



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Giovana Oliveira Frazão

ANÁLISE TÉCNICA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND POR
RESÍDUO DE VIDRO MOÍDO.

Palmas – TO

2019

Giovana Oliveira Frazão

ANÁLISE TÉCNICA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND POR
RESÍDUO DE VIDRO MOÍDO.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Dra Michele Ribeiro Ramos.

Palmas – TO

2019

Giovana Oliveira Frazão

ANÁLISE TÉCNICA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND POR
RESÍDUO DE VIDRO MOÍDO.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e
apresentado como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Ci pelo Centro
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientadora: Prof. Dra Michele Ribeiro Ramos.

Aprovado em: 12/11/2019

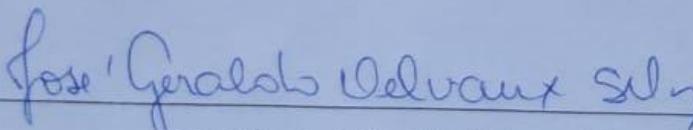
BANCA EXAMINADORA



Orientadora: Prof. Dra Michele Ribeiro Ramos.
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Me. Murilo de Pádua Marcolini
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Dr. José Geraldo Delvaux Silva.

Examinador externo

Palmas – TO

2019

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter mantido o sonho e a esperança vivos no meu coração, por ter me guiado a cada passo desta caminhada, me presenteando com força e determinação, mesmo eu não sendo merecedora de toda a Sua graça.

Aos meus pais, Geovane e Edinalva, por todo o amor e incentivo desde os primeiros anos na escola. Vocês foram meus primeiros professores e minha primeira referência. Sou grata por todo o esforço que fizeram para que eu chegasse ao final dessa etapa, por abrirem mão dos seus sonhos em prol do meu e que mesmo na dificuldade, sempre estiveram ao meu lado, lutando comigo. Vocês são o maior amor que mora no meu coração.

Aos meus irmãos, André e Angélica, que sempre estiveram presentes e vibrando comigo a cada conquista e dando um ombro amigo quando precisei. Vocês são a alegria da minha vida.

Agradeço também a toda a minha família, avós, tios e primos, que mesmo na distância, mandaram o seu apoio e confiaram em mim. A admiração de vocês foi motivação para que eu nunca desistisse.

Aos meus amigos que fizeram essa conclusão possível através de união e parceria. Todos ingressamos na faculdade com o mesmo sonho e cada um fez parte da formação do outro. Em especial, agradeço ao Vitor Hugo Marquez, pelas palavras motivacionais que me encorajaram em tantos momentos que eu quis desistir.

Ao meu melhor amigo e namorado Leandro Amaral, que conheci no primeiro dia de aula e até hoje está ao meu lado, com todo amor, apoio, ajuda e incentivo. Você foi a melhor coisa que me aconteceu nesses 5 anos de faculdade. Além de agradecer, quero te parabenizar pela sua conquista. Enfrentamos todas as etapas juntos e essa vitória é nossa.

Agradeço a todos os professores do CEULP/Ulbra por todo o conhecimento fornecido e acima de tudo por serem exemplo e espelho na minha vida profissional. A participação de vocês é fundamental no nosso crescimento acadêmico. Em especial agradeço a minha orientadora, Michele Ribeiro Ramos, por todo o apoio e orientações prestadas e acima de tudo por aceitar o convite para fazer parte desse projeto.

RESUMO

FRAZÃO, Giovana Oliveira. **Análise técnica da substituição parcial do Cimento Portland por resíduo de vidro moído.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA, 2019.

Neste estudo foi analisado a viabilidade técnica da substituição parcial do cimento Portland por resíduo de vidro moído a fim de mitigar os resíduos depositados no meio ambiente, destinando-os ao concreto. Para a realização da pesquisa, foram utilizadas garrafas de vidro âmbar de 600ml que submetidos a moagem, atingiram granulometria passante na peneira 75 μ m. Esses frascos são estimados atualmente um dos mais problemáticos resíduos urbanos gerados principalmente em estabelecimento de bebidas, pois apresentam grande quantidade de descarte e ocupam espaço no seu destino final que muitas vezes não é apropriado. A dosagem foi realizada pelo método ABCP/ACI, onde se obteve primeiramente o traço referência, sem vidro na sua composição, enquanto os demais traços apresentaram porcentagens de 5%, 10% e 20% de substituição do cimento por pó de vidro. Foram realizados ensaios no concreto no estado fresco, de consistência do concreto determinado pelo método de abatimento do tronco de cone (Slump Test), no estado endurecido ensaio de resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral e de absorção de água. Para a análise estatística dos dados, foram utilizados os resultados obtidos nos testes do concreto no estado endurecido, adotado nível de confiabilidade de 5% para análise pelo teste de Tukey. O ensaio de resistência a compressão axial, apresentou resultados satisfatórios para o traço referência e com substituição de 5%, enquanto para o ensaio de tração por compressão diametral, os traços de 10% e 20% apresentaram resultados dentro do parâmetro recomendado e o traço referência e 5% ficaram fora do parâmetro. O ensaio de absorção de água apresentou resultados satisfatórios, sendo o traço referência e 5% menos porosos e por consequência, mais resistentes. O traço que obteve melhor desempenho no estudo e que seria recomendado para utilização é o com substituição de 5% do cimento por pó de vidro.

Palavras-chave: Pó de vidro. Reciclagem. Dosagem. Resistência à compressão. Tração por compressão diametral. Concreto.

ABSTRACT

FRAZÃO, Giovana Oliveira. **Technical analysis of the partial replacement of Portland cement by ground glass residue.** Course Completion Work (Civil Engineering) - Lutheran University Center of Palmas - CEULP / ULBRA, 2019.

In this study we analyzed the technical feasibility of partially replacing Portland cement with ground glass waste to mitigate the residues deposited in the environment, destining them to concrete. To carry out the research, 600ml amber glass bottles were used and subjected to grinding, they passed through the 75 μ m sieve. These vials are currently estimated to be one of the most problematic urban waste generated mainly in beverage establishment, as they have a large amount of disposal and occupy space in their final destination that is often not appropriate. The dosing was performed by the ABCP / ACI method, where the reference trait was first obtained, without glass in its composition, while the other traces presented 5%, 10% and 20% substitution of cement by glass powder. Tests were carried out in the fresh state, concrete consistency determined by the slump test method, in the hardened axial compressive strength, diametral tensile strength and water absorption test. For the statistical analysis of the data, the results obtained in the hardened concrete tests were used, adopting a 5% reliability level for analysis by Tukey test. The axial compressive strength test presented satisfactory results for the reference and 5% substitution traits, while for the diametric compression tensile test, the 10% and 20% traces presented results within the recommended parameter and the reference trace. and 5% were out of parameter. The water absorption test presented satisfactory results, being the reference trait and 5% less porous and consequently more resistant. The trait that obtained the best performance in the study and which would be recommended for use is the substitution of 5% of cement by glass powder.

Key-words: Glass powder. Recycling. Dosage. Compressive strength. Traction by diametrical compression. Concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Lavagem das garrafas em tambor de água	29
Figura 2 – Moinho de bola	30
Figura 3 – Material retido na Peneira 75 μ m.....	30
Figura 4 - Fator água/cimento	35
Figura 5 – Moldagem dos corpos de prova	37
Figura 6 – Fluxograma de quantidade de corpos de prova.....	38
Figura 7 – Curva granulométrica agregado miúdo	41
Figura 8 – Curva Granulométrica agregado graúdo	44
Figura 9 – Ensaio de Abatimento de tronco de cone	47
Figura 10 – Ensaio de compressão axial	48
Figura 11 - Resistência Média a Compressão	49
Figura 12 – Ensaio de tração por compressão diametral	51
Figura 13 – Gráfico de tração por compressão diametral.....	52
Figura 14 – Corpos de prova na estufa	54
Figura 15 – Gráfico de análise da determinação de absorção de água	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Massa unitária agregado miúdo.....	40
Quadro 2 – Composição granulométrica agregado miúdo	41
Quadro 3 – Massa unitária agregado graúdo	43
Quadro 4 - Composição granulométrica agregado graúdo	43
Quadro 5 – Resumo de resultados de ensaios de caracterização dos materiais.....	45
Quadro 6 - Quadro Geral de Resistência Média a Compressão (MPa).....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Correspondência entre classe de agressividade e a qualidade do concreto	33
Tabela 2 - Valor do desvio padrão em relação ao rigor da dosagem.....	33
Tabela 3 - Abatimento do tronco de cone	34
Tabela 4 – Consumo de água e ar.....	34
Tabela 5 – Consumo de agregado graúdo	35
Tabela 6 – Resultado de tempo de pega do cimento	39
Tabela 7 - Massa específica agregado miúdo	40
Tabela 8 - Classificação da areia quanto ao módulo de finura.....	42
Tabela 9 – Massa específica agregado graúdo	42
Tabela 10 – Massa específica agregado vítreo	44
Tabela 11 – Dados da dosagem do concreto	45
Tabela 12 – Resultados da dosagem do concreto	46
Tabela 13 – Traço em massa	46
Tabela 14 - Traço em volume.....	46
Tabela 15 - Quantidade de material por traço	46
Tabela 16 – Ensaio de Abatimento de tronco de cone	47
Tabela 17 - Análise de variância do ensaio de compressão axial para diferentes doses do pó de vidro no cimento.....	50
Tabela 18 – Resultados tração por compressão diametral.....	52
Tabela 19 - Análise de variância do ensaio de tração aos 28 dias para diferentes doses do pó de vidro no cimento.....	53
Tabela 20 – Determinação da absorção de água.....	54
Tabela 21 - Análise de variância do ensaio de absorção de água para diferentes doses de substituição do cimento Portland pelo agregado vítreo.....	56

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ACI	American Concrete Institute
Abividro	Associação Brasileira das Indústrias de Vidro
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACREPOM	Associação dos Catadores de Papel, Papelão e Materiais Recicláveis
ASTM	American Society for Testing and Materials
CAA	Classe de Agressividade Ambiental
CEFET	Centro Federal de Educação Tecnológica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CRQ	Conselho Regional de Química
EPI	Equipamento de proteção individual
Fck	Resistência a compressão característica
Fcj	Resistência a compressão do concreto
IBRACON	Instituto Brasileiro de Concreto
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DMC	Diâmetro Máximo Característico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
SNIC	Sindicato Nacional da Indústria do Cimento
MPa	Megapascal
NBR	Norma Brasileira
CP I	Cimento Portland Comum
CP II	Cimento Portland Composto
CP III	Cimento Portland de Alto-Forno
CP IV	Cimento Portland Pozolânico
CP V – ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
RS	Cimento Portland Resistente a Sulfatos
BC	Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação
CPB	Cimento Portland Branco
RAA	Reação Álcali-Agregado
RAS	Reação álcali-sílica
RASS	Reação álcali-silicato

RAC	Reação álcali-carbonato
Sd	Desvio padrão
μm	Micrômetro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS.....	13
1.1.1 <i>Objetivos Gerais</i>	13
1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i>	13
1.2 JUSTIFICATIVA	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS.....	15
2.1.1 <i>Definição e caracterização</i>	15
2.1.2 <i>Plano Nacional de Resíduos Sólidos</i>	15
2.1.3 <i>Resíduos na Construção Civil</i>	16
2.2 VIDRO	17
2.2.1 <i>Definição e composição</i>	17
2.2.2 <i>Vidro sodo cálcico</i>	18
2.2.3 <i>Estrutura do vidro</i>	18
2.2.4 <i>Resistência mecânica</i>	19
2.3 RECICLAGEM DO VIDRO.....	20
2.4 RESÍDUO DE PÓ DE VIDRO NO CONCRETO	21
2.5 CONCRETO.....	21
2.5.1 <i>Cimento Portland</i>	22
2.5.2 <i>Agregado miúdo</i>	23
2.5.3 <i>Agregado graúdo</i>	24
2.6 REATIVIDADE POZOLÂNICA	26
2.7 REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO	27
3 METODOLOGIA.....	28
3.1 DESENHO DE ESTUDO	28
3.2 LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA	28
3.3 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS E PREPARAÇÃO DO RESÍDUO DE VIDRO	28
3.4 CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS.....	31
3.4.1 <i>Cimento</i>	31
3.4.2 <i>Agregado miúdo</i>	31
3.4.3 <i>Agregado graúdo</i>	32
3.4.4 <i>Resíduo de vidro</i>	32

3.5 DOSAGEM.....	32
3.6 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	39
4.1.1 Cimento.....	39
4.1.2 Agregado miúdo	39
4.1.3. Agregado graúdo.....	42
4.1.4. Agregado Vítreo	44
4.2 DOSAGEM	45
4.4 ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL	47
4.5 TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	51
4.6 ANÁLISE DA DETERMINAÇÃO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA	53
5 CONCLUSÃO.....	57
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	58
7 REFERENCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

O vidro é 100% reciclável, ou seja, quando é submetido ao processo de reciclagem, não há perda de material durante a fusão. Esse processo faz com que uma tonelada de resíduo de vidro, resulte em uma tonelada de vidro novo, com economia de 1,2 toneladas de matéria prima. Além de ser extremamente importante na diminuição dos recursos naturais, a reutilização ameniza os problemas ambientais da geração de resíduos. (Fonseca, 2013)

De acordo com o CONAMA nº 307 (2002), por se tratar de material oriundo de construções, reformas, reparos e demolições, o vidro é classificado como resíduo da construção civil e se enquadra como material reciclável. A Abividro (Associação Brasileira das Indústrias de Vidro), afirma que o vidro pode demorar cerca de quatro mil anos para se decompor, porém a sua reciclagem pode ser realizada infinitas vezes e com cem por cento de aproveitamento, sem que ocorra nenhuma perda da qualidade de suas propriedades.

O processo de decomposição do vidro é demorado e grande quantidade do rejeito não é reciclada. Devido a isso, o produto inutilizável ocupa áreas grandes áreas em aterros sanitários e lixões, o que se faz necessário destinar esse vidro para outros fins. A utilização do vidro na construção civil visa melhorar os aspectos tanto ambientais como na qualidade do concreto. No contexto sustentável, as tecnologias buscam melhorar a qualidade dos produtos em equilíbrio com o meio ambiente. A intenção de destinar o vidro na composição do concreto tem a finalidade de gerenciar milhares de garrafas sem uso para uma destinação adequada, tendo em vista que, o concreto é um material durável.

Segundo Barbosa e López (2005), alguns estudos apontam que o vidro possui em sua composição química, altas porcentagens de sílica e cálcio, tornando-o em teoria um material mais pozolânico. Ainda de acordo com o autor, o concreto produzido com adição de vidro moído ($< 75 \mu\text{m}$), apresenta melhoria ao concreto devido as reações pozolânicas. Portanto, é possível observar que a destinação do vidro moído para substituir o cimento Portland em certas porcentagens é capaz de trazer melhorias nas propriedades do concreto.

Com base nos estudos realizados sobre aproveitamento dos resíduos de vidro para o concreto, espera-se que os benefícios da adição do vidro sejam satisfatórios. Nesse contexto, o estudo desenvolvido na sequência objetiva analisar a viabilidade da destinação dos resíduos de vidro para o concreto. Uma vez que os resultados da adição do resíduo forem positivos nos parâmetros técnicos exigidos pela norma, a utilização do vidro pode ser validada como componente do concreto, e dessa forma, trazer benefícios ambientais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos Gerais

Analisar a viabilidade técnica da destinação do resíduo de garrafa de vidro âmbar nas propriedades do concreto a partir da substituição parcial do cimento Portland pelo pó de vidro moído passante na peneira 75 μm (nº200).

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar ensaios de caracterização dos agregados e desenvolver traço referência pelo Método ABCP/ACI que atinja resistência a compressão de 25MPa aos 28 dias de cura;
- Produzir corpos de prova cilíndricos com teores de substituição de 0%, 5%, 10% e 20%;
- Avaliar a influência da substituição do cimento por resíduo de vidro no concreto através de ensaios de compressão axial, tração por compressão diametral e absorção de água;
- Comparar os resultados obtidos entre o concreto com os teores de substituições do pó de vidro e o concreto referência.

1.2 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento das civilizações trouxe consigo o aumento do consumo de matérias-primas para garantir a manutenção da sociedade no seu processo de expansão. Com esse crescimento da população e a demanda de produtos industrializados em maior quantidade e de forma rápida, tem por consequência o aumento na quantidade de resíduos. Logo, a geração de resíduos pelas atividades antrópicas são as causadoras das principais preocupações ambientais da última década.

A construção civil é o setor que demanda maior quantidade de insumos. De acordo com John (2000), a construção civil é responsável por extrair cerca de 14% a 50% de todo o recurso natural. Degani (2002) acrescenta que a escassez e extinção de fontes, jazidas e alterações na fauna e flora das regiões exploradas, são os principais impactos ambientais decorrentes da extração de recursos naturais para obtenção de matéria-prima.

Em virtude dos problemas ambientais causados pela extração incessante de recursos naturais e a geração de resíduos, é necessário buscar soluções que minimizem esses impactos

ao meio ambiente. Através de estudos e pesquisas que desenvolvam novas tecnologias e técnicas é possível gerenciar esses resíduos e torná-los utilizáveis. O foco é direcionar esse produto que no primeiro momento são descartados para o uso, e torná-los matéria-prima através da confecção de produtos alternativos que diminuam os rejeitos deixados pelo homem e reduzam a utilização de matéria-prima na natureza.

A reciclagem e reutilização do vidro moído para confecção de peças de concreto apresenta inúmeros aspectos positivos para sociedade, meio ambiente e possivelmente até mesmo para o concreto, como: redução da utilização de matérias primas para fabricação do vidro e do concreto, geração de emprego e consequentemente geração de renda, despoluição do meio onde se encontra esse material, redução de custos e possíveis melhorias químicas e físicas no concreto.

Fundamentado em pesquisas realizadas por outros autores que apresentam resultados referentes a adição de vidro moído nas propriedades do concreto, é possível comprovar através do presente estudo a eficácia na substituição parcial do cimento pelo vidro moído. Através desta pesquisa será possível fornecer informações referentes a viabilidade da destinação do rejeito de vidro ao concreto, com o intuito de mitigar os impactos ambientais gerados pelo resíduo e melhorar a qualidade do concreto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

2.1.1 Definição e caracterização

De acordo com ABNT NBR 10.004:2004:

“Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.”

Ainda segundo a ABNT NBR 10.004/2004, a classificação dos resíduos sólidos está relacionada a atividade que deu origem, sua composição e características. Com o conhecimento da sua produção e seus constituintes, a separação pode ser realizada criteriosamente de acordo com a matéria-prima, insumos e processos de produção. Dessa forma, sua classificação é dada por:

- A. Resíduos classe I (Perigosos): São aqueles que apresentam risco a saúde pública ou ao meio ambiente, devido as suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas. Também são considerados resíduos dessa classe aqueles caracterizado como inflamável, corrosivo, reativo, tóxico ou patogênico.
- B. Resíduos classe II (Não perigosos): Aqueles que não ofertam risco a saúde da população ou meio ambiente. São exemplos São subdivididos em duas classes:
 - Resíduos classe II A – Não inertes: – São aqueles que não se enquadram na Classe I e Classe II B. Podem ter propriedades como a biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
 - Resíduos classe II B – Inertes: São aqueles que quando submetidos ao contato dinâmico e estático com a água destilada em amostragem representativa, não são dissolvidos seus constituintes, excluindo aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

2.1.2 Plano Nacional de Resíduos Sólidos

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelece responsabilidades compartilhadas a todos os geradores de resíduos, de forma que devem trabalhar para minimizar o volume de resíduos produzidos e reduzir os impactos que os rejeitos causam a saúde humana e o meio ambiente. Além disso, são responsáveis por criar metas e objetivos no nível nacionais, estaduais e municipais, para que

sejam cumpridas, a fim de eliminar lixões e aterros irregulares e trazer nova perspectiva no gerenciamento de resíduos sólidos.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos classifica os resíduos sólidos quanto à sua origem da seguinte forma: resíduos sólidos domiciliares – rejeitos; resíduos de limpeza pública; resíduos da construção civil e demolição; resíduos volumosos; resíduos verdes; resíduos dos serviços de saúde; resíduos com logística reversa obrigatória; resíduos dos serviços públicos de saneamento básico; resíduos sólidos cemiteriais; resíduos de óleos comestíveis; resíduos industriais; resíduos dos serviços de transportes; resíduos agrossilvopastoris; resíduos da mineração (BRASIL, 2012).

Devido a sociedade apresentar preocupações referentes aos elevados custos socioeconômicos e ambientais, medidas começaram a ser tomadas para que os resíduos tenham a destinação adequada. A implantação do Plano de Gestão dos resíduos, traz consequências positivas quando analisado de forma social, ambiental e econômica, uma vez que geram a diminuição do consumo de recursos naturais, geração de emprego e indústrias e reduzem os impactos ambientais provocados pela destinação inadequada dos resíduos.

Segundo o Art. 9º da LEI Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, quando se tratar de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, a ordem de prioridade deve ser seguida da seguinte forma: “não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”

2.1.3 Resíduos na Construção Civil

De acordo com a Resolução do CONAMA nº 307 (2002) os resíduos sólidos da construção civil são aqueles que resultam de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, como também de preparação e da escavação de terrenos. São alguns deles: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica e entulhos de obra.

A Lei 714 de 2017 classifica os resíduos de construção civil da seguinte maneira:

- A. Classe A: resíduos reutilizáveis ou recicláveis, tais como: de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura. Inclusive solos resultantes de terraplanagem; de componentes cerâmicos, argamassa e concreto; de processo de fabricação e demolição de peças pré-moldadas em concreto produzidas nos canteiros de obras.

- B. Classe B: são os resíduos recicláveis, como por exemplo os plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso.
- C. Classe C: resíduos que não possuem tecnologia ou aplicações que sejam economicamente viáveis para reciclagem ou recuperação, como por exemplo, a lã de vidro.
- D. Classe D: São aqueles que ofertam prejuízos a saúde e contaminações, como por exemplo tintas, solventes, óleos e vernizes. Também são considerados perigosos aqueles oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros elementos que contenham amianto ou outros componentes prejudiciais à saúde.

2.2 VIDRO

2.2.1 Definição e composição

De acordo com a Cebrace, o vidro é uma substância inorgânica, homogênea e amorfa, resultada do resfriamento de uma massa em fusão. Tem como principal característica a transparência e a dureza, como também apresenta propriedades térmicas, ópticas, acústicas, resistência e inalterabilidade. Todas as matérias-primas utilizadas no processo de fabricação do vidro devem ser devidamente controladas, pois esses insumos são responsáveis pelas características físicas e químicas que o vidro obtém.

American Society for Testing and Materials (ASTM) define o vidro como um produto inorgânico de fusão que foi arrefecido em uma condição rígida sem cristalizar. O vidro pode ser incolor ou colorido. É transparente, mas pode ser opaco ou translúcido, e apresenta uma estrutura não cristalina, isto é, a sua estrutura é amorfa (ASTM, 2009).

As principais matérias-primas utilizadas na composição do vidro são de origem natural, e boa parte desses materiais apresentam sólidos granulares, com grãos de aproximadamente 0,1 a 2,0 mm. Podem ser citados como insumo: a areia, carbonato de sódio, o bórax, o sulfato de sódio, o calcário, o feldspato, a dolomita, entre outros. É importante que a granulometria dos materiais seja fina, pois melhoram os aspectos de fusão e homogeneidade. Deve-se atentar também para que o material não seja extremamente fino, uma vez que o pó é desperdiçado no processo de manuseio ou arrastado por gases de combustão e depositado indesejavelmente na atmosfera. Com a finura ideal, mais fácil se fundirá, visto que possuirá maior superfície de contato. Para que se obtenha uma composição uniforme do vidro, é necessário misturar diversas matérias-primas com partículas

semelhantes, pois assim, facilita a produção de uma mistura homogênea e por consequência, um vidro homogêneo (Busch, 2016).

O material mais abundante na composição do vidro é a sílica ou óxido de silício (SiO_2). Mais conhecida como areia, a sílica sozinha é capaz de ofertar propriedades excelentes ao vidro, porém, seu ponto de fusão é muito alto e requer fornos especiais, além de consumir muita energia e consequentemente aumentar o custo de produção. Para minimizar o problema, foram incorporados elementos que abaixam a temperatura de elaboração, entretanto, as características adequadas para o produto se mantêm. Esses componentes adicionados à mistura são o óxido de sódio e o óxido de cálcio, que juntamente com a sílica, produzem o tipo de vidro denominado sodo cálcico (Akerman, 2013).

2.2.2 Vidro sodo cálcico

Segundo o Conselho Regional de Química – CRQ (2011), O vidro sodo-cálcico é o tipo de vidro mais comum e barato presente no comércio. Sua utilização é destinada principalmente para embalagens, como garrafas, frascos e potes, como também é bastante utilizado para a confecção de copos, janelas de vidro, na indústria automobilística e em eletrodomésticos. Sua desvantagem é a baixa resistência a altas temperaturas, mudanças bruscas de temperatura e produtos químicos corrosivos.

Seus principais componentes são de aproximadamente 73% de SiO_2 , 13% Na_2O e 10% CaO . Possuem ainda em sua composição óxidos que alteram a rede, como é o caso do óxido de cálcio (8-12%) e o óxido de sódio (12-17%). Excessiva quantidade de cálcio faz com que o vidro tenha tendência a cristalizar durante o processo de produção e sua escassez ou alto teor de sódio, resulta em um vidro com baixa durabilidade química. Ambos fazem com que a temperatura de fusão diminua e facilite o processo produtivo desse tipo de vidro. Baseado em sua formação química, o vidro sodo-cálcico tem potencial pozolânico e pode ser usado como material cimentício (Akerman, 2000).

2.2.3 Estrutura do vidro

Toda substância é composta por átomos e todas as características e propriedades dos materiais dependem da forma como esses átomos estão ligados. Quando a substância está no estado sólido, os átomos se atraem entre si e se prendem uns aos outros se dispendo de forma organizada. No estado líquido, os átomos se comportam diferentes. A força que os une é fraca e os átomos ficam soltos, gerando aspecto de fluidez (Akerman, 2013).

Ainda segundo Akerman (2013), o material gerado no processo de fusão do vidro é um líquido de alta viscosidade. Essa aderência é adquirida pelo resfriamento do produto e enquanto menor for a temperatura, mais difícil é para que o líquido escoe. Essa propriedade faz com que os átomos tenham dificuldade de se movimentar livremente e, dessa forma, não conseguem se organizar entre si como no estado sólido. Em determinada temperatura, a viscosidade é tão alta que os átomos não se movimentam de forma alguma e se mantêm desordenados, como no estado líquido, porém, estão congelados em um material que apresenta todas as características de um sólido.

Há discussões quanto ao estado físico do vidro. Uns o chamam de líquido, porém, isso não é verdade. Na maioria dos sólidos, os átomos estão organizados na forma de cristais, porém o vidro apresenta características de sólido sem a organização dos átomos, com estrutura semelhante à de um líquido. Essa dificuldade de enquadramento do vidro em um dos três estados da matéria, fez com que se criasse um novo conceito: o estado vítreo. Entretanto, o conceito não foi acolhido com total aceitação (Akerman, 2000).

2.2.4 Resistência mecânica

“O vidro é um material frágil, porém, não fraco. Ele tem grande resistência a ruptura, podendo mesmo ser utilizado em pisos. É duro e rígido, porém, não tenaz não sendo apropriado para aplicações sujeitas a impactos.” (Akerman, 2000).

Akerman (2000) diz que a resistência mecânica do vidro está ligada diretamente ao estado em que se encontra a sua superfície. Se há irregularidade na superfície, tem-se a possibilidade do início de uma trinca que, quando submetida a uma força de tração, tende a abri-la. Quando se encontram riscos ou qualquer outra imperfeição, o local tem resistência comprometida e as tensões na trinca apresentam-se superiores às tensões da peça como um todo, então a trinca se abre gradativamente enquanto a tensão aumenta no local fragilizado, até que a trinca atravesse a peça, causando a quebra do vidro.

Ao comparar o vidro e o aço em seu regime elástico de deformação, é possível observar que ambos têm o mesmo comportamento. Quando submetido ao ensaio de tração, até determinada intensidade de carga o aço consegue retornar a forma original. Porém, quando o valor de tensão chega ao limite de resistência, ele se deforma no regime plástico e não retoma a sua forma original. Condicionado a mais carga, ultrapassa-se o regime plástico e o material se rompe, conhecido como limite de ruptura. Diferente do aço, o vidro não se deforma plasticamente e ao exceder seu limite de resistência, se rompe de maneira brusca, sem aviso. Portanto, o vidro apresenta limite de resistência igual ao limite de ruptura (Akerman, 2000).

2.3 RECICLAGEM DO VIDRO

Conforme a ACREPOM (2009), a reciclagem é uma forma atrativa de gerenciar os resíduos, uma vez que possibilita a empregabilidade de materiais descartados como matéria prima para confecção de novos produtos. A maior vantagem no reaproveitamento desses materiais é a economia dos recursos naturais, muitas vezes não renováveis, redução do consumo de energia e economia de espaço em aterros sanitários. É importante destacar que o termo reciclagem se difere de reutilização, pois o segundo se refere à produtos que tem a capacidade de voltar ao seu estado primário com as mesmas características do anterior.

De acordo com Peres (2012), a reciclagem se divide em dois tipos: reciclagem primária e secundária. A primária consiste no processo onde os resíduos se modificam em produtos do mesmo tipo e a secundária se refere aos resíduos que são transformados em outro tipo de produto que não aquele que o originou.

Em média, o Brasil produz cerca de 800 mil toneladas de embalagens de vidro por ano. O país é responsável por 2% de todo o lixo depositado nos lixões e aterros. De acordo com as literaturas, o tempo estimado da decomposição do vidro é de aproximadamente um milhão de anos, desse modo, estima-se que 70% dos aterros sanitários estarão com sua capacidade reduzida pelo próximo milênio (Peres, 2012). No Brasil, são recicladas 27,6% das embalagens de vidro, com total de 220 mil toneladas por ano. Dessa porcentagem, 5% são provenientes de engarrafadoras de bebidas, 10% por sucateiros e 6% deriva das coletas promovidas por vidraçarias. Os 12% restantes, referem-se ao vidro gerado nas fábricas que são reaproveitados para compor novas embalagens.

Os processos da reciclagem consistem primeiramente na retirada dos resíduos grosseiros, como tampas, roscas de plásticos e qualquer outro material que não seja vidro ou papel. A remoção do papel é realizada através da lavagem ou queima do vidro. Em seguida, o material é lavado para remover todo tipo de contaminante. Por seguinte, o vidro é moído a fim de obter pedaços com granulometria homogênea e é submetido a um eletroímã para separar os resquícios de metal. Ao final dessas etapas, os resíduos poderão seguir dois destinos: manter-se em cacos e serem encaminhados para o transporte, ou transforma-los em pó de vidro (Lemos, 2012). O grande empenho para a reciclagem do vidro é a coleta dos materiais. Nem todo tipo de vidro pode ser reciclado, pois existem variações em sua composição e durante a coleta seletiva, as embalagens não são separadas corretamente. (CESAR *et al.*, 2004)

Portanto, a reciclagem do vidro assume um papel fundamental na preservação do meio ambiente, uma vez que, diminui a extração de recursos naturais e o acúmulo de resíduos em

áreas urbanas. Outros benefícios são a diminuição da poluição ar, água e solo, redução dos custos de limpeza urbana e diminuição do volume de lixo. Além de ser uma atividade lucrativa, também tem forte caráter social, como por exemplo, geração de emprego. (Lemos, 2012)

2.4 RESÍDUO DE PÓ DE VIDRO NO CONCRETO

As adições minerais influenciam na melhora de resistência e as propriedades do concreto. Segundo Paiva (2009), o uso de adições minerais no concreto melhora sua densidade, resistência a compressão, trabalhabilidade, exsudação e segregação, no estado fresco e endurecido.

O vidro é feito a partir de uma massa sílica em fusão e ao final do seu processo de produção, mostra-se como um material composto de sílica não cristalizada. O resíduo de vidro se enquadra na classificação pela NBR 10004/2004 como um resíduo de classe II B, tido como não perigoso e inerte. Devido a isso, pode ser empregado na matriz cimentícia, desde que seja moído até formar um pó extremamente fino, pois sua utilização como agregado graúdo poderá desencadear reações álcalis-agregado. (Paiva, 2009)

Através do ensaio da classificação e índice de atividade pozolânica baseados na NBR 5752/92, realizado por Paiva (2009), o resíduo de vidro em argamassa de cimento Portland aos 28 dias de idade apresentou 104% de índice de atividade pozolânica ficando acima do mínimo estabelecido pela norma, que é de 75%.

A presença de sílica amorfa em sua composição faz do vidro um material com potencialidade para promoção de pozolanicidade, quando apresentar alto grau de finura. Deve-se tomar bastante cuidado na análise da reação álcali-agregado, em especial a reação álcali-silica, uma vez que, a grande quantidade de sílica pode reagir com os álcalis do cimento gerando um gel que sofre expansão na presença de água, com danos ao concreto. (Neto, 2014)

2.5 CONCRETO

O concreto é o material mais utilizado na construção civil e consiste em uma mistura heterogênea obtida através de cimento, agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita), água e ar. Em sua composição pode conter adições como cinza volante, pozolanas, sílica ativa, entre outras, com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas. (Couto *et al.*, 2013).

O Instituto Brasileiro de Concreto – IBRACON afirma que, o concreto é uma pedra artificial moldada na concepção construtiva do homem. Este foi capaz de desenvolver um material que depois de endurecido, oferece resistência semelhante às das rochas naturais e, quando está no estado fresco, apresenta características plásticas que possibilitam sua moldagem em diversas formas e tamanhos. Estima-se que são consumidas 11 bilhões de toneladas de concreto ao ano, o que dá aproximadamente um consumo médio de 1,9 toneladas de concreto por habitante por ano. É o segundo material mais consumido no mundo, inferior apenas à água.

2.5.1 Cimento Portland

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2002), o cimento é um material fino, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece quando entra em contato com a água. Após o endurecimento, o cimento Portland não retorna a sua forma natural quando submetido novamente a ação da água. As principais matérias-primas que compõe o concreto são: calcário, sílica, alumina e óxido de ferro.

Bauer (1994) define o cimento Portland como o produto resultante da pulverização de clínquer composto essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, sulfato de cálcio natural e, ocasionalmente, adições de algumas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam sua aplicabilidade. Ao adicionar água, se hidratam e produzem o endurecimento da massa, podendo oferecer elevada resistência.

De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), o cimento é produto de atividade industrial integrada. É obtido pela queima e beneficiamento de rocha calcária e argila, que passam por processo de moagem e homogeneização até sua primeira fusão. Em seguida, é realizado o processo físico-químico para a obtenção de uma substância conhecida como clínquer e submetido a nova moagem.

O Instituto Brasileiro de Concreto – IBRACON (2011), diz que o cimento Portland apresenta valor agregado considerável, sendo o constituinte mais caro do concreto. Devido à variedade de tipos do cimento presentes no mercado atualmente, é importante se atentar no momento da dosagem do concreto, uma vez que o traço varia de acordo com determinado cimento. Mudanças no tipo de concreto após a dosagem comprometem o seu desempenho se não for seguida as especificações do fabricante corretamente.

Como mencionado, as proporções da dosagem do cimento e concreto são de suma importância para a obtenção de um produto de qualidade. De acordo com o IBRACON (2009), no Brasil, o mercado da construção civil se dispõe de 8 tipos de cimentos, descritos abaixo:

- a) Cimento Portland Comum (CP I): É o cimento Portland com adição apenas do gesso, que objetiva controlar a pega. Seu uso é direcionado a construções de concreto em geral, quando o cimento não exige propriedades especiais.
- b) Cimento Portland Composto (CP II): Em sua composição são adicionadas pequenas proporções de escória, pozolana ou fíler. Tem desempenho equivalente ao CPI e atende completamente às necessidades da maioria das aplicações usuais.
- c) Cimento Portland de Alto-Forno (CP III): Pode conter escória de alto-forno entre 35 a 70% de sua massa. É vantajoso para construção de barragens, pois apresenta maior impermeabilidade e durabilidade, com baixo calor de hidratação e alta resistência à expansão e a sulfatos.
- d) Cimento Portland Pozolânico (CP IV): Possui de 15 a 50% de pozolana em sua massa. É recomendado para construções com exposição à água corrente e ambientes agressivos. Suas propriedades consistem em baixa permeabilidade, alta durabilidade e alta resistência à compressão em idades avançadas.
- e) Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V – ARI): Apresenta altas resistências nas primeiras idades. É usado para fabricação de concreto pré-fabricado, pois possibilita rápida desforma. Essa propriedade é desenvolvida pela utilização de dosagem específica de calcário e argila, como também através da granulometria mais fina do cimento.
- f) Cimento Portland Resistente a Sulfatos (RS): É direcionado para construções em ambientes agressivos, como por exemplo: redes de esgoto e obras em regiões litorâneas, subterrâneas ou marítimas.
- g) Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC): Demonstram dissipação mais prolongada do calor gerado durante a hidratação do cimento. Recomendado para obras hidráulicas, onde é indispensável o controle de fissuras de origem térmica.
- h) Cimento Portland Branco (CPB): Tem coloração natural cinza. Deve ter índice de brancura maior do que 78% e obter em sua composição matérias-primas com baixos teores de óxidos de ferro e manganês. Adequado para projetos arquitetônicos de concreto aparente e aplicações não estruturais de caráter decorativo.

2.5.2 Agregado miúdo

Os principais locais de extração de areia são leitos de rios, várzeas, depósitos lacustres, mantos de decomposição de rochas, arenitos e pegmatitos decompostos. A areia produzida no Brasil corresponde a 70% retirada dos leitos dos rios e 30% nas várzeas. Quanto a origem, pode

ser de produtor de quartzito industrial ou areia industrial, destinadas geralmente a indústrias vidreiras e metalúrgicas. (DNPM, 2010)

Na composição do concreto, o agregado miúdo corresponde ao segundo material mais utilizado, ficando atrás apenas do agregado graúdo. A areia é fundamental para as características do concreto, pois através dela é possível melhorar a resistência a compressão, durabilidade, trabalhabilidade, retração, entre outras propriedades. (Azevedo *et al*, 2017)

Segundo Azevedo *et al* (2017), uma das principais características do agregado miúdo é a sua granulometria. Para que se atinja o nível de qualidade exigido para o concreto, é primordial que se conheça as propriedades físicas dos agregados através de ensaios de granulometria. Através desse procedimento laboratorial é possível dosar o concreto de acordo com suas necessidades, como por exemplo, o maior teor de finos na composição tende a diminuir o índice de vazios no concreto e conseqüentemente, aumenta a resistência a compressão, como também a utilização de grãos uniformes dão propriedades de permeabilidade ao concreto.

Bauer (2008) apresenta a granulometria da areia em três faixas de tamanhos de grãos:

- Areia Fina: de 0,15 a 0,6 mm
- Areia Média: de 0,6 a 2,4 mm
- Areia Grossa: de 2,4 a 4,8 mm

A norma ABNT NBR 7211:2005 define agregado miúdo aqueles cujos grãos têm material passante na peneira com abertura de malha 4,75mm e retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm. Os ensaios de granulometria são regidos conforme a ABNT NBR NM 248 e as peneiras definidas seguem os parâmetros da ABNT NBR NM ISO 3310-1.

O módulo de finura da areia influencia diretamente na plasticidade do concreto. Areias mais finas, demandam maior quantidade de água em sua mistura, e para que atinja a plasticidade desejada, será necessário o aumento do teor do agregado. As areias mais grossas, resultam em misturas mais ásperas e pouco coesivas, devido à interferência entre as partículas. Portanto, qualquer alteração do teor de agregado miúdo na dosagem do concreto, modificará de forma significativa o consumo de água e cimento, e por conseqüência, o custo do concreto, uma vez que o cimento representa o material de custo mais elevado na mistura (Martins, 2008).

2.5.3 Agregado graúdo

A brita é extraída de jazida mineral e originada pelo processo de britagem de uma rocha maior e classificada de acordo com a sua granulometria. As rochas utilizadas podem ser do tipo basalto, granito, gnaisse, entre outras. As indústrias extrativas de mineral responsáveis pela sua

produção, fornecem as características da matéria prima, como sua dimensão (através de peneiramento), propriedade físicas, químicas e tecnológicas adequadas para o uso desse agregado na construção civil. No caso de cascalhos, são provenientes de rochas cristalinas e sua degradação se dá por processos naturais. No Brasil, a produção de brita divide-se por tipo de rocha, onde o granito e gnaisse correspondem a 85%, calcário e dolomito 10% e basalto e diabásio 5%. (DNPM, 2010)

As pedras britadas são classificadas de acordo com a dimensão dos grãos e a separação é feita por peneiramento no local de produção. Segundo a CEFET (2004), as dimensões nominais do agregado graúdo correspondem a dimensão mínima da abertura da peneira correspondente a porcentagem retida igual ou imediatamente superior a 95%, apresentada a seguir:

- Brita 0: 9,5 – 4,8 mm
- Brita 1: 19 – 9,5 mm
- Brita 2: 25 – 19 mm
- Brita 3: 50 – 25 mm
- Brita 4: 75 – 50 mm
- Brita 5: 100 – 76 mm

A norma ABNT NBR 7211:2005, define por agregado graúdo aqueles cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

A proporção de brita na dosagem do concreto influencia diretamente na sua trabalhabilidade. Com o aumento da quantidade de agregado, a superfície total dos grãos diminui, isso faz com que melhore o envolvimento dos grãos na pasta e reduza o atrito interno da mistura e por consequência, o concreto fica mais plástico. Quando o teor de brita aumenta de forma excessiva, a falta de argamassa gera vazios na mistura, o que permite atrito direto dos grãos e resulta na perda da plasticidade, o que torna o adensamento difícil (Martins, 2008).

Quando se refere a forma dos grãos, as partículas lamelares devem ser evitadas ou reduzidas a 15% no total da massa do agregado. Essa recomendação é devida a acomodação das partículas que tendem a se alinhar em direções preferenciais e favorecem o plano de fraqueza que gera ruptura. Entretanto, agregados cúbicos ou esféricos aumentam a trabalhabilidade do concreto devido a sua área superficial que é menor em comparação as outras

geometrias. Dessa forma, as partículas mais esféricas, necessitam de menor argamassa para envolvê-las e preencher o índice de vazios, sobrando mais argamassa para contribuir com a fluidez da mistura.

Enquanto maior o tamanho do agregado, menor será a necessidade de água na mistura e por consequência, reduzirá a relação água/cimento e aumentará a resistência do concreto. Entretanto, existem limites para se aumentar a dimensão do agregado. Primeiro, a diminuição da água na mistura provoca menor superfície de aderência e aumenta a descontinuidade da massa, o que deixa o concreto heterogêneo e de baixa resistência. Segundo, a dimensão máxima característica (DMC) do agregado é limitada pelo espaçamento entre as barras de aço na estrutura. A NBR 6118/2014 determina que o espaçamento seja na proporção de 1,2 do DMC.

2.6 REATIVIDADE POZOLÂNICA

A NBR 12653/1992, define material pozolânico como sendo um material silicoso ou silicoaluminoso que por si só possui pouca ou nenhuma propriedade cimentícia, entretanto, quando em granulometria fina e na presença de umidade, reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio, à temperatura ambiente, para formar compostos com propriedades aglomerantes. Podem ser de origem vulcânica, sedimentar ou artificiais, provenientes de subprodutos industriais.

De acordo com Neto (2014), a incorporação de sílica ativa promove diminuição da porosidade do concreto, o que torna a microestrutura mais densa e compacta. Isso resulta em um material com desempenho superior ao concreto convencional, capaz de proteger o concreto contra agentes agressivos. Além disso, a sílica ativa melhora as propriedades físicas e químicas do concreto, pois é considerada uma excelente pozolana.

Para que ocorra o efeito pozolânico do vidro, a granulometria do resíduo deve ser inferior a 75mm, uma vez que as partículas finas favorecem a reação pozolânica de forma rápida e benéfica. Além de auxiliar no efeito pozolânico, a finura do material influencia diretamente na mitigação da reação álcali-sílica, onde estudos constatam que a adição do pó de vidro pode melhorar a qualidade do concreto, devido ao empacotamento das partículas que preenche os vazios entre os grãos de areia. (Antônio, 2012)

A reação química acontece principalmente na zona de transição entre a argamassa de cimento e o agregado graúdo, que representa a região mais fraca do concreto. Com a utilização do pó de vidro na mistura, existe maior aderência entre a pasta e o agregado, o que torna a zona de transição mais resistente e o agregado passa a ser a parte mais frágil do concreto. O

fortalecimento da zona de transição faz com que a linha de ruptura a compressão dos corpos de prova passe pelo agregado graúdo, tornando a sua superfície visível (Neto, 2014).

2.7 REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO

O processo químico que deteriora o concreto pela RAA, depende da composição mineralógica do agregado reativo e a intensidade e velocidade das reações expansivas dependem da concentração e fase reativa no agregado. Pode ser classificada em três tipos e Bonato (2015) explica as formas de ocorrência para cada tipo de reação:

- Reação álcali-sílica (RAS): É a reação química que ocorre entre os álcalis disponíveis no concreto e a sílica amorfa ou mal cristalizada. As sílicas quimicamente reativas estão presentes nos vidros naturais e artificiais, opalas, tridimitas e calcedônias, sílicas amorfas e cristobalitas.
- Reação álcali-silicato (RASS): é a reação que ocorre entre os álcalis disponíveis no concreto e os silicatos: Argilitos, siltitos e grauvacas. Surge mais lentamente, pois os minerais encontram-se espalhados no arranjo cristalino.
- Reação álcali-carbonato (RAC): é de mais rara ocorrência em âmbito mundial e nacional. Ocorre quando álcalis provenientes do cimento, ou de outra fonte externa, reagem com certos calcários com impurezas de argila, onde os álcalis interagem com a dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) formando brucita ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) e calcita (CaCO_3).

A RAS é a mais comum de se ocorrer, pois tem processo de evolução mais rápido e melhor detectável nos ensaios de reatividade. Esta reação ocorre entre os álcalis e alguns tipos de silicatos presentes em certas rochas sedimentares (argilitos, siltitos e grauvacas), metamórficas (ardósias, filitos, xistos, gnaisses, granulitos, entre outras) e ígneas (granitos) (Mizumoto, 2009).

Como todas as outras reações, a RAS gera um gel expansivo decorrente de três fatores simultâneos: presença de água, fase reativa do agregado e álcalis. A quantidade de gel e as tensões exercidas no interior da peça de concreto são variáveis, dependendo da temperatura, do tipo e proporções das fases reativas, da composição do gel, entre outros. Entretanto, esses efeitos são suficientes para desenvolvimento de microfissuras, que por sua vez, levam a expansão generalizada das fissuras no concreto ou elemento estrutural. (IBRACON, 2016)

3 METODOLOGIA

3.1 DESENHO DE ESTUDO

Propõe-se um estudo com finalidade metodológica de pesquisa aplicada, com coleta de dados primários e secundários. A obtenção dos resultados referentes aos dados laboratoriais e análise estatística consistem nos dados primários. As informações pertencentes ao resíduo de vidro, consistem nos dados secundários, adquiridos através de revisão bibliográfica.

O estudo é dividido em duas etapas. A primeira refere-se aos resultados técnicos apresentados de forma numérica e caráter comparativo. A substituição parcial do cimento Portland pelo pó de vidro, deve atender aos parâmetros normativos expressos na NBR 6118/2014. A segunda relaciona a praticabilidade de reutilização das garrafas de vidro âmbar no concreto, a fim de buscar soluções mitigadoras ao meio ambiente. Dessa forma, a abordagem da pesquisa tem natureza mista, sendo quali-quantitativa.

3.2 LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA

Os ensaios foram realizados nos Laboratório de Materiais e Estruturas e Laboratório de Maquetes de Lavras e Beneficiamento do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/Ulbra). Os materiais utilizados na dosagem do concreto foram adquiridos na cidade de Palmas-TO.

A moagem e peneiramento do vidro foi realizada no mês de julho de 2019, no Laboratório de Maquetes de Lavras e Beneficiamento. A confecção dos corpos de prova e demais ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais e Estruturas, nos meses de julho a setembro de 2019.

3.3 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS E PREPARAÇÃO DO RESÍDUO DE VIDRO

3.3.1 Coleta do vidro e preparo

As garrafas foram coletadas em um bar e restaurante na cidade de Palmas-TO, localizada no Plano diretor Norte. Segundo o proprietário, as garrafas não possuem descarte adequado e ficam expostas na parte externa do estabelecimento a céu aberto. Para a realização do estudo, foram utilizadas 30 garrafas de 600ml de cor âmbar, quantidade que atende a necessidade da pesquisa, considerando as eventuais perdas na moagem e peneiramento.

Após a coleta, o material foi levado para o Laboratório de Maquetes de Lavras e Beneficiamento, no CEULP/Ulbra, onde foi realizada a lavagem. Para essa etapa, as garrafas foram submersas em um tambor de água por 24 horas para facilitar a retirada dos rótulos, cola e lavar as impurezas no interior das mesmas. Para auxiliar a limpeza, foram utilizadas espátula e palha de aço. Ao final do processo, as garrafas foram secas naturalmente por mais 24 horas. Na Figura 1 abaixo é demonstrado o processo de lavagem das garrafas:

Figura 1 – Lavagem das garrafas em tambor de água



Fonte: Autor (2019)

3.3.2 Moagem

Para melhor rendimento do espaço no interior do moinho de bola, o material foi quebrado primeiramente de forma manual, com o auxílio de uma marreta e em local seguro, utilizando os EPI's adequados. Em seguida, os cacos provenientes desse processo foram levados ao moinho de bola para obtenção de um material mais fino e granular. O moinho tem capacidade de até 10 kg, porém, para obter mais espaço no interior do equipamento, foi depositado 8kg de material e adicionado a carga de bola de aço inox. A moagem foi realizada em 3 períodos, cada um com duração de 25 minutos e intervalo de 5 minutos entre eles. A Figura 2 a seguir apresenta o moinho de bola utilizado para a moagem:

Figura 2 – Moinho de bola



Fonte: Autor (2019)

3.3.3 Peneiramento

Quando retirado do moinho, o vidro apresentava diferentes tamanhos, desde cacos com granulometria superior a 4,75mm até o material fino, passante na peneira 75 μ m. Para que não houvesse desgaste das malhas de peneiras, o material grosso foi peneirado usando a série normal de peneiras de 4,75mm até a 0,15mm, de modo que o insumo ali retido retornasse para o moinho de bola para nova moagem, até atingir a granulometria próxima ao do cimento.

O material resultante do peneiramento utilizado na substituição foi o retido na peneira 75 μ m, especificado pela NBR 11579 - Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75 μ m (n°200). O pó de vidro foi peneirado manualmente até que atingisse a massa 10kg, quantidade necessária para realizar a substituição de acordo com os teores de 5%, 10% e 20%. Na Figura 3 abaixo é mostrado o material retido na peneira 75 μ m:

Figura 3 – Material retido na Peneira 75 μ m

Fonte: Autor (2019)

3.4 CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS.

A obtenção de resultados satisfatórios na dosagem do concreto está diretamente ligada ao conhecimento que se tem dos insumos empregados. Em razão disso, todos os materiais utilizados na confecção dos corpos de prova foram devidamente ensaiados, conforme as especificações técnicas das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

3.4.1 Cimento

Para a realização do estudo, foi escolhido o Cimento Portland CP II F-40, que segundo o fabricante possui alta resistência inicial e final, maior desempenho mecânico, com resistência 20% acima dos cimentos comuns e baixa demanda de água no concreto. Foram realizados três ensaios para conhecer as propriedades do cimento:

- Ensaio de massa específica. ABNT NBR NM 23:2001 – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica.
- Ensaio de finura. ABNT NBR 11579:1991 – Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75 μm (n°200).
- Ensaio tempo de início e fim de pega. ABNT NBR NM 65:2003 – Cimento Portland – Determinação do tempo de pega.

3.4.2 Agregado miúdo

A areia utilizada para compor o concreto é natural, retirada com draga e classificada como areia média. É encontrada com grande facilidade na região de Palmas e foi adquirida em loja de material de construção na zona sul da capital. Os ensaios realizados no agregado miúdo seguem abaixo:

- Determinação da composição granulométrica. ABNT NBR NM 248:2003 – Agregados – Determinação da composição granulométrica.
- Determinação da massa específica. ABNT NBR NM 6508:1984 – Grãos de solo que passam na peneira de 4,8mm – Determinação da massa específica.
- Determinação da massa unitária. ABNT NBR NM 45:2006 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.

3.4.3 Agregado graúdo

A brita escolhida para o concreto é de origem granítica e tipo 1, com diâmetro entre 9,5mm e 19mm. Também é encontrada com facilidade na região de Palmas e foi adquirida em loja de material de construção na zona sul da cidade. Os ensaios realizados no agregado graúdo seguem abaixo:

- Determinação da composição granulométrica. ABNT NBR NM 248:2003 – Agregados – Determinação da composição granulométrica.
- Determinação da massa unitária. ABNT NBR NM 45:2006 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.
- Determinação da massa específica. ABNT NBR NM 53:2009 – Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.

A partir da norma de composição granulométrica, é determinado o diâmetro máximo característico (DMC) da brita. É correspondente ao número da peneira da série normal na qual a porcentagem acumulada é inferior ou igual a 5%, desde que essa porcentagem seja superior a 5% na peneira imediatamente abaixo. O DMC é utilizado no processo de dosagem do traço e responsável pelo empacotamento dos grãos.

3.4.4 Resíduo de vidro

Para quantificar a massa de vidro necessária na dosagem do concreto, será realizado o ensaio de massa específica do pó de vidro, a fim de conhecer o material estudado na substituição do cimento. Segue abaixo a norma que rege o ensaio:

- Ensaio de massa específica. ABNT NBR NM 23:2001 – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica.

Além do ensaio citado acima, é necessário fazer o estudo do insumo quanto as suas propriedades físicas e químicas. A investigação dessas características partirá de revisão bibliográfica, para caracterizar as propriedades mineralógicas do resíduo em comparação ao cimento.

3.5 DOSAGEM

De acordo com a NBR 6118/2014, a durabilidade do concreto está relacionada a classe de agressividade do ambiente (CAA). O estudo foi realizado na cidade de Palmas-TO, enquadrada na CAA II, conforme a Tabela 6.1 - Classes de agressividade ambiental da NBR

6118/2014. Para esse caso, a Tabela 7.1 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto, exige resistência a compressão maior ou igual a 25 MPa aos 28 dias.

Tabela 1 – Correspondência entre classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655. ^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado. ^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: NBR 6118/2014

O traço referência foi calculado através do método ACI 211.1-91 (American Concrete Institute). A seguinte equação foi utilizada para a determinação da resistência de dosagem, de acordo com a NBR 6118/2014:

$$F_{cj} = F_{ck} + 1,65S_d$$

O desvio padrão (S_d) depende da rigorosidade da obra. É obtido conforme a Tabela 6 - Desvio-padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto expressa na ABNT NBR 12655:2006.

Tabela 2 - Valor do desvio padrão em relação ao rigor da dosagem

S_d	CONDIÇÃO	CLASSE	TIPO DE CONCRETO
4,0	A	C10 a C80	Quando todos os materiais forem medidos em peso e houver medidor de água, corrigindo-se as quantidades de agregado miúdo e água em função de determinações freqüentes e precisas do teor de umidade dos agregados, e houver garantia de manutenção, no decorrer da obra, da homogeneidade dos materiais a serem empregados.
5,5	B	C10 a C25	Quando o cimento for medido em peso e os agregados em volume, e houver medidor de água, com correção do volume do agregado miúdo e da quantidade de água em função de determinações freqüentes e precisas do teor de umidade dos agregados.
7,0	C	C10 a C15	Quando o cimento for medido em peso e os agregados em volume, e houver medidor de água, corrigindo-se a quantidade de água em função da umidade dos agregados simplesmente estimada.

Fonte: Castro (2016)

O desvio padrão adotado para a dosagem do traço é de 4,0, visto que os materiais utilizados foram obtidos todos em massa. Com a utilização da equação da resistência aos 28 dias, foi possível chegar a resistência de dosagem de 31,6 MPa.

O passo seguinte da dosagem se refere a escolha do abatimento de acordo com o tipo de construção que o concreto será utilizado. O abatimento máximo adotado é de 100mm e mínimo de 25mm, podendo variar ± 20 mm. O valor utilizado é apresentado na Tabela 3 abaixo:

Tabela 3 - Abatimento do tronco de cone

Tipos de construção	Abatimento (mm)	
	Máximo*	Mínimo
Paredes de fundações armadas e sapatas	75	25
Sapatas não armadas, caixões e paredes da vedação	75	25
Vigas e paredes armadas	100	25
Pilares de edifício	100	25
Pavimentos e lajes	75	25
Concreto massa	50	25

* Pode ser aumentada em 25 mm com o uso de métodos de consolidação que não a vibração.

Fonte: ACI 211 (1991)

Com o slump adotado, é necessário encontrar a quantidade de água, que depende diretamente do diâmetro máximo característico do agregado graúdo. Os valores adotados foram sem ar incorporado, então, fez-se necessário utilizar o valor de ar aprisionado. O consumo de água e ar é apresentado na Tabela 4 abaixo:

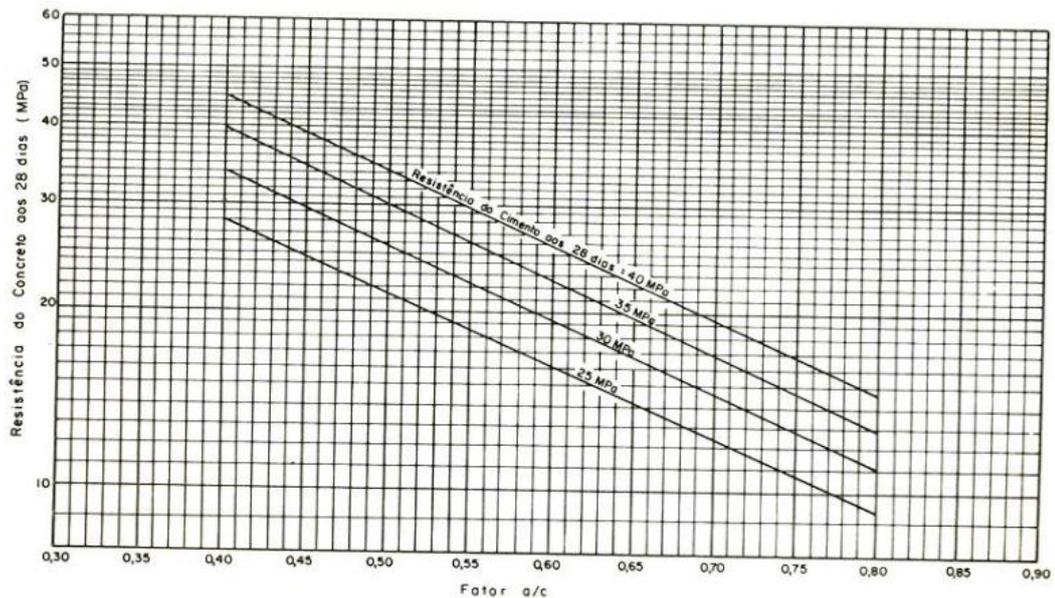
Tabela 4 – Consumo de água e ar

Abatimento	Água (L/m ³ de concreto para o ϕ máximo indicado do agregado)							
	9,5	12,5	19	25	37,5	50	75	150
Sem ar incorporado								
25-50	207	199	190	179	166	154	130	113
75-100	228	216	205	193	181	169	145	124
150-175	243	228	216	202	190	178	160	-
Ar aprisionado (%)	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3	0,2
Com ar incorporado								
25-50	181	175	168	160	150	142	122	107
75-100	202	193	184	175	165	157	133	119
150-175	216	205	197	184	174	166	154	-
Teor recomendável total de ar em função do grau de exposição								
Exposição fraca (%)	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
Exposição moderada (%)	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5	3,0
Exposição severa (%)	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0

Fonte: ACI 211 (1991)

Na sequência, foi definido o fator água/cimento da mistura, que possibilita encontrar a quantidade de cimento utilizada na dosagem. Esse valor é obtido de acordo com o ábaco, que relaciona a resistência do concreto aos 28 dias com as curvas de resistência do cimento, também aos 28 dias. Através da intersecção da reta horizontal com a inclinada, encontra-se o Fator A/C. O Ábaco utilizado na dosagem segue abaixo na Figura 4:

Figura 4 - Fator água/cimento



Fonte: Castro (2016)

A determinação do volume de agregado graúdo é o valor que relaciona o diâmetro máximo característico da brita com o módulo de finura da areia, de forma que haja o empacotamento dos grãos. O consumo de agregado graúdo é encontrado conforme Tabela 5 abaixo:

Tabela 5 – Consumo de agregado graúdo

ϕ máximo	Volume de agregado graúdo / unid. de volume do concreto									
	Módulo de finura da areia									
	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65
38	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,94	0,92	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,99	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81

Fonte: ACI 211 (1991)

A quantidade de agregado miúdo é determinada através da soma dos consumos dos demais materiais, subtraídos em 100%. Pode-se encontrar esse valor através da seguinte expressão:

$$V_a = 1 - V_c - V_b - V_{ag} - V_r$$

Onde:

Va = Volume de areia (m³)

Vc = Volume de cimento (m³)

Vb = Volume de brita (m³)

Vag = Volume de água (m³)

Var = Volume de ar aprisionado (m³)

Os valores adotados da dosagem serão apresentados no item 4.2.

3.6 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

A moldagem dos corpos de prova foi realizada em fôrmas metálicas cilíndricas, de dimensões 10x20 (cm), como descreve a ABNT NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. O recipiente foi limpo e untado com óleo para facilitar a desforma e limpeza após o uso. Em seguida, o material foi pesado de acordo com a massa indicada no traço referência e guardado em recipiente apropriado para ser despejado na betoneira. Para conferir o abatimento do tronco de cone, foi necessário o uso de um Cone de Abrams, uma placa metálica, uma haste para adensamento e régua para medir o abatimento do concreto através do ensaio *Slump-test*.

Com a betoneira limpa, os materiais foram adicionados na sequência apropriada. O agregado graúdo foi o primeiro insumo a ser despejado, juntamente com metade da água e misturados por 30 segundos. Em seguida, foi adicionado o cimento em sua totalidade e deixado misturar por 60 segundos. Ao final, o agregado miúdo foi lançado na betoneira com o restante da água e deixados misturar até que o material apresentasse a consistência desejada, por aproximadamente 8 minutos. Para os traços com substituição parcial do cimento, o resíduo de vidro moído foi adicionado à betoneira logo após o cimento.

A moldagem dos corpos de prova foi realizada em duas camadas como prescreve a NBR 5738:2015. Com a utilização de uma concha de seção U, o concreto é introduzido no molde até que se preencha metade do volume e em seguida, adensado manualmente com o auxílio de uma haste metálica realizando 12 golpes. A segunda camada deve ser preenchida com sobra, para que ao adensar, o volume em excesso complete os vazios até seu rasamento. O adensamento da última camada também foi realizado com 12 golpes. A base superior foi regularizada com a desempenadeira e os corpos de prova foram levados para a cura de 24 horas antes da desforma.

Figura 5 – Moldagem dos corpos de prova

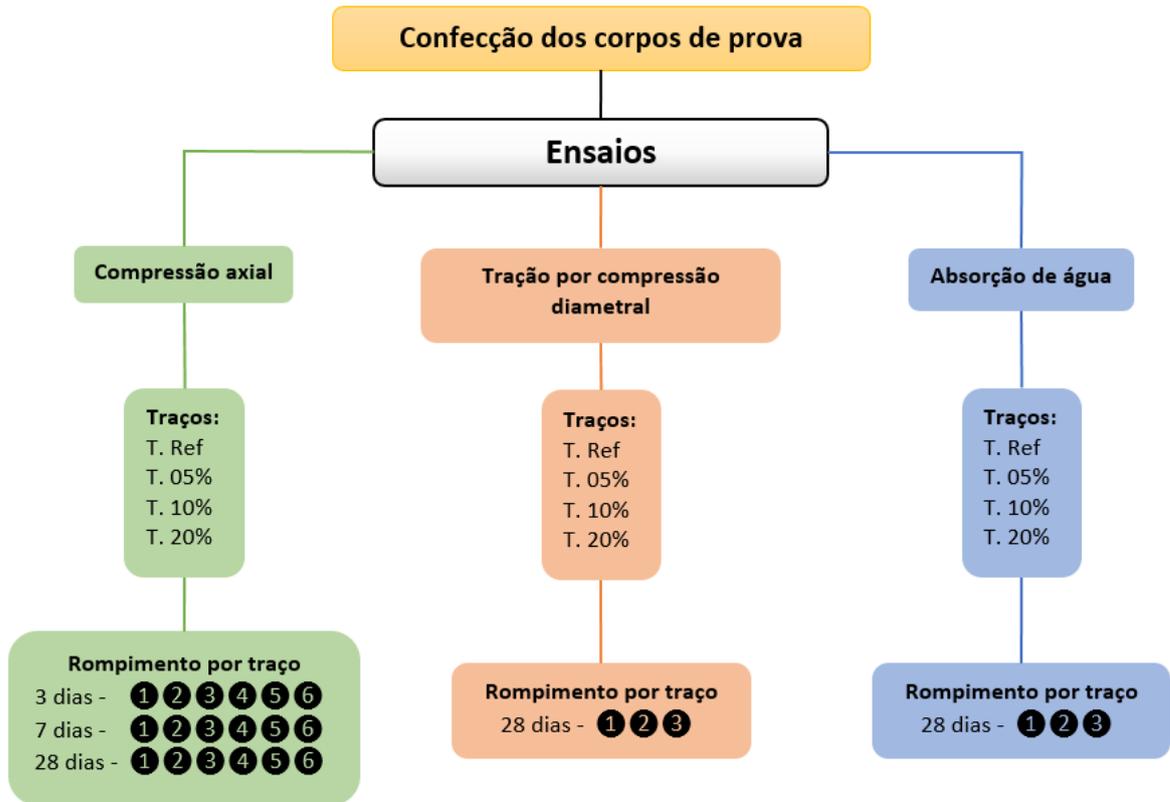


Fonte: Autor (2019)

Após as 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados e submersos na água na câmara úmida do Laboratório de Materiais e Estruturas do CEULP/Unbra, até os dias dos seus respectivos rompimentos (3, 7 e 28 dias).

A confecção dos corpos de prova foi definida por ensaio, traço e idade de rompimento. Foram dosados 4 traços: referência, com substituição de 5%, 10% e 20%. Para o ensaio de compressão axial, foram moldados para cada traço, 6 corpos de prova por idade. Para o ensaio de tração por compressão diametral, foram confeccionados 3 corpos de prova por traço para rompimento aos 28 dias. O ensaio de absorção também consiste em 3 corpos de prova por traço aos 28 dias. Portanto, foram produzidos 72 corpos de prova para ensaio de compressão axial, 12 para tração por compressão diametral e 12 para ensaio de absorção de água, produzidos 96 corpos de prova no total. Na Figura 6 abaixo é apresentado o fluxograma da confecção dos corpos de prova de acordo com cada ensaio e seus respectivos traços e idades:

Figura 6 – Fluxograma de quantidade de corpos de prova



Fonte: Autor (2019)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.1.1 Cimento

O cimento utilizado na confecção dos corpos de prova foi o CP II F- 40 da marca Goiás, que possui maior resistência inicial e final de acordo com o fabricante. Os ensaios realizados para o insumo estão descritos no item 3.4.1 deste trabalho. Na sequência, serão descritos os resultados obtidos para cada ensaio do cimento.

Massa específica

O resultado do ensaio de massa específica do cimento foi de 3009 Kg/m³. O valor também é confirmado nas especificações do fabricante. O teste foi executado conforme recomendações da ABNT NBR 23:2001 - Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica.

Módulo de finura

Conforme expresso na ABNT NBR 11579:1991 - Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200), o ensaio executado obteve resultado de módulo de finura do cimento de 2,12.

Ensaio de início e fim de pega

O resultado do ensaio de tempo de pega do cimento foi de 2 horas e 35 minutos e realizado de acordo com a ABNT NBR NM 65:2003 - Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. Os valores do ensaio estão apresentados na Tabela 6 abaixo:

Tabela 6 – Resultado de tempo de pega do cimento

NBR 65:2003 - Cimento Portland - Determinação do Tempo de Pega				
Água (ml)	Mistura pasta	Início de pega	Fim de pega	Tempo de pega
130	14:30	16:20	17:05	2h35min

Fonte: Autor (2019)

4.1.2 Agregado miúdo

Ensaio de Massa Específica

O ensaio de massa específica é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis. Para obter esse valor, é necessário seguir das recomendações e

procedimentos expresso na ABNT NBR NM 6508:1984. Os resultados do ensaio apresentam-se na Tabela 7 abaixo:

Tabela 7 - Massa específica agregado miúdo

MASSA ESPECÍFICA - ABNT NBR 6508:1984			
Picnômetro	#	1	2
Massa Material Seco	(g)	500	500
Volume de água	(cm ³)	200	200
Volume Areia + Água	(cm ³)	389	389
Massa específica	(g/cm ³)	2,65	2,65

Fonte: Autor (2019)

Dessa forma, a massa específica média do agregado miúdo é de 2650 kg/m³.

Ensaio de Massa Unitária

Quanto a massa unitária do agregado miúdo, foi obtido o Quadro 1 com os resultados, após fazer as pesagens da areia e comparar com o volume de uma padiola, seguindo a ABNT NBR NM 45:2006.

Quadro 1 - Massa unitária agregado miúdo

Amostra	Volume da padiola (m³)	Massa unitária (kg/m³)
P1	0,001	1515,33
P2	0,001	1482,00
P3	0,001	1536,00
Média	-	1511,11

Fonte: Autor (2019)

Ensaio de Granulometria

A norma utilizada para o procedimento do ensaio de granulometria é a ABNT NBR NM 248:2003. O ensaio foi realizado com duas (02) amostras de 500g, lavado e seco em estufa por 24 horas.

Através das porcentagens retidas em cada malha de peneira é possível extrair características da areia como: módulo de finura, diâmetro máximo característico e a curva granulométrica, que por sua vez, representa a porcentagem de ocorrência das dimensões das

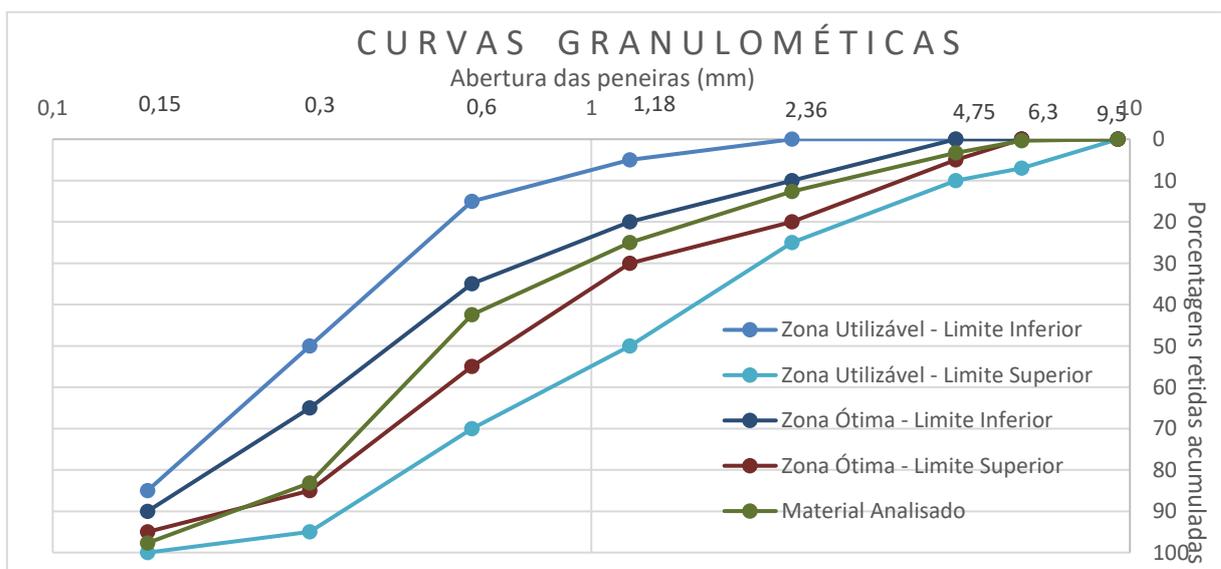
partículas do agregado. O Quadro 2 abaixo apresenta os resultados do ensaio e, em seguida, a Figura 7 com o gráfico da curva granulométrica.

Quadro 2 – Composição granulométrica agregado miúdo

Composição Granulométrica Agregado Miúdo – Areia						
Peneiras	Amostra A		Amostra B		Massa Retida Média (%)	Massa Retida acumulada (%)
	Massa Retida (g)	% Retida	Massa Retida (%)	% Retida		
9,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,3	1,70	0,34	2,10	0,42	0,38	0,38
4,8	14,00	2,79	15,50	3,09	2,94	3,32
2,4	53,30	10,64	40,00	7,98	9,31	12,63
1,2	67,20	13,41	57,00	11,38	12,40	25,03
0,6	88,60	17,68	85,80	17,13	17,41	42,44
0,3	202,60	40,44	205,30	40,98	40,71	83,14
0,15	64,60	12,89	81,00	16,17	14,53	97,67
Fundo	9,00	1,80	14,30	2,85	2,33	100,00
Total	501,00	100,00	501,00	100,00	100,00	-
Diâmetro Máximo	2,4		Módulo de Finura		2,64	

Fonte: Autor (2019)

Figura 7 – Curva granulométrica agregado miúdo



Fonte: Autor (2019)

O módulo de finura é uma grandeza adimensional obtido através da soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, dividido por 100. Esse valor representa uma dimensão média ponderada do agregado, e quanto maior este valor, maiores serão suas partículas.

De acordo com a literatura, o módulo de finura para areia média deve estar no intervalo de 2,20 a 2,90 na faixa da zona ótima. Na classificação de Bauer (2000), esses valores são conforme a Tabela 8 abaixo:

Tabela 8 - Classificação da areia quanto ao módulo de finura.

Grossa	De 2,71 a 4,02
Média	De 2,11 a 3,38
Fina	De 1,71 a 2,85
Muito fina	De 1,35 a 2,25

Fonte: Bauer (2000)

Portanto, a areia utilizada na dosagem e confecção do concreto desta pesquisa é classificada como areia média, com Módulo de finura de 2,64.

4.1.3. Agregado graúdo

Ensaio de Massa Específica

A determinação da massa específica da brita foi realizada conforme descrito na ABNT NBR NM 53:2009 e os resultados seguem na Tabela 9 abaixo:

Tabela 9 – Massa específica agregado graúdo

MASSA ESPECÍFICA AGREGADO GRAÚDO			
Picnômetro	#	1	2
Massa Brita Seca	(g)	250	250
Massa picnômetro com água	(g)	1202,20	1202,20
Massa Brita+ Água	(g)	1357,20	1357,20
Massa específica	(g/cm ³)	2,63	2,63

Fonte: Autor (2019)

Ensaio de Massa Unitária

O procedimento para obtenção da massa unitária do agregado graúdo foi realizado semelhante ao da areia. Conforme as recomendações da ABNT NBR NM 45:2006, os resultados do ensaio de massa unitária seguem no Quadro 3 abaixo:

Quadro 3 – Massa unitária agregado graúdo

Amostra	Volume da padiola (m³)	Massa unitária (kg/m³)
P1	0,001	1412,00
P2	0,001	1390,00
P3	0,001	1382,00
Média	-	1394,67

Fonte: Autor (2019)

Ensaio de Granulometria

O agregado graúdo utilizado para a realização do ensaio foi a Brita 01, com duas amostras de 5000g, lavado e seco em estufa. O procedimento do ensaio é semelhante ao do agregado miúdo, porém, a série de peneiras para a brita possui maior abertura, como exigido pela ABNT NBR NM 248:2003.

Segue abaixo o Quadro 4 com as porcentagens retidas em cada malha de peneiras e a partir disso, a determinação do diâmetro máximo característico e o módulo de finura do agregado. Ainda segue abaixo a Figura 8 com a curva granulométrica do material ensaiado em comparação com as zonas ótimas e utilizáveis, nos limites superiores e inferiores.

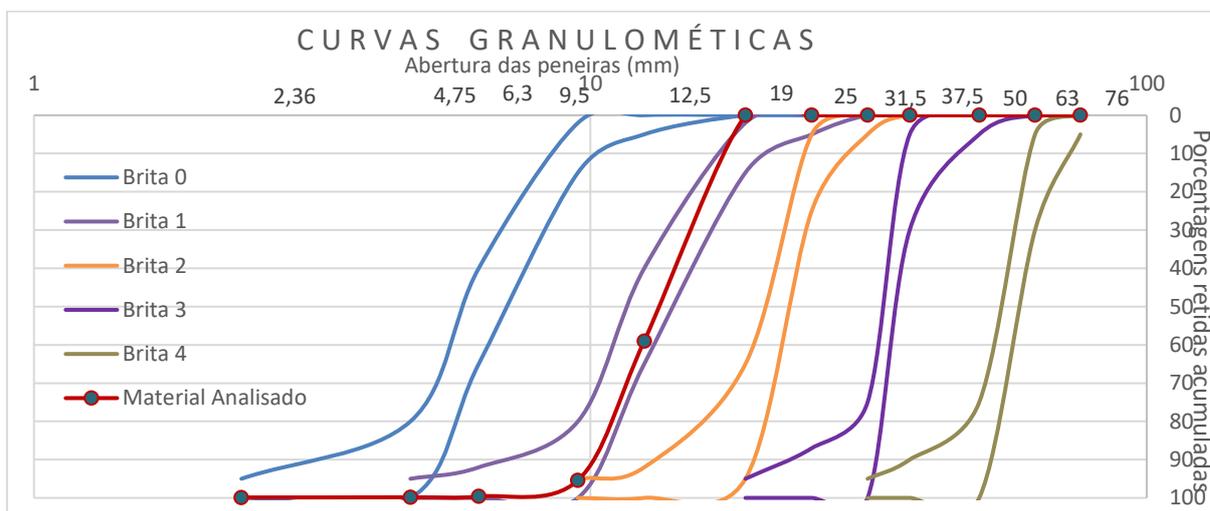
Quadro 4 - Composição granulométrica agregado graúdo

Composição Granulométrica Agregado Graúdo - Brita						
Peneiras	Amostra A		Amostra B		Massa Retida Média (%)	Massa Retida acumulada (%)
	Massa Retida (g)	% Retida	Massa Retida (g)	% Retida		
19	0	0	0	0	0	0
12,5	2956,1	58,98	2944,8	58,8	58,89	58,89
9,5	1786,9	35,65	1864,4	37,23	36,44	95,33
6,3	243,7	4,86	185,3	3,7	4,28	99,61
4,8	13,5	0,27	7,7	0,15	0,21	99,83
2,4	3,6	0,07	1,6	0,03	0,05	99,88
1,2	0,7	0,01	0,4	0,01	0,01	99,89
0,6	0,5	0,01	0,4	0,01	0,01	99,9
0,3	1,2	0,02	0,6	0,01	0,02	99,92
0,15	1,7	0,03	0,9	0,02	0,03	99,94

Fundo	3,8	0,08	2	0,04	0,06	100
Total	5011,7	100	5008,1	100	100	
Diâmetro Máximo	19 mm	Módulo de Finura				6,95

Fonte: Autor (2019)

Figura 8 – Curva Granulométrica agregado graúdo



Fonte: Autor (2019)

4.1.4. Agregado Vítreo

Ensaio de Massa Específica

A caracterização do resíduo de vidro moído foi realizada por meio do ensaio de massa específica, de acordo com as recomendações da ABNT NBR 6508:1984 - Determinação da massa específica. O resultado do ensaio foi utilizado para dosar os traços em massa com substituição parcial do cimento. O ensaio de granulometria não se fez necessário para o agregado vítreo, uma vez que todo o material utilizado na pesquisa passou por peneiramento na malha 75 μ m. Na Tabela 10 a seguir são apresentados os resultados do ensaio para o agregado vítreo:

Tabela 10 – Massa específica agregado vítreo

MASSA ESPECÍFICA - RESÍDUO VÍTREO			
Picnômetro	#	1	2
Massa Material Seco	(g)	50,00	50,00
Picnômetro cheio de água	(g)	627,20	627,20
Massa Vidro + Água	(g)	657,30	657,30
Massa específica	(g/cm ³)	2,51	2,51

Fonte: Autor (2019)

Portanto, a massa específica do vidro moído é de 2510 kg/m³.

Abaixo será apresentado o quadro resumo com os resultados obtidos nos ensaios de caracterização dos materiais. Estes valores serão utilizados na dosagem do concreto.

Quadro 5 – Resumo de resultados de ensaios de caracterização dos materiais

Insumo	Massa específica	Massa unitária	Módulo de finura	DMC
Cimento	3009 kg/m ³	-	2,12	-
Agregado miúdo	2630 kg/m ³	1511,11 kg/m ³	2,64	2,4 mm
Agregado graúdo	2630 kg/m ³	1394,67 kg/m ³	6,95	19 mm
Agregado vítreo	2510 kg/m ³	-	-	-

Fonte: Autor (2019)

4.2 DOSAGEM

O cálculo da dosagem foi realizado conforme explicado no item 3.5. A Tabela 11 a seguir apresenta o resumo dos valores utilizados para realizar a dosagem:

Tabela 11 – Dados da dosagem do concreto

Resistência do concreto	Fck	25 MPa
	Desvio Padrão (Sd)	4 MPa
	Fcj 28	31,6 MPa
Brita	DMC	19 mm
	Massa específica	2630 kg/m ³
	Massa unitária	1394,67 kg/m ³
Areia	Módulo de finura	2,64
	Massa específica	2630 kg/m ³
	Massa unitária	1511,11 kg/m ³
Cimento	Massa específica	3150 kg/m ³

Fonte: Autor (2019)

A partir dos valores de caracterização dos materiais, foram obtidos os parâmetros de quantidade. A Tabela 12 abaixo apresenta os valores encontrados de acordo com as análises expressas também no item 3.5:

Tabela 12 – Resultados da dosagem do concreto

Relação A/C	0,52
Consumo de água	205 l
Ar aprisionado	2,5 %
Consumo de brita	0,341 m ³
Consumo de areia	0,329 m ³

Fonte: Autor (2019)

Com a relação A/C e o consumo de água, foi possível determinar o consumo de cimento. O consumo de brita e areia foi convertido através das massas unitárias e específicas para encontrar o valor final. Os traços referência em massa e em volume são apresentados, respectivamente, conforme as Tabelas 13 e 14 abaixo:

Tabela 13 – Traço em massa

Cimento	Areia	Brita	A/C
1	2,196	2,273	0,52

Fonte: Autor (2019)

Tabela 14 - Traço em volume

Cimento	Areia	Brita	A/C
50	1,464	1,623	0,52

Fonte: Autor (2019)

Com o traço referência calculado, foram determinadas as quantidades de material. As quantidades dos traços de 5%, 10% e 20% foram obtidos através da subtração dos teores na quantidade de cimento e a diferença foi composta pelo agregado vítreo. A Tabela 15 abaixo demonstra a quantidade em massa de cada insumo por traço:

Tabela 15 - Quantidade de material por traço

Traço	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Vidro (kg)	Água (kg)
Referência	15,23	33,45	34,62	-	7,92
T. 05%	14,47	33,45	34,62	0,762	7,92
T. 10%	13,71	33,45	34,62	1,52	7,92
T. 20%	12,19	33,45	34,62	3,05	7,92

Fonte: Autor (2019)

4.3 ENSAIO DE SLUMP TEST

O abatimento adotado foi de 100 ± 20 mm conforme a Tabela 2 - Abatimento do tronco de cone apresentada no item 3.5 e executado como descrito no item 3.6 de confecção dos corpos de prova. Os resultados seguem na Tabela 16 abaixo:

Tabela 16 – Ensaio de Abatimento de tronco de cone

T. Referência	T. 05%	T. 10%	T. 20%
80 mm	90mm	100 mm	100 mm

Fonte: Autor (2019)

É possível observar que enquanto maior o teor de substituição de resíduo de vidro, o abatimento aumenta, de forma que o concreto se torna mais fluido. A água utilizada na dosagem se manteve constante em todos os traços. Os resultados do ensaio de slump foram satisfatórios para todos os traços, pois o concreto apresentou abatimento dentro do parâmetro pré-estabelecido na dosagem. A Figura 9 abaixo representa a execução do ensaio:

Figura 9 – Ensaio de Abatimento de tronco de cone



Fonte: Autor (2019)

4.4 ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL

A resistência à compressão do concreto é determinada conforme a NBR 5739:2007, que prescreve um método de ensaio para corpos de prova cilíndricos de concreto. O ensaio consiste em posicionar o corpo de prova na prensa, que aplica a carga sobre sua superfície até que haja queda de força, indicando sua ruptura. O resultado do ensaio é obtido pela razão da carga de ruptura e a área da seção transversal do testemunho.

A prensa utilizada foi a EMIC PC-200, presente no Laboratório de materiais e estruturas do CEULP/Ulbra. O ensaio de compressão axial foi realizado conforme disposto pela ABNT

NBR 5739: 2007 – Concreto - Ensaio de resistência a compressão de corpos de prova cilíndricos. Segue abaixo a Figura 10 com o corpo de prova submetido ao ensaio de compressão axial:

Figura 10 – Ensaio de compressão axial



Fonte: Autor (2019)

Na ausência do ensaio de compressão axial, a NBR 6118/2014 apresenta equações para obtenção de valores estimados da resistência com as porcentagens que cada idade deve atingir de acordo com o tipo de cimento. Para o CP II, aos 3 dias o concreto deve alcançar cerca de 60% da resistência final, aos 7 dias esse valor deve ser aproximadamente 78%, aos 14 dias, 90% e aos 28 dias 100% da resistência de dosagem. A escolha das idades para a realização do ensaio foi baseada nesses parâmetros apresentados pela norma, uma vez que a resistência aos 14 dias e aos 28 dias são próximas, foram adotadas para o teste apenas as idades de 3, 7 e 28 dias.

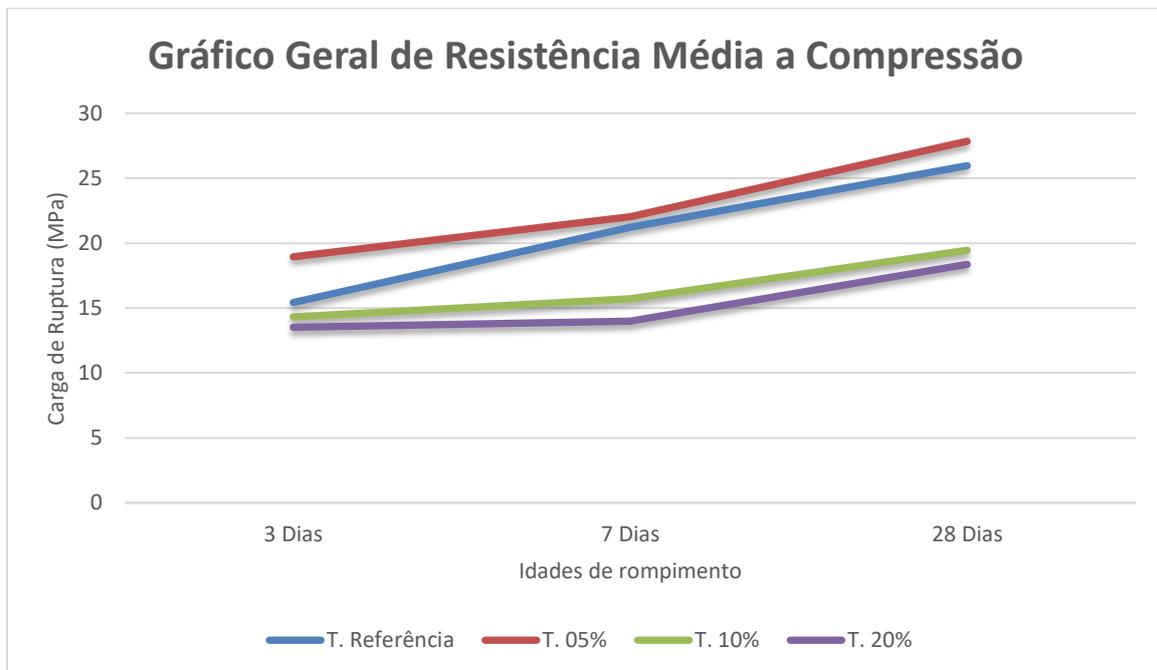
Para realização desse teste foram utilizados 6 corpos de prova para cada tratamento, sendo 24 corpos de prova por idade, para os traços referência, substituições de 05%, 10% e 20%. Foram submetidos ao ensaio de compressão 72 corpos de prova. A média dos resultados do teste para verificação da resistência a compressão estão apresentados no Quadro 6 e na Figura 11 abaixo:

Quadro 6 - Quadro Geral de Resistência Média a Compressão (MPa)

Traço	Idades		
	3 dias	7 dias	28 dias
T. Referência	15,43	21,22	25,97
T. 05%	18,95	22,03	27,85
T. 10%	14,32	15,72	19,45
T. 20%	13,52	14,00	18,37

Fonte: Autor (2019)

Figura 11 - Resistência Média a Compressão



Fonte: Autor (2019)

Nos resultados é possível notar que a resistência a compressão axial foi crescente entre as idades. O traço referência teve comportamento semelhante ao de uma reta, com resistência crescente quase uniforme entre as idades. Os traços com substituição de cimento por vidro moído tiveram maior aumento de resistência entre as idades de 7 e 28 dias.

O traço com substituição de 05% do cimento por vidro apresentou características de aumento de resistência quando comparado aos demais. Os traços de 05% e 10% tem valores abaixo do traço referência.

Para comparar as médias entre si, foi realizada a análise estatística através do teste de Tukey. Os resultados estão apresentados na Tabela 17 abaixo:

Tabela 17 - Análise de variância do ensaio de compressão axial para diferentes doses do pó de vidro no cimento

		3 dias	7 dias	28 dias
p>F	Dose (D)	0,0001*	0,0001*	0,0001*
	CV %	4,96	3,07	11,05
	Dose			
	0	15,43 b	21,21 a	25,96 a
	5	18,95 a	22,03 a	27,85 a
	10	14,31 bc	15,71 b	19,45 b
	20	13,51 c	14,00 c	18,36 b

ns - não significativo; * significativo a 5% respectivamente pelo Teste F da análise de variância. Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Fonte: Autor (2019)

Aos 3 dias, o traço com substituição de 10% (dose 10), apresentou valores estatisticamente iguais ao traço referência (dose 0), como também para o traço com substituição de 20% (dose 20), logo, as doses 0, 10 e 20 são estatisticamente iguais entre si. A dose 5 é a única que se difere das demais e apresenta maior resistência a compressão axial. Portanto, no terceiro dia de cura, o traço com substituição de 5% apresentou resultado superior quando comparado aos outros traços, inclusive a referência.

As doses 10 e 20 apresentaram resultados que se diferem entre si e quando comparados ao traço referência, também são estatisticamente diferentes. A dose 5 apresentou valores iguais a referência, porém, ainda possui resistência a compressão superior a dose 0, ou seja, o traço com substituição de 5% aos 7 dias é o de melhor desempenho.

No último rompimento, as doses 10% e 20% tornaram-se iguais entre si, porém, não se assemelham ao traço referência e apresentaram valores inferiores aos 25MPa da resistência a compressão. O traço referência atingiu a resistência a compressão desejada com resultado 3,84% superior ao dosado, enquanto o traço com substituição de 5% apresentou resultado 11,40% superior a resistência adotada de 25MPa.

De acordo com Guignone (2017) a utilização de resíduo de vidro moído compensa a retirada do cimento devido as reações pozolânicas. A substituição mantém a resistência do concreto com a finalidade de melhorar a homogeneização tanto da matriz como da zona de transição, de forma a melhorar as características do concreto quando submetido a compressão.

Portanto, o ensaio de resistência a compressão axial apresentou resultados satisfatórios para o tratamento 0 e 5. O traço com melhor desempenho para esse teste foi o T.05%, que aos 28 dias superou a referência e apresentou maior resistência a compressão. Isso indica que a substituição de 05% do cimento por agregado vítreo é viável. Além das vantagens técnicas mostradas pelo ensaio, a substituição por resíduo de vidro traz benefícios ambientais e econômicos. Ao utilizar 5% de pó de vidro no concreto, o resíduo deixa de ocupar lixões e reduz a utilização de recursos naturais na produção do cimento.

4.5 TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Através desse ensaio é possível medir a resistência a tração simples do concreto. O rompimento a tração ocorre pelo princípio de que um cilindro carregado diametralmente, recebe tensões de tração e de compressão, porém, como a resistência à tração do concreto é numericamente menor que a de compressão, o rompimento acontece por tração. (ABNT NBR 7222:2010).

Para a realização correta do ensaio, devem ser utilizados dois elementos para distribuir o carregamento ao longo das linhas de contato com a base do aparelho de ensaio. A execução do ensaio de resistência a compressão diametral segue as especificações da NBR 7222:2010.

Figura 12 – Ensaio de tração por compressão diametral



Fonte: Autor (2019)

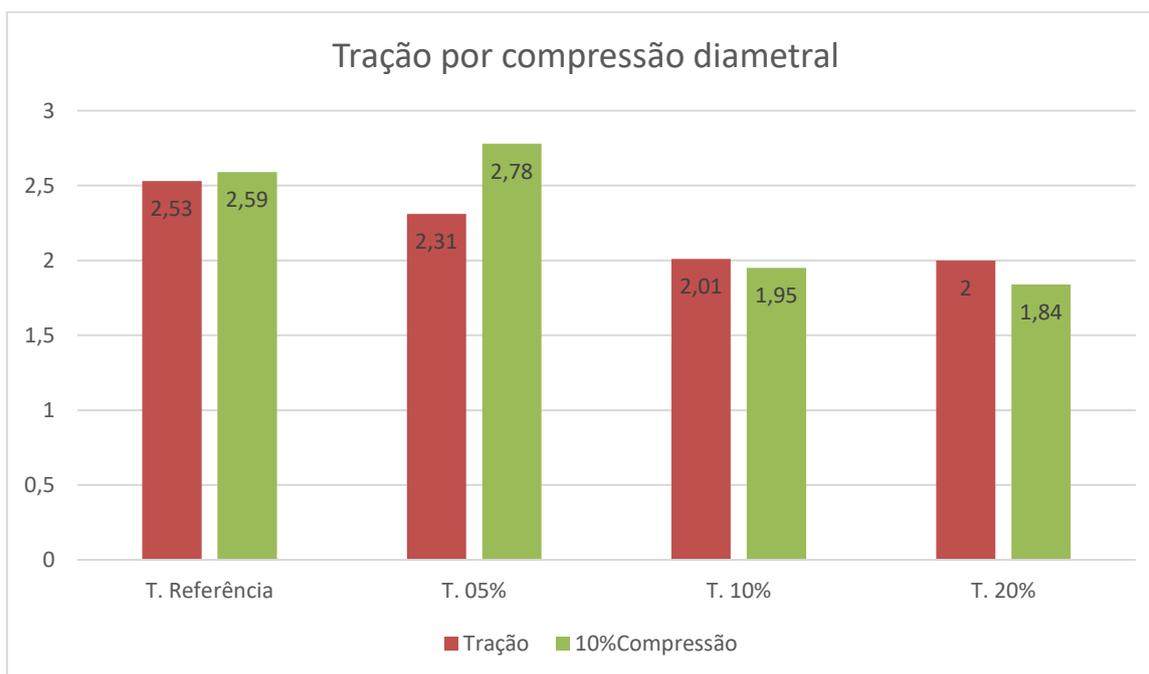
Foram utilizados 3 corpos de prova para cada traço e os rompimentos ocorreram aos 28 dias. Os testemunhos permaneceram na câmara úmida até o dia do rompimento. Os resultados do ensaio seguem na Tabela 18 e Figura 13 abaixo:

Tabela 18 – Resultados tração por compressão diametral

Traço	Resultado Tração (MPa)	Parâmetro 10% Compressão (MPa)
T. Referência	2,53	2,59
T. 05%	2,31	2,78
T. 10%	2,01	1,95
T. 20%	2,00	1,84

Fonte: Autor (2019)

Figura 13 – Gráfico de tração por compressão diametral



Fonte: Autor (2019)

Segundo Raphael (1984), para a tração por compressão diametral corresponde, aproximadamente, 10% da resistência a compressão axial do concreto (apud Farias *et al*, 2003). O traço referência e o traço com substituição de 05% encontram-se abaixo dos 10% recomendados. Os resultados referentes ao traço de 10% e 20% estão dentro dos parâmetros.

Através do teste de Tukey, foram obtidos os resultados da análise estatística, considerando um nível de significância de 5%. Na Tabela 19 abaixo é apresentado os resultados da análise:

Tabela 19 - Análise de variância do ensaio de tração aos 28 dias para diferentes doses do pó de vidro no cimento

Idades	28 dias	
p>F	Dose (D)	0,0004*
	CV %	8,38
	Dose	
	0 (Referência)	2,53 a
	5	2,31 ab
	10	2,01 b
	20	2,00 b

Fonte: Autor (2019)

É visível nos resultados que as médias dos tratamentos referência e com substituição de 05%, são estatisticamente iguais, ou seja, apresentam a mesma capacidade de resistência a tração, porém, não atingiram o parâmetro de 10% da resistência a compressão. As doses 10 e 20 são iguais estatisticamente e para o ensaio de tração, apresentaram valores numericamente satisfatórios. Portanto, para o ensaio de tração por compressão diametral, os traços referência e 5% não atenderam os limites recomendados.

4.6 ANÁLISE DA DETERMINAÇÃO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

O ensaio de absorção e índice de vazios foi realizado de acordo com as especificações da NBR 9778:2005 - Argamassas e Concreto Endurecidos Determinação da absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica.

Foram moldados três corpos de prova para cada traço, com dimensões 100x200mm. Foram submetidos ao ensaio 12 corpos de prova no total. O ensaio foi realizado aos 28 dias e os corpos de prova permaneceram em câmara úmida até a realização do procedimento. Primeiro foi realizada a pesagem saturada e logo em seguida os testemunhos foram direcionados para a estufa.

Para a realização do teste de absorção foi utilizado a máquina de secagem (estufa) FANEM ORION 515 – Modelo A-HT. Na qual de acordo com a norma ABNT NBR 9781:2013 a temperatura deve ser controlada entre 105 a 115 °C.

Figura 14 – Corpos de prova na estufa



Fonte: Autor (2019)

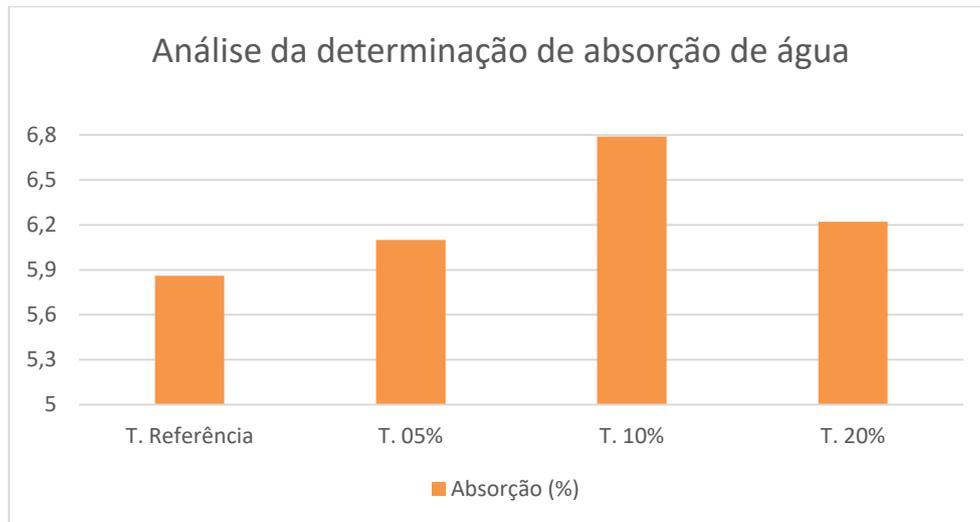
Os resultados médios para cada traço submetido ao ensaio de absorção de água seguem apresentados na Tabela 20 e a Figura 15 abaixo:

Tabela 20 – Determinação da absorção de água

Traço	Massa saturada (g)	Massa seca (g)	Absorção (%)
T. Referência	3673,33	3470,00	5,86
T. 05%	3604,87	3397,70	6,10
T. 10%	3589,03	3360,97	6,79
T. 20%	3651,10	3437,33	6,22

Fonte: Autor (2019)

Figura 15 – Gráfico de análise da determinação de absorção de água



Fonte: Autor (2019)

Através do gráfico é possível observar que o menor valor de absorção foi o traço referência, apresentando menor porosidade no concreto. O traço com substituição de 10% apresentou maior absorção de água e por consequência, maior porosidade. Ainda é notório que, os traços referência e com substituição de 05% apresentaram menor porosidade e maior resistência a compressão, enquanto os traços com substituição de 10% e 20% são mais porosos e menos resistentes a compressão. Portanto, a quantidade de poros do concreto tem influência direta com a resistência do concreto.

A Tabela 21 a seguir apresenta os valores obtidos através da análise estatística dos resultados do ensaio de absorção de água para os traços em estudo:

Tabela 21 - Análise de variância do ensaio de absorção de água para diferentes doses de substituição do cimento Portland pelo agregado vítreo

p>F	Dose (D)	0,254 ns
	CV %	8,23
	Dose	
	0	5,86 a
	5	6,09 a
	10	6,78 a
	20	6,22 a

ns - não significativo; * significativo a 5% respectivamente pelo Teste F da análise de variância. Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Fonte: Autor (2019)

Quando aplicado o teste de Tukey, os resultados apresentaram comportamentos estatisticamente iguais. Isso indica que todos os traços apresentam a mesma capacidade de absorção de água. Mesmo sendo estatisticamente iguais, os traços com melhor desempenho quanto a absorção de água, são os traços referência e com substituição de 5%, pois apresentam menor quantidade de poros, e por consequência, maior resistência a compressão e tração.

5 CONCLUSÃO

A utilização do pó de vidro no concreto tem por finalidade destinar o resíduo de vidro que ocupa os lixões e aterros sanitários para o uso na construção civil. Devido a isso, o presente estudo obteve resultados da substituição parcial do cimento Portland pelo resíduo de vidro moído passante na peneira 75 μ m, para verificar a viabilidade da utilização do material nas propriedades do concreto.

Os teores estudados na pesquisa foram de 5%, 10% e 20% de substituição do cimento Portland por pó de vidro e a análise da resistência à compressão axial apresentou resultados satisfatórios para os traços referência e T.05%. Ambos atingiram a resistência à compressão axial de dosagem de 25MPa em 28 dias, porém, a substituição de 5% apresentou melhor desempenho, uma vez que o resultado de resistência foi superior aos demais.

Os resultados obtidos no teste de tração por compressão diametral os traços T.10% e T.20% encontram-se dentro do parâmetro de 10% dos resultados de compressão axial, porém, apresentam baixa resistência à tração. O traço referência e T.05%, não atingiram a porcentagem recomendada, porém, foram os traços de maior resistência à tração. Através do ensaio de absorção é notório que as doses mais resistentes à compressão e tração foram também as que apresentaram menor porcentagem de absorção de água.

Em virtude do que foi mencionado, o traço que apresentou melhores propriedades do concreto no estado endurecido foi o traço com substituição de 5%, sendo esse o recomendado para utilização comercial. Esse acréscimo de resistência à compressão pode ser causado pelo teor de vidro ser baixo e não impactar de forma significativa as propriedades do cimento, uma vez que o pó de vidro pode obter também as propriedades de fíler.

Portanto, o reaproveitamento desse resíduo é viável para a construção civil, uma vez que a sua utilização em concretos convencionais melhora as propriedades do concreto quando substituído em pequenas dosagens. Como apontado no estudo, a dose de 5% ocasionou ganho de resistência à compressão quando comparado ao concreto dosado com o traço referência. O uso do pó de vidro derivado dos rejeitos de garrafa de vidro âmbar como substituto do cimento, tende a reduzir o custo do concreto, pois o cimento consiste no insumo de maior valor econômico da composição. Além dos benefícios econômicos, o reaproveitamento das garrafas de vidro promove a redução de matéria prima utilizada na fabricação do cimento e evita que o resíduo seja descartado em locais inapropriados.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Testes com teores intermediários de substituição entre 5% e 10%;
- Realizar ensaios de reatividade pozolânica para investigar de forma precisa as razões que levaram a substituição ao ganho de resistência;
- Realizar o estudo econômico para verificar o custo de moagem do vidro em grande escala para confecção de edificações.

7 REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto procedimento para moldagem e cura de corpos de provas: Rio de Janeiro, Dez. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739** Concreto- ensaios de compressão de corpos de provas cilíndricos: Rio de Janeiro: julho, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - especificações. 3 ed. Rio de Janeiro, 2009. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica: Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Argamassa e Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de- prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (**NBR 7223**:1998). Determinação da consistência pelo Tronco de Cone SLUMP TEST. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**:2015 Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. ASTM C618-78 Standard Specification for Fly Ash And Raw Or Calcined Natural.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579**: CIMENTO PORTLAND – Determinação da finura por meio da peneira 75 micrometros. Rio de Janeiro 1991.

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

Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP **Guia Básico De Utilização Do Cimento Portland**. 7º Edição São Paulo, 2002. 28p.

AZEVEDO, Felipe; MARTINS, Romulo; PARANAIBA, Nathalia; OLIVO, Jaqueline.

AGREGADOS MIÚDOS: A importância dos agregados miúdos no controle tecnológico do concreto. Revista Conexão Eletrônica. Três Lagoas. v.14. p. 2079-2086. 2017.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/vigilancia-agropecuaria/ivegetal/bebidas-arquivos/lei-no-12-305-de-02-de-agosto-de-2010.pdf/view>>. Acesso em: 29 set. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução 307, de 05 de julho de 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Planos de Gestão de Resíduos Sólidos: Manual de Orientação. Brasília: MMA, 2012.

BAUER, Falcão. **Materiais de construção**. 5. ed. v.1. Uberlândia, MG. LTC. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAhSswAG/materiais-construcao-falcao-bauer-vol-1-5-ed-p-25>>. Acesso em 09 set. 2019.

GUIGNONE, Guilherme Cunha. **Desempenho de concretos com a utilização de resíduos da lapidação do vidro como substitutos parciais ao cimento.** Universidade Federal do Espírito Santo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Vitória – ES, 2017.

FARIAS, L.A *et al.* **Ensaio de Tração Direta em Corpos de Prova de Concreto.** Laboratório de FURNAS Centrais Elétricas S.A. Rio de Janeiro, 2003.

AKERMAN, M. **Natureza, estrutura e propriedades do vidro.** São Paulo: Centro Técnico de Elaboração do vidro (CETEV), 2000. 37p. Apostilha. Disponível em: <<http://www.ceap.br/material/MAT10052011151508.pdf>>. Acesso em: 04 de ago. 2019.

CEMPRE. Vidro. **CEMPRE.** 2015. Disponível em: <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/6/vidro>>. Acesso em: 06 ago. 2019.

ACREPOM. **O que é reciclagem?** ACREPOM. 2009. Disponível em: <http://acrepom.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=48&Itemid=55>. Acesso em: 05 set. 2018.

DEGANI, Clarice M.; CARDOSO, Francisco F. **A sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de edifícios: a importância da etapa de projeto arquitetônico.** In : NUTAU 2002 - Sustentabilidade, Arquitetura e Desenho Urbano. Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

LEMOS, Ellen. **Diagnóstico da Cadeia de Reciclagem de Embalagem de Vidro em Santa Catarina** (Trabalho de Conclusão de Curso) Universidade Federal de Santa Catarina, FLORIANÓPOLIS – SC, 2012.

CESAR, Ana Paula; PAULA, Débora Almeida; KROM, Valdevino. **Importância Da Reciclagem Do Vidro.** Universidade do Vale do Paraíba, 2004.

BUSCH, Pâmela de Faria. **Efeito Da Incorporação De Resíduo De Processamento De Lapidação De Vidro Sodo-Cálcicos Nas Propriedades Físicas E Mecânicas De Cerâmica Vermelha.** Campos Dos Goytacazes – Rio de Janeiro, 2016.

NETO, Luciano Moreira De Sousa. **Utilização de Resíduo de vidro moído como adição mineral para a produção de concreto autoadensável e de alto desempenho.** Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Tecnologia Programa de Pós-Graduação Em Engenharia Civil. Manaus – Amazonas, 2014.

JOHN, Vanderley M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2000.

PAIVA, Otávio Augusto. **Resíduo Industrial de vidro moído em argamassa de Cimento Portland.** Universidade Federal do Amazonas Faculdade de Tecnologia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Manaus – Amazonas, 2009.

BONATO, Luciano Cezar. **Reação Alkali-Agregado, principais causas e estudo de reatividade potencial.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Construção Civil, curso de Engenharia Civil. Campo Mourão – Paraná, 2015.

PERES, João Geraldo Molinari *et al.* **Estudo da viabilidade da adição de resíduos de vidro moído na produção de argamassa cimentícia.** Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal, Espírito Santo do Pinhal – São Paulo, 2012.

COUTO, José Antônio Santos *et al.* **O Concreto como Material de Construção.** Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas. Sergipe, 2013.

Azevedo, Felipe Fernandes de *et al.* **AGREGADOS MIÚDOS: A Importância dos Agregados Miúdos no Controle Tecnológico do Concreto.** Rev. Conexão Eletrônica – Três Lagoas, MS - Volume 14 – Número 1 – Ano 2017. Disponível em: <<http://revistaconexao.aems.edu.br/wp-content/plugins/download-attachments/includes/download.php?id=1584> > Acesso em: 11 Set 2019.

MARTINS, Paulo Benjamim Morais. **Influência da Granulometria Agregado Miúdo na Trabalhabilidade do Concreto.** Universidade Estadual de Feira de Santana. Departamento de Tecnologia Graduação em Engenharia Civil. Feira de Santana – Bahia, 2008

MIZUMOTO, Camilo. **Investigação da Reação Álcali-Agregado (RAA) em Testemunhos de Concreto e Agregados Constituintes**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Ilha Solteira – São Paulo, 2009.

ANTÔNIO, Aline Pignaton. **Potencialidades do aproveitamento do resíduo de estação de tratamento de efluentes do processo de lapidação do vidro sodo – cálcico na produção de concretos**. Universidade Federal do Espírito Santo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Vitória – ES, 2012.

Instituto Brasileiro Do Concreto – IBRACON. **Ecoeficiência do concreto e das estruturas de concreto**. 2015. Revista Eletrônica Edição 77.

Instituto Brasileiro Do Concreto – IBRACON. **Concreto: material construtivo mais consumido no mundo**. 2009. Revista Eletrônica Edição 53.

Sindicato Nacional da Indústria do Cimento – SNIC. **Características do cimento**. Disponível em: < <http://snic.org.br/cimento.php> > Acesso em: 18 Set 2019.

Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. Cadastro Nacional de Produtores de Brita /Coord. Geral Wagner Fernandes Pinheiro [et. al]; Equipe Técnica por Júlio Recuero et. al – Brasília: DNPM, 2018. 82 p.: il.

FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45, 2000, São Carlos, SP. Anais... São Carlos: UFSCar, p. 255- 258.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 13ed. Piracicaba - SP. 1990. 468p.

