2,60 ± 0,1 (4,1)

Nota: SD – desvio padrão; CV – coeficiente de variação, fc28 – resistência à compressão aos 28 dias de idade.

Fonte: Os autores.

A mistura CP-10% apresentou maior resistência, com 2,60 MPa. De forma geral, as médias para os ensaios de resistência à compressão indicam aumento da resistência conforme se adiciona RCD nos traços.

Os resultados indicam que a incorporação de RCD influencia níveis de resistência mecânica do material, possivelmente devido a alterações na estrutura interna, que aumenta a coesão entre as partículas.

Resultados compatíveis foram verificados por Souza et al. (2006) e Souza, Marcia Ikarugi Bomfim de (2006). Os autores indicam que esse comportamento é resultante de uma menor absorção, conseqüentemente, porosidade dos tijolos e, também, pela menor quantidade de vazios presentes na mistura, dado o efeito de preenchimento promovido pelos RCD.

Considerando os resultados do ensaio de resistência à compressão, foi verificado que as misturas com adição de RCD apresentaram melhor desempenho quando comparadas a de referência, com aumento de resistência de 11,11% e 23,08%, para as amostras CP-5% e CP-10%, respectivamente.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa teve como objetivo analisar a influência da substituição parcial do solo por RCD na confecção de tijolos ecológicos, considerando seus impactos na resistência à compressão e na absorção de água. Com base nos experimentos realizados, foi possível constatar que a adição de RCD nas misturas alterou significativamente as propriedades dos tijolos produzidos, promovendo melhorias relevantes nos parâmetros analisados.

Os resultados demonstraram que a incorporação de 5% e 10% de RCD na mistura de solo-cimento levou a uma redução na absorção de água em comparação a amostra de referência. Esse fenômeno pode ser atribuído à presença de material pulverulento no RCD, que preencheu parte dos vazios na estrutura dos tijolos, reduzindo sua porosidade. Tal comportamento é coerente com estudos prévios que indicam que a substituição de agregados naturais por RCD pode resultar em um menor coeficiente de absorção, contribuindo para a melhoria da durabilidade dos tijolos.

Em relação à resistência à compressão, observou-se um aumento progressivo nos valores obtidos conforme a porcentagem de RCD foi ampliada. O traço CP-10% apresentou os melhores resultados, atingindo resistências superiores ao mínimo estabelecido pela norma NBR 8491 (ABNT, 2012). Esse resultado sugere que a adição de RCD na proporção adequada pode conferir maior coesão à mistura, possivelmente devido à interação entre as partículas finas do resíduo e a matriz cimentícia.

No entanto, é fundamental destacar que a utilização de RCD na fabricação de tijolos requer um controle rigoroso da composição e do beneficiamento desse material, uma vez que a presença excessiva de contaminantes pode comprometer a qualidade final do produto. Além disso, a escolha adequada do tipo de resíduo a ser empregado é essencial para garantir a reprodutibilidade dos resultados e a viabilidade da aplicação em larga escala.

Diante do exposto, conclui-se que a incorporação de RCD em tijolos ecológicos é uma alternativa promissora para a gestão de resíduos da construção civil, proporcionando uma destinação mais sustentável para esses materiais e reduzindo a extração de recursos naturais. Os resultados obtidos reforçam a importância de estudos adicionais que avaliem o desempenho desses tijolos em

condições reais de uso, além da investigação de outras proporções de substituição e diferentes tipos de resíduos. Assim, este trabalho contribui para o avanço das pesquisas na área de construção sustentável, abrindo caminhos para novas soluções inovadoras e ecologicamente responsáveis.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica, Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10833**: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento, Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8491**: Tijolo de solo-cimento - Requisitos, Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8492**: Tijolo de solo-cimento - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7211**: Agregados para concreto - Requisitos, Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16972**: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios, Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6459**: Solo - Determinação do limite de liquidez, Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7180**: Solo - Determinação do limite de plasticidade, Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6458**: Solos - Determinação da massa específica dos sólidos, da massa específica aparente e da absorção de água da fração retida na peneira com abertura de 2,0 mm, Rio de Janeiro, 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7211**: Agregados para concreto - Requisitos, Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE (ABREMA). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2024.

BAZUCO, R. S. **Utilização de agregados reciclados de concreto para a produção de novos concretos**. 1999. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

LIMA, S. A.; ALMEIDA, M. C.; FREITAS, I. C.; SILVA, J. P. (2015). **Análise da viabilidade do uso do rcd na produção de blocos de solo-cimento**. In: CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS E REVESTIMENTOS (CONPAT), 2015, Lisboa.

CHO, Y. H.; YEO, S. H. (2004) Application of recycled waste aggregate to lean concrete subbase in highway pavement. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 31, n. 6, p. 1101–1108.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 307/2002: **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Legislação. Brasília, DF, Seção 1, p. 95, 2002.

COPARI, V. P.; OLIVEIRA M. B. **Confecção de tijolos ecológicos como alternativa para reutilização de resíduos gerados por centrais dosadoras de concreto**. Revista Interdisciplinar Pensamento Científico, v. 1, 20 jun. 2016.

FARIA, C. E. G.; LOPES, D. A.; AGUIAR, E. A.; MARIANO, W. R. **O estudo e aplicação de RCD como agregados em tijolos de solo cimento**, São Paulo, 2022.

FERRAZ, A. L. N., & Segantini, A. A. S da. (2004). **Estudo Da Aplicação De Resíduo De Argamassa De Cimento Nas Propriedades De Tijolos De Solo-Cimento**. Holos Environment, 2004.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GONÇALVES, P. H. **Planejamento e gerenciamento do resíduo sólido de construção e demolição – estudo de casos goianos**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

HANSEN, T. C. *Recycled of demolished concrete and masonry*. London: Chapman & Hall, 1992. 316 p. **Part One: Recycled aggregates and recycled aggregate concrete**, p.1-160.

IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto. **59º Congresso Brasileiro do Concreto**. São Paulo: IBRACON, 2017

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. Tese (Livre Docência em Engenharia de Construção Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. doi:10.11606/T.3.2000.tde-27072022-082553. Acesso em: 04 fev 2025.

LARUCCIA, M. M. **Sustentabilidade e impactos ambientais da construção civil**. Guarulhos-SP: 2014.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 290 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LIMA, S. F. de. **Introdução ao conceito de sustentabilidade: aplicabilidade e**

limites. 2006.

LIRA, D. S. **Tijolos ecológicos: estudo de viabilidade técnica no uso de agregados reciclados de resíduos da construção civil classe A.** São Carlos-SP, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/13300>> Acesso em: 17 de Jul. de 2024

MONTEIRO, R. R.; AMARAL, D. S. P.; DELGADO, S. F. **Utilização de resíduos provenientes da construção e demolição de reforma residencial como agregado miúdo para fabricação de concreto.** Revista Teccen. Rio de Janeiro, 2017.

NOGUEIRA, G. R. F. **A extração de areia em cursos d'água e seus impactos: proposição de uma matriz de interação.** Juiz de Fora, 2016. Disponível em: <https://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC_Vers%C3%A3oFinal.pdf> Acesso em: 15 ago. 2024.

NOGUEIRA, L. G. S. **Utilização de RCD de confecção de um concreto sustentável.** Brasília, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/235/6363/1/20916233.pdf>> Acesso em: 15 ago. 2024.

PEREIRA, A. M. **Utilização de resíduos de construção e demolição na produção de tijolo ecológico.** Caratinga, 2018. Disponível em: <<https://dspace.doctum.edu.br/handle/123456789/187>> Acesso em: 16 ago. 2024.

PEREIRA, R. **Por que a Indústria Sustentável é importante para o futuro? NG - A inovação está em nosso DNA.** 2023. Disponível em: <<https://www.ngi.com.br/blog/industria-sustentavel/>> Acesso em: 15 ago. 2024.

RICCI, G.; BALBO, J. T. **Resistência e elasticidade de concretos compactados com agregados reciclados de construção e de demolição para aplicações em pavimentação.** TRANSPORTES, [S. l.], v. 17, n. 2, 2009.

SEGANTINI, A. A. S.; WADA, P. H. **Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição**. Ilha Solteira: Universidade Estadual Paulista, 2011. Disponível em: <<https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/9377/9377>> Acesso em: 20 abr. 2024.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS (SINIR). **Inventário Nacional de Resíduos Sólidos**, 2024.

SOUZA, M. I. B. **Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento**. 2006. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2006.

SOUZA, M. I. B.; SEGANTINI, A. A. S.; SANTOS, J.; SILVA, J. P. N. **Tijolos prensados de solo-cimento com adição de resíduos de concreto**. 2006. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000200045 & script=sci_arttext>. Acesso em: 19 abr. 2024.

VIANA, I. F. M.; GONÇALVES, L. F. **Resistência à compressão de tijolos ecológicos à partir de resíduos de construção e demolição**. Caratinga-MG, 2017.

APÊNDICE A

Tabela 12 – Resultados individuais do ensaio de absorção

Mistura	Absorção (%)		
	Determinação	Determinação	Determinação
	1	2	3
Referência	18,63	18,10	-
CP-5%	15,95	15,60	-
CP-10%	15,31	15,10	16,14

Fonte: Os autores.

Tabela 13 – Resultados individuais do ensaio de resistência à compressão

Mistura	F _c 28 (MPa)		
	Determinação	Determinação	Determinação
	1	2	3
Referência	1,90	1,97	2,12
CP-5%	2,32	2,15	2,28
CP-10%	2,51	2,66	-

Fonte: Os autores.