

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

CAMPUS DO SERTÃO

ENGENHARIA CIVIL

JAMES MONTEIRO DIAS

**Análise da Influência de Resíduos de Vidro nas Propriedades Mecânicas do
Concreto**

Delmiro Gouveia

2019

JAMES MONTEIRO DIAS

**Análise da Influência de Resíduos de Vidro nas Propriedades Mecânicas do
Concreto**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. MSc. Rogério de Jesus Santos.

Delmiro Gouveia

2019

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza – CRB-4/2209

D541a Dias, James Monteiro

Análise da influência de resíduos de vidros nas propriedades mecânicas do concreto / James Monteiro Dias. – 2019.

78 f. : il.

Orientação: Prof. Me. Rogério de Jesus Santos.
Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2019.

1. Engenharia civil. 2. Reaproveitamento de materias. 3. Tecnologia dos materiais. 4. Concreto. 5. Vidro. 6. Pó de vidro. I. Título.

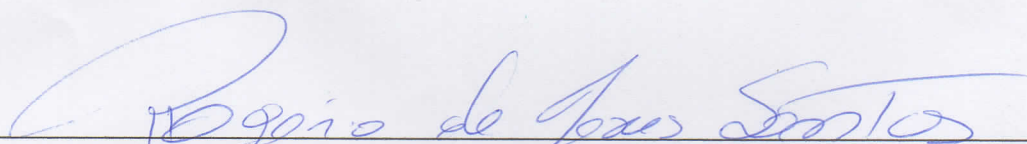
CDU: 691.32

Folha de Aprovação

JAMES MONTEIRO DIAS

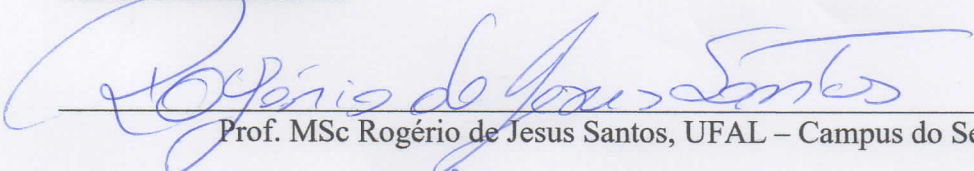
Análise da Influência de Resíduos de Vidro nas Propriedades Mecânicas do Concreto

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao corpo docente do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão e aprovado em 11 de abril de 2019.

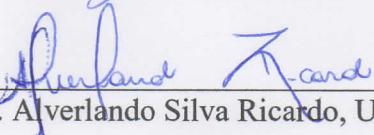


Prof. MSc Rogério de Jesus Santos, UFAL – Campus do Sertão (Orientador)


Banca Examinadora:



Prof. MSc Rogério de Jesus Santos, UFAL – Campus do Sertão (Orientador)



Prof. MSc. Alverlando Silva Ricardo, UFAL – Campus do Sertão (Avaliador)



Prof. MSc. Vinicius Costa Correia, UFAL – Campus do Sertão (Avaliador)

AGRADECIMENTOS

Na estrada percorrida nos últimos cinco anos algumas pessoas foram fundamentais, cumprindo papéis que auxiliaram nos caminhos percorridos, me ajudando a contornar certas sinuosidades encontradas nessa estrada.

Diante disso, venho a agradecer:

Aos meus amigos Rafael Carvalho e Damazio Alencar, por todas aventuras, decepções, momentos de descontração e principalmente pela boa amizade construída, que nos proporcionou crescer apoiando um ao outro, superando todos os desafios encontrados.

As minhas fofinhas, Claudenise Alves e Rayanne Karlla, por todas as incontáveis formas de ajuda prestadas, discernimento, carinho, parceria e amizade.

Ao meu amigo Lucas Araújo, por todo suporte teórico e incansável disponibilidade, sempre tirando minhas dúvidas e contribuindo com meu processo de aprendizagem.

Aos meus amigos Arthur Azevedo e Cecilia Moreira, pela convivência, boas conversas e principalmente por terem sido importantíssimos em certos momentos angustiantes superados nessa jornada.

Ao técnico do laboratório de materiais, Arnon Berg, por todo o suporte técnico, auxílio nos ensaios realizados e discussões acerca do trabalho.

Ao meu professor orientador, Rogério de Jesus, por todo o suporte técnico e teórico, além da constante disponibilidade e paciência para suprir minhas demandas acadêmicas.

Finalmente agradeço aqueles que são base de tudo em minha vida: meus pais (Manoel Monteiro e Lecinha Dias), avó Gildete Dias e tia Suely Dias, por sempre acreditarem em mim, sempre terem palavras de apoio e sobretudo, por sempre me guiarem no rumo dos meus sonhos.

Louvo a Deus por todos estes atores colocados em minha vida!

RESUMO

Atualmente, a grande demanda por tecnologias que enxuguem os processos produtivos e ao mesmo tempo reduzam as quantidades de resíduos gerados, são os grandes desafios da sociedade moderna. Neste sentido, tornam-se necessárias pesquisas relacionadas à reciclagem e reutilização de materiais. Frente a essa problemática, o presente trabalho aborda o reuso do vidro, que apesar de ser um material de fácil reciclagem, em muitos casos se torna inviável devido aos altos custos com transporte. Desta forma, esta pesquisa trata da investigação das propriedades do concreto sujeito à influência do acréscimo de pó de vidro, sendo testadas à massa de concreto, significativas proporções de: 5, 10 e 15% (em função da quantidade de cimento), para assim, verificar possíveis alterações nas propriedades do concreto, tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido. A metodologia da análise experimental consiste da realização de ensaios em laboratório e da análise comparativa entre os concretos com proporções de resíduos e o concreto de referência. Para tal, foram realizados ensaios de resistência a compressão, determinação do índice de atividade pozolânica, índice de vazios e o abatimento em tronco de cone. O acréscimo de pequenas partículas de vidro no concreto contribuiu para a diminuição do índice de vazios e com isso, aumento da durabilidade, da plasticidade e trabalhabilidade da massa de concreto. Tanto para o estado fresco, quanto para o estado endurecido do concreto, verificou-se melhorias em relação ao concreto de referência. O acréscimo de 10% mostrou-se ser mais proveitoso para trabalhabilidade, enquanto que o acréscimo de 5% proporcionou o maior percentual de aumento da resistência a compressão.

Palavras-chave: Concreto; Compósitos; Incremento de Vidro; Reaproveitamento de Materiais.

ABSTRACT

Nowadays, the big demand for technologies that reduce significantly the productive processes and the same time reduces the quantity of the industrial waste, are the big challenger of modern society. In this way, become common, researches associated with recycling and reuse of the construction materials. Against these problematic, the present monography approaches the reuse of glass, which despite being an easily recyclable material in so many cases become impracticable because the high costs with transportation. Thus, this research it's about of the investigation of the concrete's properties under the influence of the addition of glass powder, being tested to the concrete mass, significant proportions of: 5, 10 e 15% (depending on the amount of cement), to thereby, verify possible changes in the properties of the concrete, both in the fresh state and in the hardened state. The methodology of the experimental analysis consists of laboratory tests and the comparative analysis between concretes with waste proportions and the reference concrete. For that, were realized compressive strength tests, determination of pozzolanic activity index, voids index and cone trunk abatement were performed. The addition of small glass particles in the concrete contributed to the reduction of the void index and with that, increased durability, the reseplasticity and workability of the concrete mass. Both for the fresh state and for the hardened state of the concrete was improvement compared to the reference concrete. The addition of 10% proved to be more useful for workability, while the increase of 5% provided the highest percentage increase in compressive strength.

Key words: Concrete; Composites; Increase of Glass; Reuse of Materials.

Lista de Figuras

Figura 1: Vidro Composto	21
Figura 2: Vidro Térmico.....	21
Figura 3: Aramado.....	22
Figura 4: Vidro Laminado	22
Figura 5: Vidro Float	23
Figura 6: Vidro Temperado	23
Figura 7: Fluxograma do Processo de Fabricação do Vidro	24
Figura 12: Classificação dos Compósitos.....	36
Figura 13: Etapas da Pesquisa	38
Figura 14: Ensaio de Densidade da Areia	39
Figura 15: Ensaio de Tempo de Pega	40
Figura 16: Estrutura Montada para Moagem.....	41
Figura 17: Determinação da Massa Específica pelo frasco de Le Chatelier	42
Figura 18: Moldagem dos CP's de Argamassas	43
Figura 19: Medida do Abatimento.....	44
Figura 20; Molde e Desmolde dos CP's	45
Figura 21: Cura dos CP's.....	46
Figura 22: Rompimento dos CP's com o Uso do Neoprene	57

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Tempo de Início de Pega.....	49
Gráfico 2: Slump Test.....	52
Gráfico 3: Ensaio de Compressão para os CP's de Referência.....	58
Gráfico 4: Ensaio de Compressão para os CP's de 5%	58
Gráfico 5: Ensaio de Compressão para os CP's de 10%	59
Gráfico 6: Ensaio de Compressão para os CP's de 15%	59

Lista de Tabelas

Tabela 1: Densidade de Alguns Vidros	25
Tabela 2: Influência do Tamanho da Partícula de Vidro no Índice de Atividade Pozolânica.	31
Tabela 3: Tipos de Cimento Portland	33
Tabela 4: Densidades parentes médias de alguns agregados.....	35
Tabela 5: Determinação do Tempo de Início de Pega.....	49
Tabela 6: Resultados do Ensaio de Compressão das Argamassas.....	50
Tabela 7: Índice de Atividade Pozolânica	51
Tabela 8: Resumo dos Ensaio de caracterização	51
Tabela 9: Resultados dos Ensaios de Absorção e Índice de Vazios para o Traço de Referência	53
Tabela 10: Ensaios de Absorção e Índice de Vazios para o Traço com 5% de Resíduo.....	54
Tabela 11: Ensaio e Absorção para o Traço de 10%	54
Tabela 12: Ensaios de Absorção e Índice de Vazios para o Traço com 15% de Resíduo.....	54
Tabela 13: Resumo dos Índices de Absorção	55
Tabela 14: Resumo dos Índices de Vazios	55
Tabela 15: Ensaio de Compressão.....	56
Tabela 16: Avaliação dos Ensaio de Compressão	60
Tabela 17: Avaliação do Ensaio de Compressão pelo Coeficiente de Variação	60
Tabela 18: Resumo dos Resultados dos Ensaio para o Estado Endurecido	62

Lista de Quadros

Quadro 1: Definições do Vidro	20
Quadro 2: Pesquisas Realizadas Sobre a Substituição Parcial do Cimento Por Resíduos de Vidro	28
Quadro 3: Efeitos de Distintas Dimensões de Partículas em Concretos	30

Lista de Abreviações

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
ABCP	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND
ABIVIDRO	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE VIDRO
CP	CORPO DE PROVA
NBR	NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA APROVADA PELA ABNT

Sumário

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Problema da Pesquisa	16
1.2 Objetivo geral;	16
1.3 Objetivos específicos;	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1. Vidro	18
2.1.1 Breve Histórico do vidro	18
2.1.2 Definição	19
2.1.3 Tipos de Vidros	21
2.1.4 Processos de Fabricação do Vidro	23
2.1.6 Propriedades	25
2.2 Pesquisas Realizadas sobre a Substituição Parcial do Cimento por Vidro	26
2.3 Materiais Pozolânicos	29
2.4 Concreto	31
2.4.1 Cimento	32
2.4.2 Agregados	33
2.5 Trabalhabilidade	35
2.7 Compósitos	36
3.0 METODOLOGIA	38
3.1 Etapa 1: Caracterização dos Materiais	38
3.1.1 Água	38
3.1.2 Agregado Miúdo - Areia	38
3.1.3. Agregado Graúdo - Brita	39
3.1.4 Resíduo	40
3.2 Etapa II: Ensaio no Estado Fresco	43
3.2.1 Abatimento em Tronco de Cone	43

3.3 Ensaio no Estado Endurecido	44
3.3.1 Ensaio de Resistência à compressão	44
3.3.2 Absorção, Índice de Vazios e Massa Especifica	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1 Caracterização dos Materiais	48
4.1.1 Caracterização do Cimento	48
4.1.2 Caracterização do Resíduo	50
4.1.3 Resumo dos Ensaio de Caracterização dos Resíduos	51
4.2 Ensaio no Estado Fresco	52
4.3 Ensaio no Estado Endurecido	53
4.3.1 Absorção e Índice de Vazios	53
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
Anexo 1: Tabela: Quantidade de Material para moldagem de 6 CP's Cilíndricos	71
Anexo 2: Tipos de Rupturas.....	72
Apêndice A: Peso Imerso do CP's	73
Apêndice B: Rompimentos dos CP' de Referência	74
Apêndice C: Rompimento dos CP's de 5%	75
Apêndice D: Rompimento dos CP's de 10%	76
Apêndice E: Rompimento dos CP's de 15%	77
Apêndice F: Rompimento da Argamassa com Resíduo.....	78
Apêndice G: Rompimento das Argamassas sem Resíduo	79

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho trata-se de uma investigação das propriedades do concreto sobre a influência do acréscimo de pó de vidro. Foram acrescentadas a massa de concreto significativas proporções do pó de vidro: 10, 15 e 20% (em função da quantidade de cimento), para assim, verificar possíveis alterações das propriedades do concreto, tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido.

Para realização desta investigação, este trabalho utilizou de pesquisas quantitativas e qualitativas, acerca da literatura, bem como foram utilizados ensaios para avaliar as propriedades do concreto que foram influenciadas pelo resíduo.

Atualmente, a grande demanda por uma tecnologia que enxugue os processos produtivos e ao mesmo tempo gere menores quantidade de resíduos, é uma das grandes preocupações. Neste sentido, é cada vez mais frequente pesquisas que busquem reaproveitar materiais, diminuindo assim os resíduos e dando um correto destino a esses materiais.

A literatura consultada mostrou que incremento de partículas menores que as partículas do cimento, podem atuar em favor das propriedades do concreto, uma vez que elas são capazes de ocupar vazios presente no concreto, melhorando assim, sua durabilidade e suas condições de trabalhabilidade.

Os resíduos de vidros são gerados principalmente através dos domicílios e estabelecimentos comerciais como distribuidores de bebidas, supermercados, bares e lanchonetes. Estimasse que atualmente no Brasil se produza cerca de 980 mil toneladas de embalagens de vidro por ano. (FREIRE, 2016)

Apesar de ser um material de fácil reciclagem, tendo potencial de 100% de reaproveitamento de seu material, em muitos casos, a reciclagem do vidro tornasse inviável devido altos custos com o transporte destes materiais. Assim, a reciclagem desse material acaba ocorrendo apenas em localidades próximas aos grandes centros industriais, como é o caso de São Paulo. Tornando-se justificável a preocupação com gestão desses materiais nas demais regiões do país.

Dessa forma, o presente trabalho apresentará preocupações ambientais e tecnológicas, tendo por finalidade principal discorrer sobre os benefícios que as inserções de resíduos de vidro trarão para as propriedades do concreto e, ao mesmo tempo apresentar uma proposta viável tanto tecnologicamente quanto ambiental para gestão desses resíduos.

1.1 Problema da Pesquisa

Diante do exposto, pretende-se responder aos seguintes questionamentos:

- I. O incremento de resíduos de vidro atua em benefício do concreto?
- II. As propriedades do concreto no estado fresco são melhoradas?
- III. As propriedades do concreto no estado endurecido são melhoradas?
- IV. Os percentuais de acréscimo de vidro ofereceram resultados satisfatórios?

1.2 Objetivo geral;

Realizar um estudo sobre as propriedades do concreto sobre a influência de três percentuais de resíduos de vidro: 5, 10 e 15%, para assim avaliar possíveis benefícios para a massa de concreto nos estados fresco e endurecidos

1.3 Objetivos específicos;

Analisar os efeitos do incremento de vidro no concreto para seguintes parâmetros:

- Trabalhabilidade;
- Resistência à compressão;
- Atividade pozolânica;

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O Presente capítulo aborda uma revisão bibliográfica a respeito de processos de fabricação do vidro, breve histórico, conceitos, definições e propriedades dos materiais que foram utilizados nesta pesquisa. Dando assim, suporte teórico para os demais capítulos subsequentes.

2.1. Vidro

Os subtópicos a seguir trarão informações sobre a história, origem, produção, composição e a utilização no vidro.

2.1.1 Breve Histórico do vidro

Os primeiros vidros que se tem registro de uso foram as obsidianas. Obsidianas são vidros de origem vulcânica (de origem natural), que se formaram a partir da interação entre lavas vulcânicas e o solo. Elas foram utilizadas pelos egípcios por volta do ano 9000 a.C., para fins decorativos. (POUPEAU, SCORZELLI, 1997)

Já os vidros formados através de atividades humanas, até hoje não se pode determinar qual povo ou em que ano foi inventado. Para alguns historiadores, o primeiro vidro foi produzido na Síria (por volta de 3000 a.C.), já para outros, ele surgiu através dos egípcios (em 2500 a.C.). (BAUER, 2008a)

No entanto, a versão mais aceita é a contada pelo historiador romano Plínio (23 a.C. a 79 d.C.). Segundo o historiador o vidro foi inventado no ano 7000 a.C., pelos Fenícios. O relato diz que viajantes Fenícios ao pararem para descansar, as margens do rio Bellus, formaram um grande fogaréu, de onde dispuseram grandes pedaços de trona (carbonato de sódio natural) para sobre eles, apoiar vasos onde deveriam cozer animais caçados. Após se alimentarem, deixaram o fogo aceso e foram dormir. (BARROS, 2010)

No dia seguinte, encontraram blocos brilhantes e transparentes, que se assemelhavam a pedras preciosas. Eles perceberam que as trona e parte da areia tinham desaparecido. Daí, resolveram reacender a fogueira. Não demorou muito para obterem entre as cinzas uma esteira de líquido rubro e fumegante e, antes que a areia se solidificasse, conferiram uma forma a ela. Assim foi descoberto o vidro feito por processos antrópicos. (BARROS, 2010)

De certo, é possível afirmar que por volta de 1400 a.C., egípcios utilizaram o vidro na produção de objetos como vasos e enfeites. Mais adiante, no século II, tal material passou a ser utilizados em construções, sendo utilizado em janelas (BAUER, 2008a). Desde então, tal material vem sendo amplamente utilizado para as mais diversas atividades humanas.

Até a idade média tal material foi utilizado sobretudo para fabricação de utensílios domésticos, após isso, passou gradativamente a ser utilizado na construção civil. Mais recentemente, entre o final do século XIX e início do século XX, as grandes inovações tecnológicas desenvolvidas acerca de propriedades físicas e mecânicas do vidro, possibilitaram um maior uso do vidro e desenvolvimento de vidros de dimensões facilmente moldáveis e de maior apelo arquitetônico. (GLANCEY, 2001)

O vidro obteve grande destaque na construção civil no início do século XX, quando se passou a construir grandes edifícios (conhecidos por arranha céu), chegando a caracterizar a arquitetura utilizada nas grandes metrópoles (International Style): arranha-céus com fachadas espelhadas. (GLANCEY, 2001)

2.1.2 Definição

Qualquer material pode ser classificado segundo o seu estado sólido, líquido ou gasoso. No caso do vidro, é fácil achar que se trata de um sólido, pois ao considerar sua aparência a temperatura ambiente, nota-se significativa rigidez mecânica. No entanto, ele não possui estrutura cristalina, fator que caracteriza e define o estado sólido. (BARROS, 2010)

Dessa forma, alguns autores defendem que no caso do vidro, tenha sido criado um quarto de agregação, o “estado vítreo”. O estado vítreo é caracterizado pela desordem estrutural da matéria vítrea, fazendo com que sua estrutura se assemelhe mais com a dos líquidos, embora não possa ser considerada como uma molécula líquida, mas sim, um produto inorgânico fundido, que arrefeceu antes de ter atingido um estado rígido sem cristalizar. (PEREIRS, 2010)

O comportamento vítreo define o comportamento de um corpo que não pode ser deformando, quer seja permanentemente, que seja elasticamente. Portanto, é um material propenso a absorver a energia e dissipá-la, ocasionando sua quebra. (ALVEZ, et al, 2001)

Ao longo do tempo alguns autores buscaram definir uma conceituação para bem definir o vidro, de forma a congregar um conceito que auxilie na compreensão de suas características e propriedades. O quadro 1 traz algumas das principais conceituações formuladas ao longo das últimas três décadas.

Quadro 1: Definições do Vidro

Autor/ano	Definição
Elliott (1990)	Material sólido amorfo que exhibe uma transição vítrea.
Zarzycki (1991)	Sólido não-cristalino exibindo o fenômeno de transição vítrea.
Doremus (1994)	Vidro é um sólido amorfo. Um material é amorfo quando não tem ordem a longa distância, isto é, não há uma regularidade no arranjo dos constituintes moleculares, em uma escala maior do que algumas vezes o tamanho desses grupos. Não é feita distinção entre as palavras vítreo e amorfo.
Varshneya (1994)	É um sólido que tem a estrutura do tipo de um líquido, um sólido não-cristalino ou simplesmente um sólido amorfo, considerando a característica de amorfo como uma descrição da desordem atômica, evidenciada pela técnica de difração de raios x
Shelby (1997)	É um sólido amorfo com ausência completa de ordens de longo alcance e periodicidade, exibindo uma transição de transição vítrea. Qualquer material, inorgânico, orgânico ou metal, formado por qualquer técnica, que exhibe fenômenos de transição vítrea é um vidro
ASTM (Sociedade Americana de Padronizações)	É um produto inorgânico de fusão que foi esfriado até uma condição rígida, sem cristalização.

Adaptado de Alves et al, 2001

Note que todos esses autores apontam para as seguintes características:

- Transição vítrea;
- É um sólido não-cristalino, possui ausência de simetria e periodicidade translacional;
- Pode ser obtido de qualquer material orgânico, inorgânico ou metálico e formado por meio de uma técnica de preparação.

2.1.3 Tipos de Vidros

Conforme o tipo de vidro e sua forma de fabricação, os vidros podem ser subdivididos em;

- Vidro Composto (Figura 1): formado por pelo menos duas chapas de vidro, com vedamento nos cantos, formando assim, vazios entre as chapas que são preenchidos por gás nitrato. É utilizado para isolamento térmico e acústico;

Figura 1: Vidro Composto



Fonte: PBL Vidro Design, 2019

- Vidro Térmico Absorvente (figura 2): É um vidro que se caracteriza por transmitir pouco calor;

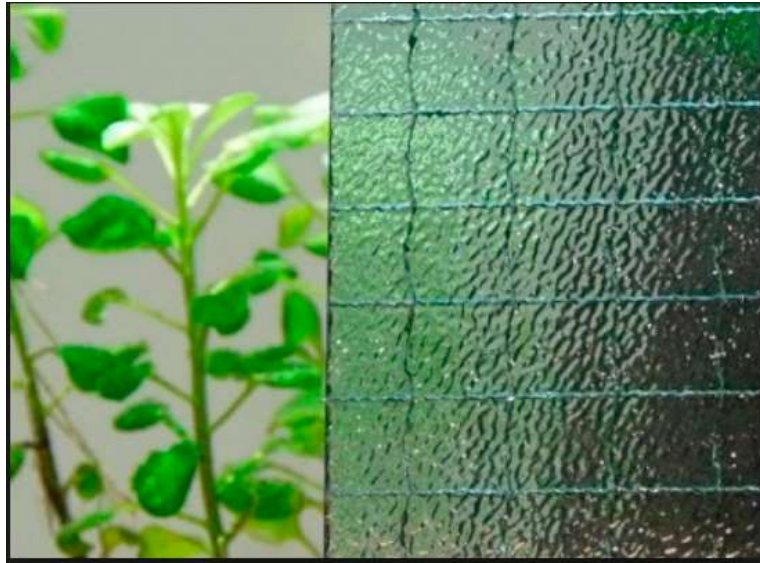
Figura 2: Vidro Térmico



Fonte: TTR VIDROS, 2019

- Vidro aramado (figura 3): É formado por 1 chapa de vidro, contendo fios metálicos em seu interior;

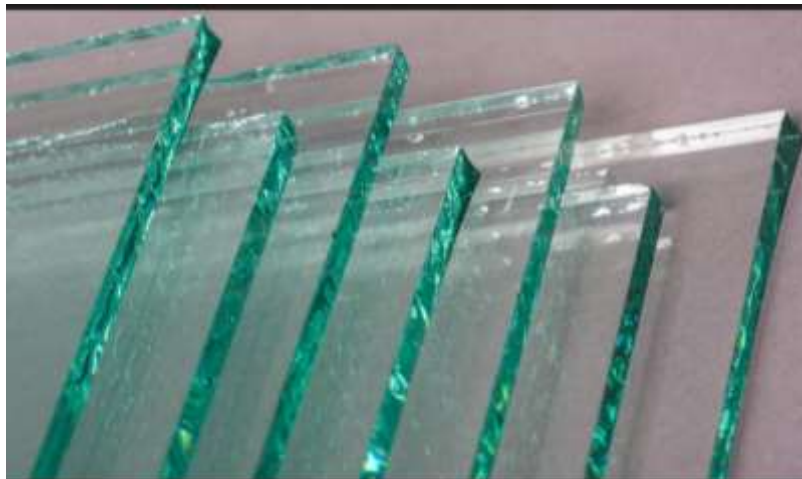
Figura 3:Aramado



Fonte: CNV VIDROS, 2019

- Vidro laminado (figura 4): É formado por várias chapas de vidro que são unidas por película de vidro;

Figura 4: Vidro Laminado



Fonte: MULTPAINEL, 2019

- Vidro recozido ou Vidro float (figura 5): Vidro constituído com tratamento térmico;

Figura 5: Vidro Float



Fonte: LAMINADO GLASS

- Vidro Temperado (figura 6): Não recebe nenhum tratamento térmico ou químico e tem seu resfriamento gradual.

Figura 6: Vidro Temperado



Fonte: LAMINADO GLASS

2.1.4 Processos de Fabricação do Vidro

Desde sua invenção, o processo de fabricação do vidro sofreu importantes mudanças, mesmo assim, ainda é bem similar aos processos utilizados na antiguidade.

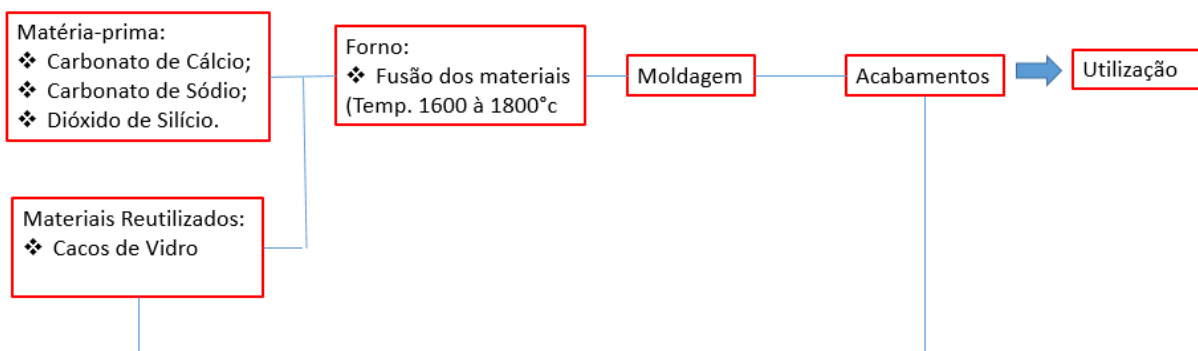
Atualmente existem diversos processos, no entanto, as etapas de fabricação são similares, variando somente as formas de tratamento, matérias-primas utilizadas e outras especificidades. (BAUER, 2008b)

Basicamente, ocorrem três etapas para a fabricação de uma peça de vidro: Fusão, moldagem e resfriamento. O processo de fusão inicia-se pelo aquecimento das matérias primas, onde esses são dispostos em grandes fornos de temperaturas elevadas, atingindo temperaturas

em torno de 1600° a 1800° C, para assim facilitar sua mistura e proporcionar boas condições de desempenho para o processo seguinte, a moldagem. (BARROS, 2010)

A figura 7 mostra um fluxograma simplificado do processo de construção do vidro.

Figura 7: Fluxograma do Processo de Fabricação do Vidro



Fonte: Autor

No processo de moldagem o material é manipulado, obtendo a forma desejada para o tipo de vidro requerido. Após a moldagem o material é destinado para as estufas de resfriamento. O resfriamento é um dos processos mais importantes, uma vez que ele proporciona propriedades mecânicas, físicas e confere ao material certa resistência.

O processo de moldagem pode se dar por três formas: Através do recozimento, sopro e processos artesanais.

- **Recozimento:** utilizado para obtenção chapas planas (laminadas ou não) ou temperadas. As chapas planas laminadas recebem outras camadas de vidro ou polímero, já os temperados recebem outros tratamentos térmicos;
- **Sopro:** Esse procedimento de moldagem requer a injeção de ar dentro de uma gota de vidro fundido, forçando-o contra o molde. Podendo se dar através de máquinas ou de forma manual;
- **Artesanal:** Consiste em um processo manual, que permite ao artesão conferir formas complexas ao material, assim como proporcionar um melhor acabamento para a peça de vidro.

2.1.5 Composição

Ao longo do tempo foram desenvolvidas diversas técnicas para a fabricação do vidro, no entanto, a composição pouco mudou nos últimos cinco milênios. Atualmente, o processo de fabricação dos diversos tipos de produtos da indústria vidreira, é praticamente o mesmo, tendo como principais matérias-primas: sílica (areia; 70%), barrilha (15%), calcário (10%), dolomita (2%), feldspato (2%) e aditivos como sulfato de sódio, ferro, cobalto, cromo, selênio, magnésio e cálcio. (FREIRE, 2016)

2.1.6 Propriedades

O vidro atualmente é um material bastante utilizado e com diversas formas de uso. Geralmente tem por característica a transparência, transmissão de luz e a reflexão. Barros (2010) em seus estudos cita propriedades mecânicas e físicas.

Propriedades mecânicas

- Elasticidade: É um material elástico e ao mesmo tempo frágil;
- Resistência à tração: Varia de 3 KN/cm^2 a 7 KN/cm^2 (30 MPa a 70 MPa);
- Resistência à compressão: Tem elevada resistência à compressão (1000 MPa), o que possibilita um vasto campo para utilização desse material;
- Resistência a flexão: Resistência à flexão na faixa de 40 MPa para vidros recozido polido e 120 MPa a 200 MPa para temperados;

Propriedades físicas

- Dureza e resistência à abrasão: É um material duro, tendo valores na escala de Mohs (a escala vai de 1 a 10) de 6,5, entre a feldspato (6) e o quartzo (7);
- Densidade: Aceita-se o valor de $2,5 \text{ g/cm}^3$, como valor médio para os vidros. No entanto, alguns valores são classicamente aceitos para alguns tipos de vidro, a tabela 1 traz as densidades dos principais vidros utilizados:

Tabela 1: Densidade de Alguns Vidros

Vidro	Densidade (g/cm^3)
Cristal ordinário	3,33
Vidro para óculos	2,46
Vidro ordinário	2,56
Vidro para garrafas	2,64

Adaptado de Barros (2010)

- Resistência a brasão: Em média é 16 vezes mais resistente que o granito;
- Tem boa resistência química, exceto ao ácido fluorídrico (pela qual se deixa atacar);
- Praticamente impermeável, tanto para líquido, quanto para gás;
- Mau condutor de eletricidade;
- Boa resistência ao fogo;
- Isolamento térmico;
- Isolamento acústico.

2.2 Pesquisas Realizadas sobre a Substituição Parcial do Cimento por Vidro

Pesquisas sobre a substituição parcial de cimento em traços de concreto ou em argamassa, vem sendo desenvolvidas no decorrer das últimas décadas. Na década 1970 começaram a ocorrer estudos para investigar o uso do pó do vidro como material pozolânico, tais estudos têm como objetivo a busca da melhoria da qualidade de concretos e argamassas desenvolvida, além do cunho ambiental, pois possibilita correta destinação dos resíduos de vidros e a diminuição das matérias primas utilizadas na fabricação de argamassas e concretos. (SOUZA NETO, 2010)

Para Matos (2010), essa densidade de trabalhos apontando seus melhores resultados para a substituição parcial de cimento pelo pó de vidro, se justifica pelo fato de que as partículas finas de vidro geralmente apresentam atividade pozolânica benéfica para o concreto, enquanto que partículas grossas são geralmente nocivas devido a reação álcali-sílica. No entanto, embora o uso de partículas finas seja uma solução eficaz para o uso do vidro como adição em concreto, sua moagem representa um custo significativo, pois várias horas de tratamento são necessárias para se obter uma finura eficiente de vidro.

O vidro apresenta composição favorável ao desenvolvimento de reações pozolânica, pois possui significativa quantidade de dióxido de silício (SiO_2), cal (CaO) e Óxido de sódio (Na_2O). (MATOS, 2010)

A adição de partículas finamente divididas, (como é o caso do pó de vidro) em concretos frescos, tendem a melhorar a trabalhabilidade desses componentes, uma vez que essas partículas menores tendem a reduzir o tamanho e volume de vazios, melhorando a consistência do concreto. Além disso, possibilita a redução da quantidade de água necessárias para uma determinada consistência, ou seja, diminuição da relação água/cimento nesse concreto. (MEHTA e MONTEIRO, 2008)

Ainda segundo Mehta e Monteiro (2008), a melhoria na coesão e acabamento são especialmente relevantes nas misturas de concretos magro ou de concreto feito com agregados deficiente em partículas finas.

Com relação a resistência, a agentes agressivos e a prevenção de manifestações patológicas, a utilização de resíduos de vidro no concreto proporciona resistência a penetração de íons de cloreto, o avanço da frente de carbonatação e a resistência à reação álcali-sílica. (GUIGNOME, 2017)

Shão et al (2000) realizou um experimento onde avaliou a substituição do cimento por partículas de vidro com granulometria de 38 μm . Nessa experiência, ele verificou que as propriedades mecânicas do concreto foram melhoradas em função das reações pozolânicas, sendo que os concretos com 30% de substituição do cimento por vidro com essa granulometria tiveram um ganho de 120% na resistência até 90 dias. (GUIGNOME, 2017, p. 40)

Cassar e Camilleri (2012) analisaram um traço de concreto com substituição parcial do cimento (10% e 20%) por pó de vidro. Obtendo melhor resistência a penetração de íons de cloreto em comparação ao traço de referência (GUIGNOME, 2017, p. 43).

Já Matos (2010), verificou que o uso do vidro como substituição parcial de cimento em traços de argamassa, com o mesmo percentual utilizado por Guignome (10 e 20%), proporciona redução da resistência a compressão e ganhos com relação a resistência a penetração de cloretos e à reação álcali-sílica,

A resistência a penetração de cloretos está ligada ao índice de vazios, como o pó do vidro apresenta uma granulometria bastante baixa, ele proporciona maior preenchimento desses vazios, o que contribui para uma estrutura com maior durabilidade. (MATOS, 2010). O quadro a seguir resume algumas outras investigações realizadas acerca da substituição parcial de cimento por vidro.

Quadro 2: Pesquisas Realizadas Sobre a Substituição Parcial do Cimento Por Resíduos de Vidro

Título e Autores	Ensaio de Durabilidade	Variáveis Principais	Conclusões Principais
Utilisation of imploded glass in structural concrete – Cassar e Camilleri (2012)	- Ensaio rápido da permeabilidade a cloretos (ASTM C 1202:2012); - Velocidade de propagação de onda ultrassônica (BS 1881 203:1986).	- a/c: 0,60; - % de substituição: 10, 20, 30, 40 e 50 (cimento); - Origem do resíduo: garrafas de vidro utilizadas, sem remoção de contaminação, moídas ou implodidas.	Concretos com 10% e 20% exibiram uma melhor resistência à penetração de íons cloreto que os concretos de referência. Constataram-se também velocidades de propagação de onda inferiores, conforme se aumentavam o percentual de substituição do cimento por resíduos de vidro.
Strength and durability of recycled aggregate concrete containing milled glass as partial replacement for cement - Nassar e Soroushian (2012)	- Ensaio rápido da permeabilidade a cloretos (ASTM C 1202:2012); - Ensaio de reação álcali-silica (ASTM C 1260:2014).	- a/c: 0,38 e 0,50 - % de substituição: 20 (cimento) 50 e 100 (substituição do agregado original pelo reciclado) - Origem do resíduo: resíduo obtido da indústria de reciclagem.	Ganho de resistência à compressão aos 56 dias em relação ao concreto de referência e maior resistência à penetração de cloretos. A absorção de água é reduzida com a utilização de resíduos de vidro e ainda redução do volume de vazios. Constatou-se ainda a mitigação de reação álcali-silica devido à reação pozolânica.
Durability of mortar using waste glass powder as cement replacement – Matos e Sousa-Coutinho(2012)	- Teste rápido de barras de argamassas (ASTM 1567:2013); - Ensaio de Migração de Cloretos em regime não estacionário (NT Build 492:199 9).	- a/c: 0,50; - % de substituição: 10 e 20 (cimento); - Origem do resíduo: resíduo obtido da indústria de reciclagem.	Ganho de resistência à penetração de cloretos, resistência a sulfatos, à reação álcali-silica, sem comprometer a resistência à compressão.
Effect of glass powders on the mechanical and durability properties of cementitious materials – Kamali e Ghahremaninezhad (2015)	- Ensaio rápido da permeabilidade a cloretos (ASTM C 1202:2012); - Ensaio de Migração de Cloretos em regime não estacionário (NT Build 492:1999).	- a/c: 0,50; - % de substituição: 5,10 e 20 (cimento); - Origem do resíduo: resíduo obtido da indústria de reciclagem.	Concretos modificados com resíduo de vidro apresentaram melhora na resistência à compressão e à flexão em relação aos concretos de referência em idades tardias de cura. Maiores resistências à penetração de cloretos e menores reações álcali-silica também foram constatadas.
Durability of selfconsolidation concrete using waste LCD glass Wang e Huang (2010)	- Resistência ao ataque de sulfatos (EP-462); - Ensaio rápido da permeabilidade a cloretos (ASTM C 1202:2012);	- a/c: 0,28; % de substituição: 10, 20 e 30 (areia); - Origem do resíduo: vidro de cristal líquido.	Aos 90 dias, concretos contendo substituição de cimento por resíduo de vidro com percentual de 30% atingiram 98,4% em relação ao grupo de referência no que tange à resistência à compressão. Notou-se também maior resistência à penetração de cloretos com o uso do resíduo.

Adaptado de GUIGNOME, 2017

2.3 Materiais Pozolânicos

A NBR 12.653/2016 (Materiais Pozolânicos, Requisitos), define os materiais pozolânicos como:

Materiais silicosos ou silicoaluminosos que, por si só, possuem pouco ou nenhuma propriedade aglomerante, mas que, quando finamente divididos e na presença de água, reagem como hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compósitos com propriedades aglomerantes.

A NBR 12.653/2016 também divide as pozolanas em dois tipos: naturais e artificiais. Os naturais provêm de materiais de origem vulcânicas, geralmente de caráter petrográfico ácido (65% de SiO_2) ou de origem sedimentar com atividade pozolânica. Já as artificiais, provêm de materiais proveniente de tratamento térmico ou de subprodutos industriais com atividade pozolânica.

Os vidros vulcânicos apresentam atividade pozolânica com calcário ou cimento em meio aquoso, pois sua estrutura é composta por aluminossilicatos com estrutura desordenada e instável quando expostos a soluções alcalinas. (MEHTA e MONTEIRO, 2008)

Através de estudos realizados tanto em campo, quanto em laboratórios, verificou-se que as reações pozolânicas envolvem adições de minerais que causam refinamento dos poros, reduzindo a permeabilidade do concreto, o que proporcionou grandes melhorias na durabilidade química do concreto contendo essas adições. (MEHTA e MONTEIRO. 2008)

O tamanho das partículas utilizadas de resíduos de vidros em traços de concretos influencia bastante na questão da atividade pozolânica. Segundo Guignome (2017), quanto menores forem as dimensões das partículas dos resíduos de vidro, maior será suas propriedades pozolânicas, o que proporciona melhoria em suas propriedades mecânicas de concretos em idades tardias, principalmente a partir dos 56 dias, e ganho de durabilidade na medida que favorece a redução de porosidade do concreto e a suscetibilidade a agentes agressivos.

A presença de vazios no concreto reduz sua massa específica e diminui bastante a resistência. Em experimento realizado por Nevelle e Brooks (2013), eles observaram que 5% de vazios podem diminuir em cerca de 30% a resistência do concreto.

A quadro 3 traz o resumo de alguns trabalhos produzidos acerca da influência do tamanho das partículas de resíduos de vidro em concretos.

Quadro 3: Efeitos de Distintas Dimensões de Partículas em Concretos

Dimensões das Partículas	Percentuais adotados	Resistência à Compressão após 56 dias	Resistencia a Reação Álcali-sílica	Resistência a Penetração de Cloretos	Autores
$\leq 100\mu\text{m}$	5%, 10% e 20%	Diminui	Aumenta	Aumenta	Schwarz (2008)
$\leq 75 \mu\text{m}$	10% e 20%	Diminui	Aumenta	Aumenta	Matos e Souza (2012)
Dimensão média de $20\mu\text{m}$	10% e 20%	Aumenta	Aumenta	Aumenta	Matos (2010)
Dimensão média de $13 \mu\text{m}$	20	Aumenta	Aumenta	Aumenta	Nassar e Soroushiam (2012)
Dimensão média de $8,4 \mu\text{m}$	5%, 10% e 20%	Aumenta	Aumenta	Aumenta	Ghaaremnezhad e Kamali (2015)

Adaptado de GUIGNOME, 2017

A tabela 2 indica ganhos, com relação as propriedades mecânicas, para o uso de partículas menores que $100\mu\text{m}$. No entanto, só recomenda ganhos para resistência de compressão após 56 dias de cura, com o uso de partículas menores que $20\mu\text{m}$. A tabela 2 relaciona o tamanho das partículas ao índice de atividade pozolânica.

Tabela 2: Influência do Tamanho da Partícula de Vidro no Índice de Atividade Pozolânica

Dimensões das Partículas	Índice de Atividade Pozolânica (%)	Autores
$\leq 60\mu\text{m}$	92 e 110	Shi et al (2005)
Dimensão média de $5\mu\text{m}$ 104%	104	Paiva (2009)
Dimensão média de $20\mu\text{m}$	96 e 103	Matos (2010)
$\leq 75\mu\text{m}$	97 e 103	Matos e Souza-Coutinho (2012)
$\leq 75\mu\text{m}$	85	Pereira de Oliveira et al (2012)
$\leq 40\mu\text{m}$	82	Khmiri et al (2012)
$\leq 75\mu\text{m}$	86	Sauer (2013)
$\leq 9,5\mu\text{m}$	86	Sales (2013)

Adaptado de GUIGNOME (2017)

2.4 Concreto

O concreto é constituído através de uma mistura entre: água, cimento, agregados miúdos e graúdos ou ainda, aditivos. Trata-se de um material bastante resistente a compressão e pouco resistente a tração, cerca de 1/10 do que resiste a compressão.

Por ter baixa resistência a esforços de tração, na construção de elementos estruturais como vigas (que estão submetidas à esforços de tração e compressão), o concreto não é considerado por si só adequado como elemento resistente. Sendo então requisitada a associação do concreto a elementos que proporcionem mais resistência a tração, como é o caso do aço. A associação entre concreto e aço recebe o nome de concreto armado. (FIGUEIREDO E CARVALHO, 2016)

Nos subtópicos a seguir serão feitos comentários acerca dos materiais que compõem o concreto.

2.4.1 Cimento

Os romanos foram os primeiros a utilizarem um concreto baseado em um material que endurece pela ação da água, e que não sofre alterações químicas pela exposição à água ao longo do tempo, o cimento Romano. Tal cimento caiu em desuso ao longo do tempo, dando lugar a outro, e só no começo do século XIX, o processo de fabricação do cimento foi padronizado, dando lugar ao cimento moderno, mundialmente utilizado e conhecido por Cimento Portland. (NEVILLE e BROOKS, 2013)

O cimento Portland é um dos materiais de construção mais utilizados no mundo, sendo o principal elemento utilizado no concreto. Tal cimento foi inventado em 1824, na Inglaterra, por Joseph Aspdin. O nome Portland advém da semelhança entre as colorações do cimento e pedras encontradas na ilha de Portland, dessa forma, seu inventor optou por registrar sua invenção com o nome da ilha.

Conforme a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), o Cimento Portland é definido como: “Pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação da água. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido a ação da água, o Cimento Portland não se decompõe mais”. (ABCP, 2001, p. 2)

Já a ABNT, define o cimento Portland através da NBR 16697/2012: “ligante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona, durante a fabricação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio e adições minerais”.

Neville e Brooks (2013), comentam que se trata do clínquer moído, um material obtido através da mistura e queima do calcário, da argila ou outros materiais silicosos, da alumina e de materiais que contenham óxido de ferro. Sendo esta queima, ocorrida sobre a temperatura de clinquerização.

O cimento Portland é composto basicamente por clínquer e adições. Sendo o clínquer o principal componente e está presente em quase todos os tipos de cimento Portland. Já as adições, são os fatores diferenciais para cada tipo de cimento, elas podem ser compostas por: gesso, escórias de alto-forno, os materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos. (ABCP, 2002)

O cimento Portland é dividido em 5 tipos, a tabela a seguir traz a utilização de cada um deles e a sua composição.

Tabela 3: Tipos de Cimento Portland

Tipo	Utilização	Composição (%)			
		C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
CP I	Quando não se exige propriedades especiais especificadas para qualquer outro tipos.	50-55	15-20	5-12	6-10
CP I - S	utilizado quando se tem a necessidade de incorporar ar. (Exemplo: fabricação de concretos resistentes ao congelamento	50-55	15-20	5-12	6-10
CP II	Para uso geral, principalmente quando há necessidade de resistência moderada ao sulfato ou para quando o calor de hidratação moderado é necessário e não há dados de ensaios disponíveis para o calor de hidratação	50-55	15-20	5-7	6-12
CP II	Utilizado quando o ar incorporado é desejado.	50-55	15-20	05-7	06-12
CP III	Utilizado quando é necessário alta resistência inicial	50-55	15-20	5-12	6-10
CP III	Utilizado quando o ar incorporado é desejado.	50-55	15-20	05-12	06-10
CP IV	Utilizado quando é necessário baixo calor de hidratação.	50-55	15-20	05-07	06-12
CP V	Utilizado quando é necessário alta resistência ao sulfato	40-50	25-35	0-4	10-15

Adaptado de MEHTA E MONTEIRO, 2008.

2.4.2 Agregados

Os agregados são de grande importância para a construção de uma peça de concreto, uma vez que eles ocupam em média três quartos do volume do concreto. Dessa forma, a escolha de materiais agregados de boa qualidade pode contribuir com a resistência e elevar

significativamente a durabilidade e o desempenho estrutural do concreto. (NEVILLE e BROOKS, 2013)

As características dos agregados que mais influenciam na composição do concreto estão relacionadas as composições mineralógicas das rochas que deram origem aos agregados. São eles: porosidade, composição, ou distribuição granulométrica, absorção de água, forma e textura superficial, resistência à compressão, módulo de elasticidade e tipo de substâncias prejudiciais presentes. (MEHTA e MONTEIRO, 2008)

A NBR 7211/2009 define os agregados miúdos e graúdos como:

Agregado miúdo: Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μ m, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

Agregado graúdo: Agregado 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.

Segundo Bauer (2008a), o agregado consiste de um material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos.

Com relação à origem, os agregados utilizados em concretos são divididos em naturais e artificiais. Os naturais se originam de jazidas naturais, como é o caso das areias, pedregulhos e britas. Já os artificiais se originam a partir de rejeitos industriais, como escória de alto-forno e as cinzas volantes. (MEHTA e MONTEIRO, 2008)

E finalmente, quanto ao peso específico aparente, os agregados podem ser classificados conforme a densidade do material que constitui as partículas, em leves, médios e pesados. (BAUER, 2008a)

A tabela 4 expressa alguns valores acerca desta classificação.

Tabela 4: Densidades parentes médias de alguns agregados

Leves		Médios		Pesados	
		Calcário	1,40		
		Arenito	1,45		
Vermiculita	0,30	Cascalho	1,60	Barita	2,90
Argila expansiva	0,80	Granito	1,50	Herminitata	3,20
Escória granulada	1,00	Areia	1,50	Magnitita	3,30
		Basalto	1,50		
		Escória	1,70		

Fonte: BAUER, 2008a

2.5 Trabalhabilidade

Como já dito, o concreto é um material resultante da aglomeração de aglomerados miúdos e graúdos, unidos por uma pasta de cimento e eventualmente contendo aditivos. Neste sentido, o concreto passa por dois estágios, o estágio fresco e o endurecido.

No estado fresco do concreto encontra-se com a pasta (água e cimento) no estado fluído, com plasticidade e possibilidade de manuseio. Já no estado endurecido, a peça de concreto adquire suas propriedades características, como resistência, estabilidade de volume e durabilidade.

Essas características citadas no parágrafo anterior, são adquiridas no estado endurecido do concreto, no entanto, tais aspectos são fatores que estão relacionados a eventos que ocorrem no estado fresco do mesmo.

Segundo Neville e Brooks (2013), é de fundamental importância que a trabalhabilidade do concreto fresco seja tal que ele possa ser adequadamente transportado, lançado, adensado e acabado de forma fácil e sem sofrer segregação.

Trabalhabilidade é um termo de difícil definição, uma vez que a noção de trabalhabilidade é muito mais subjetiva que física. Trabalhabilidade está ligada a consistência, assim, consiste na mobilidade da massa e a coesão entre os elementos componentes, que possibilitam uniformidade, compacidade e a maleabilidade para o operar o concreto que está sendo lançado. (SOBRAL, 2000)

Ainda segundo Sobral (2000), a trabalhabilidade é influenciada basicamente por cinco fatores:

- Quantidade de água;
- Tipo de granulometria dos agregados;
- Relação agregado / cimento;
- Presença de aditivos;

Além desses, outros fatores como consistência, plasticidade, equipamento utilizado, dimensões da peça e capacidade da massa de se manter homogênea, também devem ser levados em consideração.

2.7 Compósitos

Os compósitos consistem de materiais multifásicos que exibem uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem. Trata-se da mistura de dois ou mais materiais, que dão origem a um material de qualidade superior, com uma melhor combinação de propriedades. (CALLISTER, 2002)

Neste sentido, no que se refere ao concreto, este tipo de material é criado para melhor combinar as características mecânicas, como rigidez, tenacidade e resistência nas condições ambientais e há altas temperaturas, para assim obter concretos que supram certas necessidades construtivas requeridas em projetos.

Segundo Callister (2002), os compósitos podem ser classificados conforme o tipo de reforço de partículas aplicadas para reforço do material, como mostra a figura 12.

Figura 8: Classificação dos Compósitos



Fonte: Adaptado de CALLISTER, 2002

3.0 METODOLOGIA

O presente capítulo apresentará os ensaios que foram realizados em virtude dessa pesquisa, bem como irá mostrar os procedimentos adotados para a caracterização dos materiais, processo de obtenção do vidro e procedimentos de dosagem do concreto.

Todos os ensaios foram realizados nos laboratórios de materiais e de solos da Universidade Federal de Alagoas, campus do Sertão.

O diagrama a seguir resume os procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa.

Figura 9: Etapas da Pesquisa



Fonte: Autor ,2019

3.1 Etapa 1: Caracterização dos Materiais

Os materiais utilizados na presente pesquisa foram: Água, areia, britas (0 e 1), cimento e resíduos de vidro (pó)

3.1.1 Água

A água utilizada nos experimentos foi obtida através da fornecedora local de água encanada.

3.1.2 Agregado Miúdo - Areia

Areia utilizada neste experimento foi a que estava disponível no laboratório, no entanto, não foi possível identificar a origem da mesma.

a) Densidade

O ensaio para verificação da densidade (massa específica) da areia foi realizado a partir da norma NBR 16.605/2017 (Cimento Portland e Outros Materiais em Pó: Determinação da Massa Específica).

Esta Norma estabelece o método de determinação da massa específica de cimento Portland e outros materiais em pó, por meio do frasco volumétrico de Le Chatelier. A figura 14 mostra parte do procedimento utilizado no ensaio.

Figura 10: Ensaio de Densidade da Areia



Fonte: Autor ,2019

3.1.3. Agregado Graúdo - Brita

Foram utilizados dois tipos de britas: a brita 0 e a brita 1. A brita 0 tem dimensões que variam entre $4,8\text{ mm}$ a $9,5\text{ mm}$, enquanto que a brita 1, vai de $9,5\text{ mm}$ a 19 mm , conforme NBR 7211/2009

3.1.4 Cimento

O cimento utilizado foi o CP II F, fabricado conforme a NBR 16.697/2018.

Composição: Silicato de Cálcio, alumínio e ferro, sulfato de cálcio e filler carbonáticos.

a) Densidade

A densidade do cimento foi obtida de forma análoga ao processo de obtenção da densidade da areia. (NBR 16.605/2017)

b) Pega

O ensaio de pega é padronizado pela NBR 13.069/2012 (Determinação dos tempos de pega em pasta de cimento Portland, com ou sem a utilização de aditivo acelerador de pega), como observa-se a figura 15.

Figura 11: Ensaio de Tempo de Pega



Fonte: Autor, 2019

3.1.4 Resíduo

Os vidros utilizados neste trabalho foram cedidos gratuitamente por vidraçarias do centro da cidade de Delmiro Gouveia, Alagoas. A espessura dos vidros utilizados varia de 3 mm a 10 mm.

Vale ressaltar que esses vidros consistiram de pequenos pedaços ou de lotes com imperfeições, que não teriam mais utilidade nessas vidraçarias. Tendo assim como destino habitual, o descarte junto ao lixo comum. Dessa forma, todo o vidro utilizado nesse trabalho veio da reutilização de matérias que antes não teriam reaproveitamento algum do seu potencial.

a) Processo de Obtenção do Pó de Vidro

Para o processo de moagem do vidro foram realizadas adaptações dos equipamentos do laboratório de solos, uma vez que nos demais laboratório do campus, não há aparelhos próprios para essa finalidade.

Dessa forma, para o processo de moagem do vidro foram utilizados uma série de equipamentos (figura 16), tais quais:

- Soquete cilíndrico de compactação do solo (10 Libras);
- Cilindro de compactação do solo (1000 cm³);
- Tronco de cone do ensaio de abatimento;
- Peneiras de 1,2 mm e 600µm;

Figura 12: Estrutura Montada para Moagem



Fonte: Autor ,2019

O procedimento seguiu a seguinte sequência:

1. Quebra dos vidros na estrutura de moagem;
2. Peneiramento dos resíduos

O processo se repetiu até que os resíduos do vidro passassem na peneira de 1,2 mm e ficassem retidos na de 600µm;

Os itens a seguir se referem aos ensaios utilizados para caracterizar o resíduo.

b) Densidade

A densidade do resíduo foi determinada pelo frasco de Le Chatelier (Figura 17), conforme recomendado pela NBR 16.605/2017.

Figura 13: Determinação da Massa Específica pelo frasco de Le Chatelier



Fonte: Autor ,2019

c) Caracterização Quanto a Atividade Pozolânica

A atividade pozolânica foi avaliada através do Índice de Atividade com Cimento (IAP), a obtenção de tal índice é normatizada através da NBR 5752/2014 (Materiais Pozolânicos – Determinação do Índice de Desempenho com Cimento Portland aos 28 dias).

O procedimento consiste no preparo de duas argamassas;

- a)** Deve conter cimento (CP II-F-32), areia e água;
- b)** Deve conter 25% em massa de resíduo, em substituição à igual porcentagem de cimento, areia e água;

Em seguida as argamassas devem ser colocadas em corpos de prova (CP's) cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, seguindo as mesmas recomendações de moldagem, cura e ensaios de compressão (NBR 5739/2018), adotados para o ensaio de resistência do concreto. Como mostra a figura a seguir.

Figura 14: Moldagem dos CP's de Argamassas



Fonte: Autor ,2019

As quantidades de massa de materiais para a moldagem de seis CP's argamassas são determinadas através da tabela 1 da norma 5752/2014 (Anexo 1)

Vinte e oito dias após a cura os CP's foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão e, através dos resultados deste ensaio, foram calculados os índices de desempenho do cimento Portland, conforme equação 1.

$$i_{cimento} = \frac{f_{CB}}{f_{CA}} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

i , é o índice de desempenho de cimento Portland aos 28 dias em (%);

f_{CB} , é a resistência média aos 28 dias dos CP's moldados com a argamassa B (argamassa sem resíduo) em (MPa);

f_{CA} , é a resistência média aos 28 dias do CP's moldados com a argamassa A (argamassa com resíduo) em (MPa);

3.2 Etapa II: Ensaio no Estado Fresco

Para o estado fresco do concreto foi realizado o ensaio de abatimento em tronco de cone.

3.2.1 Abatimento em Tronco de Cone

O ensaio de abatimento em tronco de cone, também conhecido por Slump Test, é padronizado através da NBR NM 67 (Concreto – Determinação da Consistência Através do Abatimento de Tronco de Cone).

Este ensaio permite avaliar a trabalhabilidade do concreto fresco a partir da medida do seu assentamento.

A execução deste ensaio consiste em preencher um molde em forma de tronco de cone, através de 3 camadas que são adensadas, uma a uma, por 25 golpes com uma haste de socamento.

Após o preenchimento do molde, o molde foi retirado e imediatamente medida a diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova, como mostra a figura a seguir.

Figura 15: Medida do Abatimento



Fonte: Autor, 2019

Este ensaio foi realizado 4 vezes, um para cada traço utilizado nesta pesquisa.

3.3 Ensaio no Estado Endurecido

Os ensaios realizados no estado endurecido do concreto foram: Resistência à compressão, absorção, índice de vazios e massas específicas.

3.3.1 Ensaio de Resistência à compressão

Este ensaio é normatizado pela norma 5739/2018 (Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos Cilíndricos). Tal norma descreve o método pelo qual devem ser ensaiados à compressão os CP's cilíndricos de concreto, moldados conforme a NBR 5738/2018.

a) Procedimentos Preliminares

Para realização do ensaio de compressão são necessários a prévia realização de três passos: escolha do traço, molde e desmolde dos CP's e, cura do concreto. Para finalmente ocorrer o ensaio de resistência a compressão.

i. Escolha do traço:

O traço escolhido foi o de 25 MPa e os cálculos foram realizados conforme a ABCP (2002). Obtendo-se as relações a seguir.

(Cimento; areia; brita 0; brita 1; a/c) = (1: 1,3: 0,80; 1,86; 0,53)

A partir dessas relações foram calculadas as quantidades necessárias de cada material (cimento, areia, britas, água e resíduo). Os demais traços (com acréscimo de resíduos no percentual de 5, 10 e 15% em função da quantidade de cimento), foram realizados em função deste traço.

ii. Molde e Desmolde

Os CP's foram moldados e desmoldados conforme a NBR 5738/2018, com molde de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, como mostra a figura a seguir.

Figura 16; Molde e Desmolde dos CP's

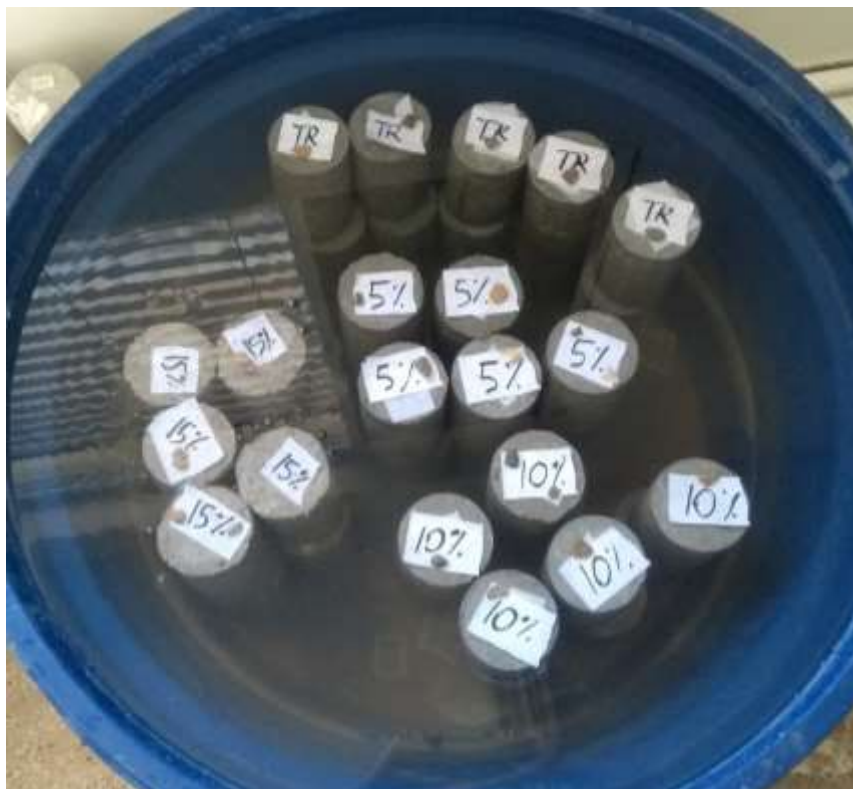


Fonte: Autor ,2019

Cura

Os procedimentos para realização da cura de concretos em CP's são normatizados pela NBR 5738/2018. A figura a seguir refere-se a cura dos CP's.

Figura 17: Cura dos CP's



Fonte: Autor, 2019

Foram ensaiados 10 CP's de cada traço (Referência, com 5, 10 e 15% do resíduo), totalizando 40 CP's.

b) Resistência à Compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado 28 dias após o desmolde dos CP's. Este ensaio consiste do rompimento de CP's a partir de tensões de compressão, provocadas por uma pressão hidráulica que aplica gradativamente carregamentos sobre o CP, até atingir a carga de ruptura.

A resistência a compressão do CP é obtida através da razão entre a carga de ruptura e a área da seção transversal do mesmo. Devendo ser o resultado expresso com aproximação de $0,1 MPa$, como recomenda a NBR 5739/2018.

3.3.2 Absorção, Índice de Vazios e Massa Específica

O ensaio para determinação da absorção, índice de vazio e massa específica de concreto endurecido é padronizado por meio da NBR 9778/2009 (Argamassa e Concreto Endurecido – Determinação da Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados desta pesquisa. Assim, tendo em vista a facilitação da leitura dos resultados, o presente capítulo se dividirá em três tópicos:

- Resultados da caracterização dos materiais;
- Resultados dos Ensaio no Estado Fresco do Concreto;
- Resultados dos Ensaio no Estado Endurecido do Concreto;

4.1 Caracterização dos Materiais

Nos subtópicos a seguir serão comentados os principais ensaios realizados para a caracterização dos materiais, os demais serão expostos em uma tabela resumo, disposta no término desta seção 4.1,

4.1.1 Caracterização do Cimento

Quanto ao cimento, foram realizados os ensaios de determinação de tempo de pega e de densidade do cimento.

Conforme a NBR NM 65/2003, o tempo de início de pega é o intervalo de tempo transcorrido desde o contato do cimento com a água até o momento em que a agulha de Vicat penetra na pasta até uma distância de (4 ± 1) mm da placa base. Já o tempo de final de pega é obtido pelo intervalo de tempo transcorrido desde o contato do cimento com a água até o momento em que a sonda de determinação de fim de pega penetre apenas 0,5 mm na pasta.

O ensaio de tempo de pega foi realizado conforme NBR NM 65/2003, a consistência da pasta (cimento mais água), foi obtida com 168 gramas de água, obtendo-se um valor de penetração de 5 mm da sonda de consistência.

A obtenção dos referidos tempos foi a partir de leituras de penetração no aparelho de Vicat, ocorridas de 10 em 10 minutos (salvo a penúltima, que ocorreu em um intervalo de 4 minutos). A tabela 5 mostra os resultados do ensaio para determinação do tempo do início de pega. A coluna do meio (Tempo), refere-se ao tempo transcorrido desde o contato cimento com a água até o momento de leitura.

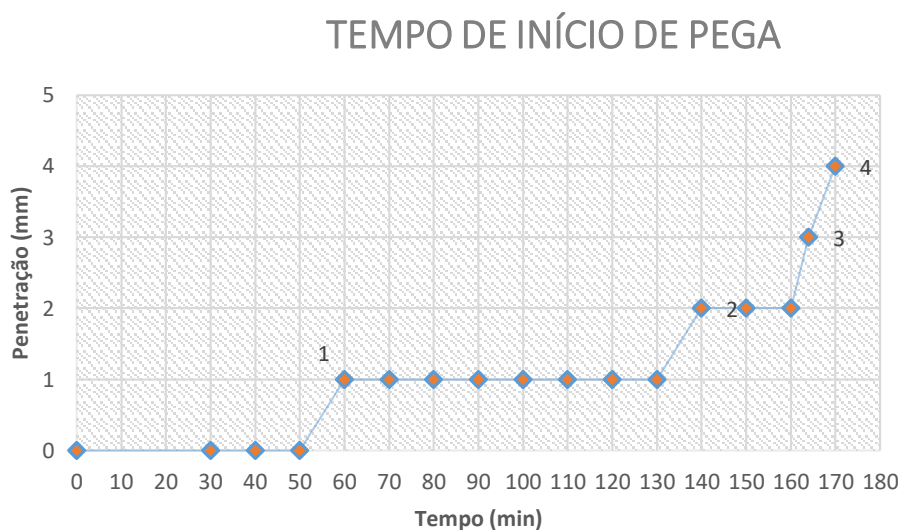
Tabela 5: Determinação do Tempo de Início de Pega

Leituras	Tempo (min)	Penetração (mm)
Contato	0	0
L1	30	0
L2	40	0
L3	50	0
L4	60	1
L5	70	1
L6	80	1
L7	90	1
L8	100	1
L9	110	1
L10	120	1
L11	130	1
L12	140	2
L13	150	2
L14	160	2
L15	164	3
L16	170	4

Fonte: Autor, 2019

Frente a tabela 5 verifica-se que o tempo de início de pega foi de 170 minutos (ou 2 horas e 50 minutos). O gráfico a seguir ilustra os dados da tabela 5.

Gráfico 1: Tempo de Início de Pega



Fonte: Autor, 2019

Posteriormente a obtenção do início de pega, foi determinado o tempo de final de pega. O tempo de final de pega obtido foi de 230 minutos (3 horas e 50 minutos).

O resultado do ensaio de determinação do tempo de pega foi satisfatório, uma vez que cumpriu com o requisito mínimo estabelecido pela norma NBR NM 65/2003 para o cimento CP II F, pois o tempo de início de pega aqui registrado foi de 2 horas e 50 minutos, sendo portanto, superior ao tempo mínimo de uma hora, estabelecido pela norma citada. Já o tempo de final de pega foi de 3 horas e 50 minutos, valor inferior ao limite de 10 horas estabelecido em norma.

Quanto a densidade, o valor obtido através do ensaio foi de 3,1 cm³, valor próximo ao indicado pelo fabricante (3,15 g/cm³)

4.1.2 Caracterização do Resíduo

Para caracterização do resíduo foram realizados os ensaios de densidade e o índice de atividade pozolânica (NBR 12.653/2016: Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias). Junto com a densidade do cimento, o resultado do ensaio para determinação da densidade aparecerá na tabela 8.

Os resultados do ensaio de compressão das argamassas encontram-se na tabela 6. Os valores da tensão de ruptura das argamassas sem resíduos estão representados na segunda coluna (Argamassa A), já os resultados das argamassas com resíduos, estão dispostos na terceira coluna (Argamassa B).

Tabela 6: Resultados do Ensaio de Compressão das Argamassas

CP	Argamassas A			Argamassas B		
	Carga (Tf)	Tipo de Ruptura	Tensão (MPa)	Carga (Tf)	Tipo de Ruptura	Tensão (MPa)
1	3,8	E	18,99	1,56	E	7,79
2	4,04	E	20,18	11,67	E	8,34
3	4,51	E	22,53	1,69	C	8,44
4	4,25	E	21,23	1,99	E	9,94
5	5,23	E	26,13	2,13	E	10,64
6	-	-	-	2,38	B	11,89

Fonte: Autor, 2019

As rupturas tipos E, C e B, conforme NBR 5739/2018 (Anexo 2), são respectivamente: Cisalhada, Coluna com formação de cones e cônica bipartida.

Devido a limitações da quantidade de moldes de corpos de prova do laboratório de materiais, só foram moldados 5 CP's para argamassa tipo "A", uma a menos que a tipo B.

Escolheu-se utilizar mais CP's para a argamassa com resíduos, pois esperava-se uma maior dispersão entre os resultados dessa argamassa, como de fato foi comprovado nos resultados.

A termos de reduzir dispersões nos resultados do ensaio de compressão, para o cálculo das médias das tensões nas argamassas foram dispensados os valores discrepantes, como os valores máximos e mínimos.

A tabela 7 mostra os valores utilizados nos cálculos das médias, desvio padrão e coeficiente de variação, bem como o resultado do índice de atividade pozolânica.

Tabela 7: Índice de Atividade Pozolânica

CP	Tensão (MPa)	
	Argamassa A	Argamassa B
1	20,18	8,34
2	22,53	8,44
3	21,23	9,94
Média	21,32	8,91
Desvio Padrão	0,96	0,73
Coef. de Variação	4,51%	8,21%
Índice de Ativ. Pozolânica	42%	

Fonte: Autor, 2019

4.1.3 Resumo dos Ensaio de Caracterização dos Resíduos

A tabela 8 apresenta os resultados obtidos na caracterização dos materiais.

Tabela 8: Resumo dos Ensaio de caracterização

Ensaio \ Materiais	Resíduo	Areia	Cimento
Densidade pela NBR 16.605/2012 (g/cm ³)	2,46	1,6	3,1
Índice de atividade Pozolânica	42%	-	-
Início de Pega (min)	-	-	170
Fim de Pega (min)	-	-	230

Fonte: Autor, 2019

Nota-se que aos 28 dias a massa ensaiada atingiu o percentual de 42%, bem inferior aos 90% que a norma NBR 5752/2014 recomenda para classificação como material pozolânico. No

entanto, no experimento realizado por Guignome (2014), esse percentual também não foi atingido. Sendo porém, atingido quando o autor repetiu o ensaio para 90 dias.

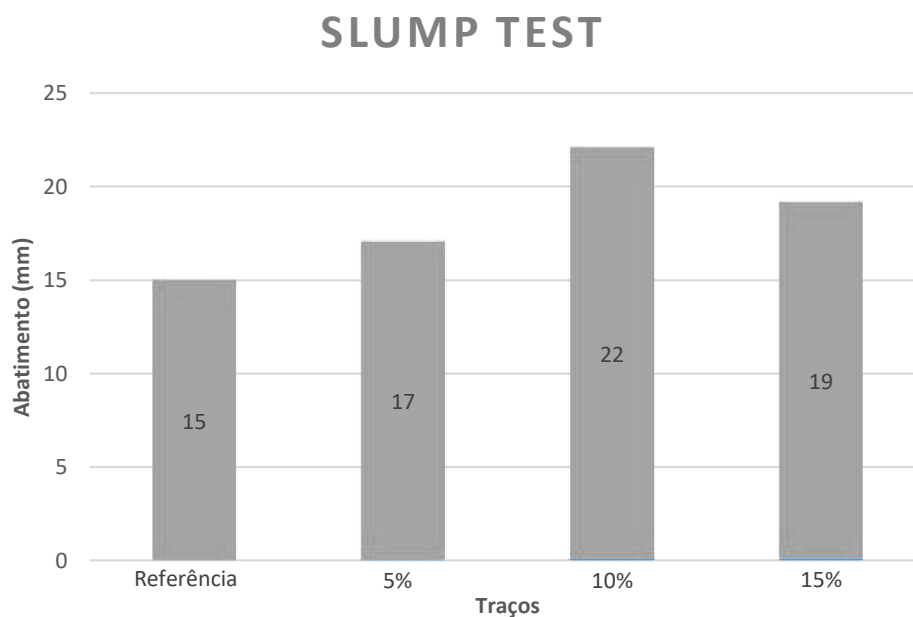
4,2 Ensaio no Estado Fresco

No estado fresco do concreto foi realizado o ensaio de abatimento em tronco de cone (Slump Test) pela NBR NM 67. Através deste foi possível avaliar a trabalhabilidade dos quatro traços de concreto.

Através do gráfico a seguir verifica-se que o acréscimo de resíduos de vidro contribuiu com o aumento da trabalhabilidade até um certo ponto. Nota-se que o traço de referência indicou um abatimento de 15 mm, que foi melhorado em 2 mm com acréscimo de 5% de vidro e atingiu o maior abatimento para o traço com 10% de resíduos, 22 mm.

Não foi possível determinar o ponto máximo citado no parágrafo anterior, uma vez que para tal seria necessário a repetição do ensaio de abatimento com percentuais de resíduos intermédios. No entanto, pelo gráfico é possível inferir que ele se encontra-se de no intervalo de 5 a 15 por cento.

Gráfico 2: Slump Test



Fonte: Autor, 2019

Os resultados denotam que existe uma relação entre adição de resíduo de vidro para com o abatimento, uma vez que o máximo foi atingido para 10% e com 15% o abatimento diminuiu em relação ao anterior.

Os resultados aqui obtidos diferem dos obtidos por Simões (2013) e Guignome (2017), que avaliaram a substituição parcial do cimento por vidro (5, 10 e 15%) em traços de concreto e obtiveram ligeira diminuição da trabalhabilidade do concreto que pode ter sido causada devido a forma dos resíduos de vidro utilizados e do índice de atividade pozolânica.

4.3 Ensaios no Estado Endurecido

Para avaliação das propriedades mecânicas do concreto no estado endurecido foram observados três parâmetros: a absorção, o índice de vazios e a resistência a compressão, como segue nos subtópicos a seguir.

4.3.1 Absorção e Índice de Vazios

Conforme a NBR 9778/2005, os ensaios para determinação do nível de absorção de água e índice de vazios, foram realizados com 3 corpos de prova de cada traço. Sendo assim, tais ensaios foram realizados para o traço de referência e para os demais traços (com acréscimo de vidro nas proporções de 5, 10 e 15%). Portanto, foram analisados 12 CP's.

A absorção exprime a razão (dada em porcentagem), da massa seca do concreto e a massa saturada do concreto, já o índice de vazios é calculado a partir desses mesmos parâmetros utilizados para a absorção, só que com o acréscimo da massa imersa (massa do CP dentro d'água, como mostra o anexo 10. Os resultados obtidos para o traço de referência encontram-se na tabela a seguir.

Tabela 9: Resultados dos Ensaios de Absorção e Índice de Vazios para o Traço de Referência

CP	Massa Saturada (g)	Massa Imersa (g)	Massa Seca (g)	Absorção (%)	Índice de Vazios (%)
1	3707,00	2256,70	3472,00	6,77	16,20
2	3689,00	2231,20	3443,00	7,14	16,87
3	3643,00	2197,20	3400,00	7,15	16,81

Fonte: Autor, 2019

A média entre as leituras registradas para a absorção foi de 7,02, já o desvio padrão e o coeficiente de variação foi de 0,18 e 3%, respectivamente, denotando assim, um resultado final de $7,02 \pm 0,18$ para a absorção. Dessa forma, tais resultados guardam significativa proporção para a absorção. Já para o índice de vazios, verificou-se resultados semelhantes: desvio padrão de 0,3 e coeficiente de variação de 2%, o que representa $16,63 \pm 0,30$

Quanto ao traço com acréscimo de 5% de resíduos, verificou-se resultado consistentes tanto para a absorção, quanto para o índice de vazios. O desvio padrão e coeficiente de variação

para a absorção apresentaram resultados muito baixos, sendo obtido 0,02 para o primeiro e 0,37% para o segundo, para o índice de vazios, 0,06 e 0,39% (desvio padrão e coeficiente de variação, obtendo assim uma absorção igual a $6,13 \pm 0,02$ e $14,68 \pm 0,06$ para o índice de vazios. Os resultados desses ensaios estão dispostos na tabela 10.

Tabela 10: Ensaios de Absorção e Índice de Vazios para o Traço com 5% de Resíduo

CP	Massa Saturada (g)	Massa Imersa (g)	Massa Seca (g)	Absorção (%)	Índice de Vazios (%)
1	3745,00	2274,50	3528,00	6,15	14,76
2	3781,00	2284,80	3562,00	6,15	14,64
3	3756,00	2279,80	3540,00	6,10	14,63

Fonte: Autor, 2019

Para 10% de resíduo não foi possível determinar o índice de vazios, uma vez que a balança utilizada para pesagem hidrostática dos CP's, não estava disponível no dia em que foi realizado o ensaio para este traço. Dessa forma só foi possível obter o percentual de absorção de água que foi de $6,30 \pm 0,32$, com coeficiente de variação de 5%. Os resultados do ensaio estão dispostos na tabela 11.

Tabela 11: Ensaio e Absorção para o Traço de 10%

CP	Massa Saturada (g)	Massa Seca (g)	Absorção (%)
1	3706,00	3484,00	6,37
2	3559,00	3337,00	6,65
3	3715,00	3509,00	5,87

Fonte: Autor, 2019

Perante os resultados do traço com 15% de resíduo também foram aferidos o desvio padrão e o coeficiente de variação para a absorção e o índice de vazios. Obtendo-se 0,27 e 4% para a absorção (tabela 12), ou seja, $6,07 \pm 0,27$ para absorção e, 0,59 e 4% para o índice de vazios, o que representa $14,42 \pm 0,59$.

Tabela 12: Ensaios de Absorção e Índice de Vazios para o Traço com 15% de Resíduo

CP	Massa Saturada (g)	Massa Imersa (g)	Massa Seca (g)	Absorção (%)	Índice de Vazios (%)
1	3750,00	2261,10	3524,00	6,41	15,18
2	3803,00	2296,00	3587,00	6,02	14,33
3	3760,00	2269,50	3555,00	5,77	13,75

Fonte: Autor, 2019

As tabelas 13 e 14 trazem o resumo dos índices obtidos nessa seção.

Tabela 13: Resumo dos Índices de Absorção

Índice\Traços	Referência	5%	10%	15%
Desv. Padrão	0,18	0,02	0,32	0,27
Coef. Variação	3%	0,37%	5%	4%
Absorção	7,02 ± 0,18	6,13 ± 0,02	6,30 ± 0,32	6,07 ± 0,27

Fonte: Autor, 2019

Tabela 14: Resumo dos Índices de Vazios

Índice\Traços	Referência	5%	15%
Desv. Padrão	0,30	0,06	0,59
Coef. Variação	2%	0,39%	4%
Índice e Vazios	16,53 ± 0,30	14,68 ± 0,06	14,42 ± 0,59

Fonte: Autor, 2019

4.3.2 Ensaio de Compressão

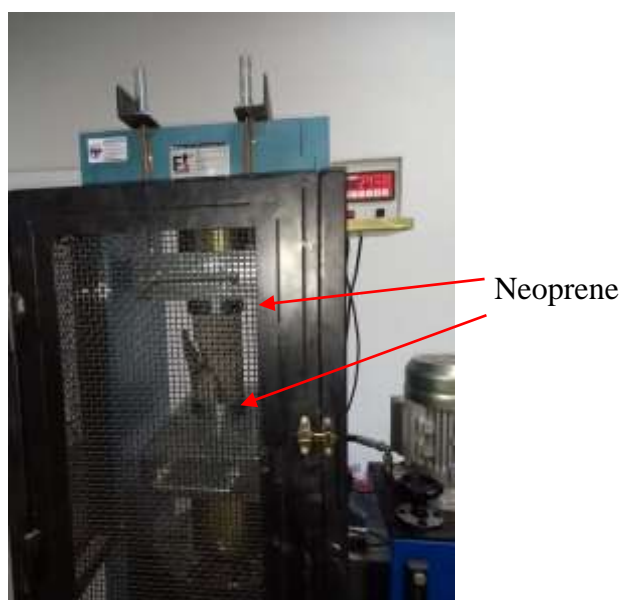
O ensaio de compressão foi realizado com 10 corpos de prova de cada traço, totalizando 40 CP's. Os resultados do ensaio estão dispostos na tabela 15. A terceira coluna da tabela (Carga Tf) refere-se a carga em toneladas aplicada nos CP's através da prensa, já a quarta coluna (Tipos de Ruptura), refere-se ao tipo de ruptura do CP observada no ensaio (disponível nos Anexos 5, 6, 7 e 8, conforme indicação da NBR 5739/2018). E finalmente a quinta coluna, refere-se a tensão de compressão (em MPa), obtida pela razão entre carga obtida na terceira coluna e a seção transversal do CP cilindro de 10 cm de diâmetro ($7,85 \times 10^{-3} m^2$).

Tabela 15: Ensaio de Compressão

Traço	CP	Carga (TF)	Tipo da Ruptura	Tensão (MPa)
Referência	1	12,65	F	15,80
	2	14,49	G	18,10
	3	16,01	E	20,00
	4	26,78	F	33,45
	5	28,10	E	35,10
	6	24,69	E	30,84
	7	24,41	E	30,49
	8	23,74	D	29,65
	9	28,78	E	35,95
	10	25,47	E	31,81
5%	1	15,48	E	19,34
	2	21,77	E	27,19
	3	20,79	C	25,97
	4	32,56	A	40,67
	5	27,53	E	34,39
	6	29,11	E	36,36
	7	31,30	E	39,10
	8	35,55	E	44,40
	9	29,56	E	36,92
	10	27,94	F	34,90
10%	1	14,23	B	17,77
	2	13,10	B	16,36
	3	25,56	E	31,93
	4	30,73	E	38,38
	5	28,89	E	36,09
	6	28,35	E	35,41
	7	25,90	C	32,35
	8	27,13	E	33,89
	9	28,63	E	35,76
	10	20,16	E	25,18
15%	1	20,39	C	25,47
	2	20,67	E	25,82
	3	21,17	F	26,44
	4	28,40	E	35,47
	5	27,41	E	34,24
	6	29,80	A	37,22
	7	30,42	E	38,00
	8	30,36	E	37,92
	9	29,46	F	36,80
	10,00	26,97	E	33,69

Devido a limitações do laboratório de materiais, os CP's foram ensaiados sem ter havido o capeamento dos mesmos. Durante a execução do ensaio, verificou-se que a carga aplicada nos dois primeiros CP's do traço de referência, não estava sendo aplicada de forma centrada. Dessa forma, nesses dois primeiros CP's houve rompimentos com fraturas no topo ou próximas ao topo (F e G, respectivamente), tendo em vista que a carga não foi corretamente distribuída. Justificando-se assim, o fato de terem sido registrados os menores valores de compressão para esses CP's. Dessa, optou-se pelo uso de uma peça auxiliar, o Neoprene, como mostra figura 22.

Figura 18: Rompimento dos CP's com o Uso do Neoprene

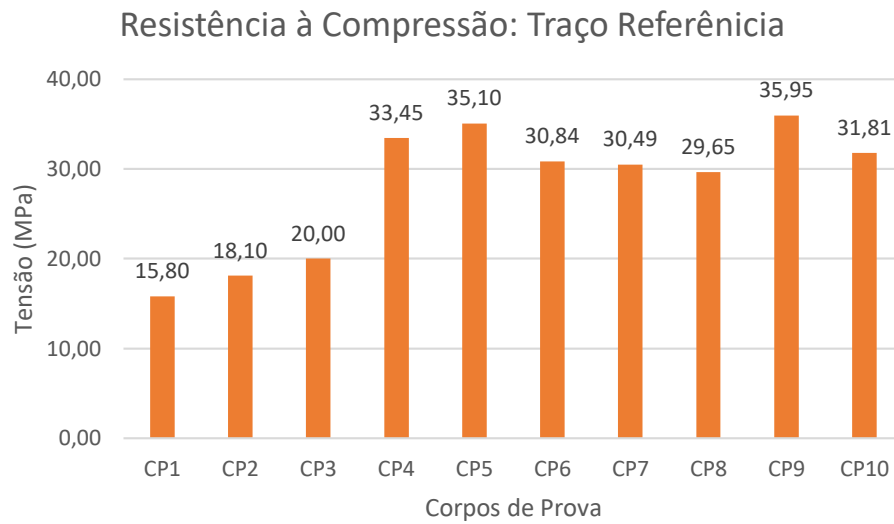


Fonte: Autor, 2019

Com a utilização do Neoprene, observou-se que a tensão passou a ser melhor distribuída pelos corpos de prova, uma vez que eles passaram a romper de forma cisalhada (tipo E) e que os CP's passaram a atingir a carga de ruptura esperada.

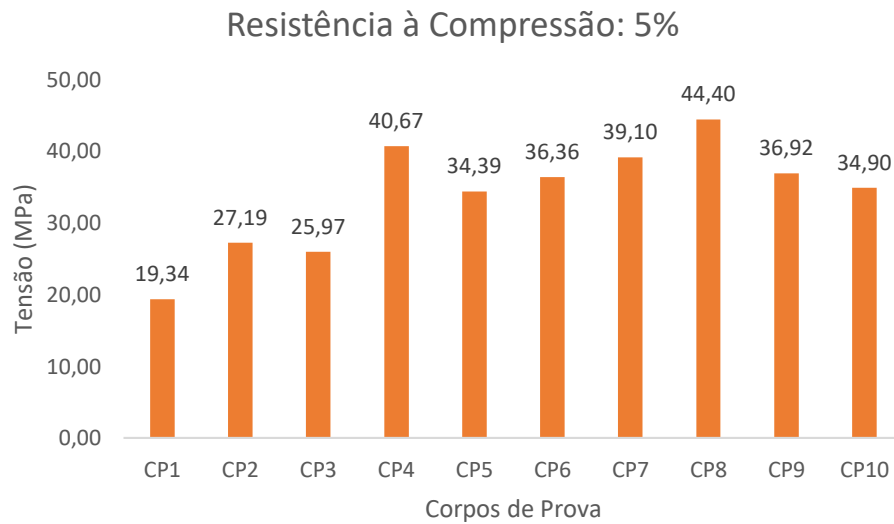
Pelos gráficos a seguir (3, 4, 5 e 6), torna-se mais perceptível notar que houve certas discrepâncias entre os resultados obtidos. Dessa forma para discussão dos resultados foram desconsiderados os resultados que se distanciam dos valores médios.

Gráfico 3: Ensaio de Compressão para os CP's de Referência



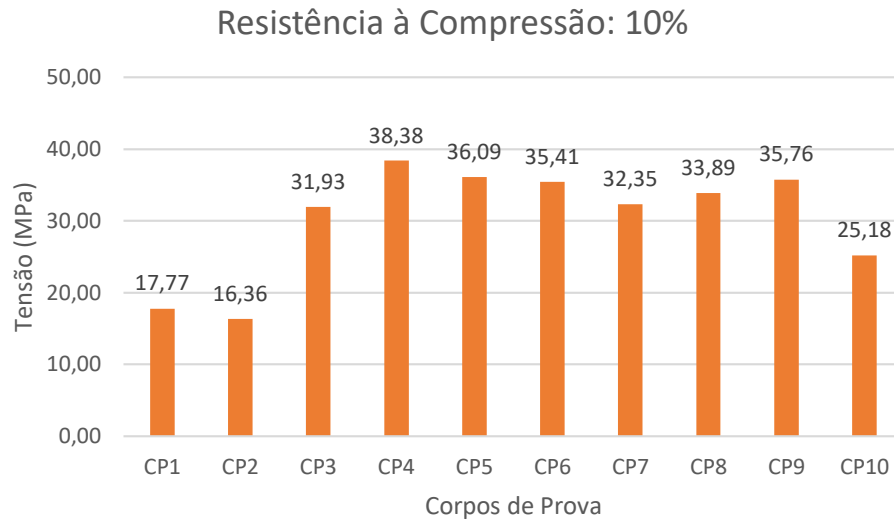
Fonte: Autor, 2019

Gráfico 4: Ensaio de Compressão para os CP's de 5%



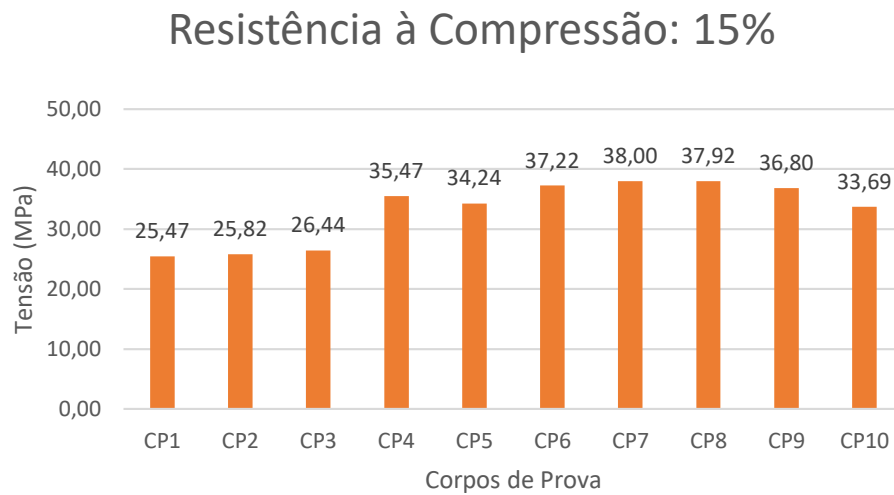
Fonte: Autor, 2019

Gráfico 5: Ensaio de Compressão para os CP's de 10%



Fonte: Autor, 2019

Gráfico 6: Ensaio de Compressão para os CP's de 15%



Fonte: Autor, 2019

Foram descartados 4 valores de cada ensaio (valores máximos e mínimos e outros valores que fugiram das medidas centrais). Em seguida foram calculados o desvio padrão e o coeficiente de variação, como segue na tabela 16.

Tabela 16: Avaliação dos Ensaio de Compressão

CP	Tensão de Compressão			
	TR	5%	10%	15%
1	31,81	34,39	31,93	33,69
2	29,65	34,90	32,35	34,24
3	30,49	36,36	33,89	35,47
4	30,84	36,92	35,41	36,80
5	33,45	39,10	35,76	37,22
6	35,10	40,67	36,09	37,92
Me	31,89	37,06	34,24	35,89
Desvio Padrão	1,86	2,22	1,64	1,55
Coef. Variação	5,84	5,98	4,79	4,33
Avaliação	Razoável	Razoável	bom	Bom

Fonte: Autor, 2019

Conforme consta na NBR 5739, na última linha da tabela anterior foi realizada a avaliação do ensaio de compressão pelo coeficiente de variação do dentro do ensaio. Segundo a referida norma, esta avaliação é feita conforme os intervalos dispostos na tabela 17

Tabela 17: Avaliação do Ensaio de Compressão pelo Coeficiente de Variação

Avaliação	Excelente	Muito Bom	Bom	Razoável	Deficiente
Coef. Variação	≤ 3	[3, 4]	(4, 5]	(5, 6]	≥ 6

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 5937

Dessa forma, os resultados obtidos no ensaio de compressão indicam níveis de certa qualidade estatística, o que possibilita confiabilidade no ensaio realizado. A seguir os resultados obtidos no ensaio de compressão serão analisados traço a traço.

Analisando os dados obtidos na coluna 2 (TR) da tabela 16, verificamos que foi obtido êxito nos cálculos para determinação da dosagem dos materiais, tendo em vista que os CP's do Traço de Referência atingiram o valor parra o qual foram dimensionados, 25 MPa, ficando seu valor de tensão final dentro da margem de $(31,89 \pm 1,86)$ MPa

Para o traço com incremento de 5% de resíduo, observou-se a maior resistência a compressão entre os quatro tipos de corpos de prova analisados. Obtendo-se uma tensão média

de 37,06 MPa. Considerando o desvio padrão, tem-se um valor final para os CP's com 5% de resíduo de $(37,06 \pm 2,22 \text{ MPa})$

Para o traço com incremento de 10% de resíduo obteve-se um valor médio de 34,24 MPa, valor que é menor que os demais traços com resíduo, porém ele foi maior que o obtido para o traço de referência. Considerando o desvio padrão, o valor final para o traço de 10% foi de $(34,24 \pm 1,64)$.

Quanto ao traço com acréscimo de 15% do resíduo, observou-se resistência à compressão média de 35,89 MPa. Portanto, para o referido traço encontrou-se uma resistência próxima ao valor que foi encontrado para o traço anterior (com 10%), no entanto, observa-se também, que para o traço de 15%, foram obtidos os menores valores para o desvio padrão (1,55 MPa) e o coeficiente de variação (4,33%), empregando-se assim, maior confiança no valor da compressão encontrada para este traço $(35,89 \pm 1,55)$.

Comparando os valores obtidos para os CP's com resíduo e os CP's sem resíduo, nota-se que em todos os 3 casos, o incremento de vidro proporcionou aumento da resistência a compressão. Para o acréscimo de 5% de resíduo foram obtidos um aumento de 16,20%, já para o acréscimo de 10%, verificou-se o menor aumento percentual, 7,36%, enquanto que o traço de 15% indicou um aumento percentual intermediário em relação aos demais de 12,54%, como mostra a tabela 18.

Analisando os índices de vazios e os resultados do ensaio de compressão, observamos que eles reservam proporção, uma vez que para os menores índices de vazios obteve-se as maiores resistências a compressão. Tal observação comprova a pozolanicidade do resíduo estudado (pó de vidro), uma vez que seu incremento nas massas de concreto proporcionou o fechamento dos vazios do concreto, proporcionando assim maior resistência a compressão e durabilidade do material.

Consoante a trabalhos semelhantes a este, como os de Guignome (2017) e Matos (2010), que realizaram experimentos acerca da substituição parcial do cimento por resíduos de vidro, foi possível concluir que o incremento de vidro em função da quantidade de cimento, é mais vantajoso que a substituição parcial do cimento. Uma vez que o primeiro, como demonstrado nessa pesquisa, gerou melhorias tanto nas propriedades do concreto fresco, quanto para as propriedades do concreto endurecido. Já o segundo, realizado pelos autores citados, mostrou apenas ganhos nas propriedades do estado fresco.

Tabela 18: Resumo dos Resultados dos Ensaio para o Estado Endurecido

Traços	Compressão (MPa)	Ganho em relação a TR (%)	Absorção (%)	Índice de Vazios (%)
TR	31,89 ± 1,86	-	7,02 ± 0,18	16,53 ± 0,30
5%	37,06 ± 2,22	16,20	6,13 ± 0,02	14,68 ± 0,06
10%	34,24 ± 1,64	7,36	6,30 ± 0,32	-
15%	35,89 ± 1,55	12,54	6,07 ± 0,27	14,42 ± 0,59

Fonte: Autor, 2019

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho a análise se destinou a analisar a influência do resíduo de vidro nas propriedades mecânicas do concreto. Para tal, foram realizadas metodologias em laboratório para aplicadas para quatro concretos: sendo um concreto de referência e três concretos com percentuais de acréscimo de vidro de 5, 10 e 15% (em função da quantidade de cimento).

Diante das pesquisas e ensaios realizados, observou-se que o acréscimo de resíduo de vidro em massas de concreto, atua em benefício do mesmo. Uma vez que o resíduo de vidro proporcionou o preenchimento dos vazios da massa de concreto, fazendo que a massa obtivesse melhores desempenhos de propriedades, tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido do concreto.

Para o estado fresco, o ensaio de abatimento mostrou que o incremento nas proporções adotada (5, 10 e 15% em função da massa de cimento), proporcionam ganhos na trabalhabilidade da massa de concreto. No entanto, comparando os resultados foi observado certo limite de acréscimo de resíduo, uma vez que foi obtido o melhor resultado para o acréscimo de 10%, e os acréscimo de 15% obteve um resultado melhor que o de 5%, mas é menor que o de 10%, denotando assim, que deve haver um valor máximo benéfico para a trabalhabilidade, que deve estar entre 10 e 15%.

Para determinação deste valor máximo benéfico seria necessário repetir esses ensaios, verificando de forma mais precisa a questão da atividade pozolânica. Sendo assim, necessário a verificação das formas das dimensões das partículas moídas e percentuais intermediários aos quais foram utilizados neste trabalho.

Quanto aos ensaios realizados no estado Endurecido do concreto, o melhor resultado foi obtido para o percentual de acréscimo de 5% de vidro, uma vez que este proporcionou, em relação ao concreto de referência, um acréscimo de 16,20% no valor da resistência a compressão. Já os demais percentuais, registraram aumentos de 12,54% e 7,36%, respectivamente para os traços com 15% e 10%. Ou seja, todos os percentuais utilizados se comportaram em benefício das propriedades do concreto no estado rígido.

Os resultados citados no parágrafo anterior, são justificados pela diminuição do índice de vazios proporcionada pelo incremento de vidro, pois observou-se que CP's com menores índice de vazios registraram maiores níveis de resistência a compressão. Dessa forma, as finas

partículas de vidro injetada no concreto atuaram preenchendo os vazios presentes na massa de concreto, proporcionando assim, maior durabilidade e resistência aos CP's analisados. Portanto, melhorou a atividade pozolânica dos concretos analisados

Diante disso, verifica-se que os percentuais de incremento de vidro propostos na pesquisa ofereceram resultado satisfatórios, uma vez que atuaram em benefício das propriedades pesquisadas.

Através deste experimento, foi possível mostrar que o compósito criado (concreto mais partículas de vidro), melhora as propriedades do concreto e, além disso, mostrou-se bastante viável economicamente, uma vez que elevou a resistência a compressão, sem que para isso fosse preciso acrescentar cimento a massa de concreto, bem como elevou a trabalhabilidade da massa fresca, sem que fosse preciso adicionar aditivos à massa.

Quanto a questão do gerenciamento de resíduos, o cenário atual mostra que o vidro é um dos materiais mais utilizado nas residências e casas comerciais, no entanto tem ainda seu descarte como um grande gargalo ambiental. Neste sentido, a pesquisa mostrou também viabilidade ambiental, uma vez que proporciona um melhor destino para os resíduos de vidro. Oferecendo assim, uma alternativa viável para a gerenciamento desse material.

5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se:

- Substituição parcial do pó de vidro pela areia;
- Utilizar índices intermediários aos que foram utilizados neste trabalho;
- Realizar outros ensaios como de resistência iônica e ensaio de espalhamento, bem como avaliar as possíveis influências relacionadas a forma final do material moído (se circular, se triangular ou outros);
- Repetir o experimento para tempos de cura maiores, como por exemplo 90 dias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. ABCP. **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**. (Guia Técnico), ABCP, 7 ed. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738**: Concreto: Procedimentos para Moldagem e Cura de Corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **ABNT NBR 5739**: Concreto: Ensaio de Compressão em Corpos de Prova. Rio de Janeiro. 2018.

_____. **ABNT NBR 5752**: Materiais pozolânicos: Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **ABNT NBR 7211**: Agregados para Concretos: Especificações. Rio de Janeiro. 2009.

_____. **ABNT NBR 11.579/2012**: Cimento Portland: Determinação do Índice de Finura por meio da Peneira 75 µm (n° 200). Rio de Janeiro. 2018.

_____. **ABNT NBR 12653**: Materiais Pozolânicos: Requisitos. Rio de Janeiro. 2014.

_____. **ABNT NBR 9778**: Argamassas e Concretos Endurecidos – Determinação da Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica. Rio de Janeiro.

_____. **ABNT NBR 16.605**: Cimento Portland: e Outros Materiais em Pó: Determinação da Massa Específica. Rio de Janeiro. 2017.

_____. **ABNT NBR 16.697**: Cimento Portland: Requisitos. Rio de Janeiro. 2018.

_____. **ABNT NBR 13.069**: Determinação dos tempos de pega em pasta de cimento Portland, com ou sem a utilização de aditivo acelerador de pega. Rio de Janeiro. 2012.

_____. **ABNT NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição Granulométrica. Rio de Janeiro. 2003.

_____. **ABNT NBR NM 65**: Cimento Portland – Determinação do tempo de Pega. Rio de Janeiro. 2003

_____. **ABNT NBR NM 67**: Concreto - Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone. Rio de Janeiro. 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO VIDRO. ABVIDRO. Disponível em <https://www.abividro.org.br/>. Acesso em 13/02/2019

ALVES, O. L.; GIMENEZ, I.F.; MAZALI, I.O. **Vidros**. **Revista Cadernos Temáticos**. (Revista Química Nova na Escola). Fev. 2001.

BARROS, C. **Vidros**. Instituto Federal Sul Rio-Grandense. Pelotas, 2010.

BAUER, L.A. F. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro. LTC, 2008a. 1v.

BAUER, L.A. F. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro. LTC, 2008a. 2 v

CALLISTER, W.D. Engenharia de Materiais: Uma Introdução. 5 ed. Rio de Janeiro. LTC, 2002.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado Segundo a NBR 6118:2014**. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2016.

CNV VIDROS. **Vidro Aramado**. Disponível em <http://www.cnvvidros.com.br/vidro-aramado>. Acesso em 31/01/2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER ME 084. Agregado Miúdo: Determinação da Densidade Real. Rio de Janeiro, 1995.

FREIRE, L.L.R. **Caderno Setorial ETENE – Indústria do Vidros Planos**. Banco do Nordeste, 2016.

GLANCEY, J. A História da Arquitetura. 1 ed. São Paulo: Loyola, 2001.

GUIGNOME, G.C. **Desempenho de Concretos com a Utilização de Resíduos da Lapidação do Vidro como Substâncias da Lapidação do Vidro como Substitutos Parciais ao Cimento**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2017.

LAMINADO GLASS. **Vidro Float**. Disponível em <http://laminadoglass.com/produtos/vidro-float/>. Acesso em 31/01/2019.

MATOS, A. M. **Estude de Argamassas com Substituição Parcial de Cimento por Resíduos de Vidro Moído**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade do Porto. Porto, Portugal 2010.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 1. Ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MULTPAINEL. **VIDRO TEMEPADO OU VIDRO MANINADO, QUAL USAR?**
Disponível em: encurtador.com.br/mQT36. Acesso em 31/01/2019.

NEVILLE, A.M; BROOKS, J.J. **Tecnologia do Concreto**. 2. Ed. Porto Alegre; Bookmam, 2013.

PEREIRA, A.J.V. **Desenvolvimento de Novos Produtos em Vidro Utilizando Tecnologias de Prototipagem Rápida**. 2010. Dissertação (Mestrado Design Industrial). Universidade do Porto. Portugal, 2010.

PBL DESINGN. **Vidro Laminado**. Disponível em <https://bit.ly/2UqFDN0>. Acesso em 31/01/2019.

POUPEAU, G; SCORZELLI, R.B. **Espectroscopia Mössbauer e Datação Por Traços de Fissão em Estudos de Proveniência de Arqueom Ateri Ais: Artefatos de Obsidiana**. Revista do Museu De Arqueologia e Etnologia. São Paulo. 1997.

SIMÕES, L.J. **Estudo da Aplicação de Resíduo de Vidro Laminado na Produção de Concreto**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2013.

SINIR (Sistema Nacional de Informações Sobre Gestão de Resíduos /Sólidos). **Relatório Técnico Acordo Setorial de Embalagens em Geral**. 2017.

SINIS (Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento). **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos de 2016**. Brasília, 2016.

SOBRAL, H.S. Propriedades do Concreto Fresco. 5 ed. São Paulo. Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2000.

TTR VIDROS. **Vidros de Controle Solar: Conforto Térmico na Arquitetura**. Fonte: <https://bit.ly/2HK833j>. Acesso em 31/01/2019

Anexo 1: Tabela: Quantidade de Material para moldagem de 6 CP's Cilíndricos

Material	Massa g	
	Argamassa A	Argamassa B ^a
Cimento CP II-F-32	624 ± 0,4	468 ± 0,4
Material pozolânico	–	156 ± 0,2
Areia normal ^b	1872,0	1872,0
Água	300 ± 0,2	300 ± 0,2
Aditivo superplastificante	–	^c

^a O material pozolânico e o cimento CP II-F-32 devem ser previamente misturados e homogeneizados em recipiente fechado, durante 2 min, aproximadamente.

^b Quatro frações de (468,0 ± 0,3) g.

^c Quantidade de aditivo superplastificante necessária para manter o índice de consistência normal da Argamassa B em ± 10 mm do obtido com a argamassa A, determinado conforme ABNT NBR 7215:1997, Anexo B. O aditivo deve ser adicionado na água de amassamento diretamente na cuba. O uso de aditivo é dispensável quando o índice de consistência da argamassa B for igual (± 10 mm) ou maior que o da argamassa A.

Fonte: ABNT NBR 5752/2014

Anexo 2: Tipos de Rupturas

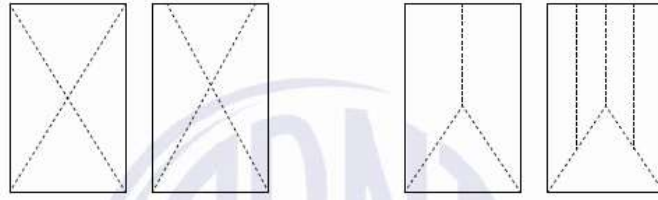


Figura A.1 – Tipo A – Cônica e cônica afastada em 25 mm do capeamento

Figura A.2 – Tipo B – Cônica e bipartida e cônica com mais de uma partição

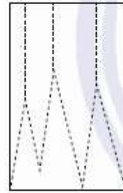


Figura A.3 – Tipo C – Coluna com formação de cones

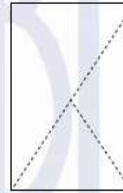


Figura A.4 – Tipo D – Cônica e cisalhada



Figura A.5 – Tipo E – Cisalhada

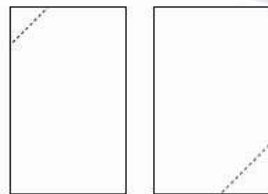


Figura A.6 – Tipo F – Fraturas no Topo e/ou na base abaixo do capeamento



Figura A.7 – Tipo G – Similar ao tipo F – com fraturas próximas ao topo

Fonte: ABNT NBR 5739, 2018

Apêndice A: Peso Imerso do CP's



Fonte: Autor, 2019

Apêndice B: Rompimentos dos CP' de Referência



Fonte: Autor, 2019

Apêndice C: Rompimento dos CP's de 5%



Fonte: Autor, 2019

Apêndice D: Rompimento dos CP's de 10%



Fonte: Autor, 2019

Apêndice E: Rompimento dos CP's de 15%



Fonte: Autor, 2019

Apêndice F: Rompimento da Argamassa com Resíduo



¹Fonte: Autor, 2019

Apêndice G: Rompimento das Argamassas sem Resíduo



Fonte: Autor, 2019