



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

DIEGO HEINER BORGES SILVA

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DO PÓ DE VIDRO ÂMBAR COMO AGREGADO MIÚDO NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO

Palmas - TO

2018

DIEGO HEINER BORGES SILVA

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DO PÓ DE VIDRO
ÂMBAR COMO AGREGADO MIÚDO NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO**

Trabalho de conclusão de curso (TCCII) 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. M.Sc. Fábio Henrique de Melo Ribeiro

Palmas - TO

2018

DIEGO HEINER BORGES SILVA

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DO PÒ DE VIDRO
ÂMBAR COMO AGREGADO MIÚDO NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO**

Aprovado em _____ de _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. M.Sc. Fábio Henrique de Melo Ribeiro

CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Prof.

CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Prof.

CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Palmas - TO

2018

“O que escrevo nasce de meu próprio amadurecimento, um trajeto de altos e baixos, pontos luminosos e zona de sombra. Nesse curso entendi que a vida não tece apenas uma teia de perdas mas nos proporciona um sucessão de ganhos. O equilíbrio da balança depende muito do que soubermos e quisermos enxergar.”

(Lya Luft)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente, por ter me dado força para concluir esse trabalho.

Agradeço a minha família por me apoiar e incentivar nesse período de faculdade me dando força para não desistir, ao meu filho que mesmo pequeno foi um grande motivacional para a conclusão desta etapa.

Agradeço a todos os amigos, colegas, funcionários e professores do CEULP/ULBRA que participaram de momentos, que me auxiliaram, que deram apoio nestes anos de faculdade.

RESUMO

Silva, Diego heiner borges. Avaliação da influência da utilização do pó de vidro âmbar como agregado miúdo nas propriedades do concreto. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas.

O presente trabalho visa o desenvolvimento sustentável do planeta e a prevenção do meio ambiente, órgãos publico e ONGs estão questionando o elevando volume de resíduos recicláveis em aterros sanitários. Neste, estudou-se a substituição da areia utilizada na produção de concreto por sucata de vidro moído, proveniente da moagem de garrafas “long neck” de vidro. Essas garrafas são apreciadas atualmente um dos mais problemáticos resíduos gerados do mundo, pois após o consumo da bebida são simplesmente descartadas, ou seja, o material é tratado como lixo ocupando espaço do destino final. Por isso que, este analisou-se o objetivo da viabilidade técnica do concreto com o uso do pó de vidro âmbar . Nesse estudo utilizou o pó de vidro na composição do concreto, adotando como teores de substituição do agregado miúdo Os estudos foram realizados à partir de um traço de referência com relação água/aglomerante 0.51, então para esta relação água/aglomerante foram dosados outros três traços com adições de 10% e 20% 40% de pó de vidro em substituição ao agregado miúdo. Para este estudo foram utilizados materiais comuns e de fácil obtenção na região de Palmas: cimento Portland, brita 0, areia natural, As dosagens seguiram método experimental baseado nos estudos de traço de ACI. 211.1-91 (American Concrete Institute). 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 e modulo de elasticidade.

Palavras chave: Pó de vidro âmbar, Concreto Convencional, Viabilidade Técnica e sustentabilidade ambiental.

ABSTRACT

Evaluation of the influence of the use of amber glass powder as a small aggregate on concrete properties. Course Completion Work (Civil Engineering). Faculty of Civil Engineering, University Center Luterano de Palmas.

The present work aims at the sustainable development of the planet and the prevention of the environment, public bodies and NGOs are questioning the increasing volume of recyclable waste in landfills. In this, the substitution of the sand used in the production of concrete by ground glass scrap from the grinding of long neck glass bottles was studied. These bottles are currently considered one of the most problematic waste generated in the world because after the consumption of the beverage are simply discarded, ie the material is treated as garbage taking up space of the final destination. For this reason, the objective of the technical feasibility of the concrete with the use of amber glass powder was analyzed. In this study, the glass powder was used in the composition of the concrete, adopting as substitute contents of the small aggregate. The studies were carried out from a reference trace with water / binder ratio 0.51, so for this water / binder ratio, with additions of 10% and 20% 40% of glass powder replacing the small aggregate. For this study were used common materials and easy to obtain in the Palmas region: Portland cement, crushed 0, natural sand, The dosages followed an experimental method based on the ACI trace studies. 211.1-91 (American Concrete Institute). Tests were carried out on the concrete in the fresh state, of concrete consistency determined by the method of cone truncation (Slump Test), in the hardened condition axial compressive strength test, tensile strength by diametrical compression and water absorption and modulus of elasticity.

Keywords: Amber glass powder, Conventional Concrete, Technical Feasibility and environmental sustainability.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Apresenta as propriedades obtidas para os agregados ensaiados. ABNT nm 248:2003	23
Tabela 2 - Apresenta as propriedades obtidas para os agregados pó de vidro ensaiado.	23
Tabela 3 - Apresenta as propriedades obtidas para os agregados ensaiado. abnt nm 248:2003	24
Tabela 4 - Relação da quantidade de corpos de provas por traço de concreto.	29
Tabela 5- Tolerância de tempo em função da idade para ensaio de compressão	31
Tabela 6- Descrição dos traços executados e dosagens	35
Tabela 7 - Consumo de materiais para os concretos dosados	35
Tabela 8 - Ensaio de caracterizados os agregados miúdos.....	36
Tabela 9 - Ensaio de Caracterização do vidro moído.....	37
Tabela 10 - Ensaio de caracterizados os agregados graúdos.....	38
Tabela 11- Ensaio massa específica do cimento Portland e Finura por meio da peneira n°200	39
Tabela 12 - Resultados de Slump test.....	39
Tabela 13 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão dos CPs	40
Tabela 14 - Resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral.....	42
Tabela 15- Resultados dos ensaios de absorção, massa específica seca e saturada.....	43
Tabela 16 - Resultados dos módulos de elasticidade teórico e prático.	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Composição granulométrica do agregado miúdo	36
Gráfico 2. Composição granulométrica do pó de vidro.....	37
Gráfico 3. Composição granulométrica agregado graúdo	38
Gráfico 4 – Resistência em função da idade dos corpos-de-prova.....	42
Gráfico 5 – Resistência à tração por compressão diametral.....	43
Gráfico 6 – Absorção de água nos traços dosados.	43
Gráfico 7 - Módulo de elasticidade dos concretos.	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação bidimensional da estrutura de (a) sílica cristalina e (b) sílica não cristalina.	7
Figura 2 - Vidro sodo-cálcico.	7
Figura 3 - Corpo de prova alinhado centralizando no dispositivo de compressão diametral. .	18
Figura 4 - Diferentes tipos de módulo de elasticidade.	18
Figura 5 – Moagem das garrafas trituradas	21
Figura 6 – Caracterização granulométrica do vidro moído.	21
Figura 7 - Ensaio de Granulometria.	22
Figura 8 - Determinação da massa específica do agregado miúdo.	24
Figura 9 - Determinação da massa unitária do agregado miúdo.	25
Figura 10 - Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem.	25
Figura 11 - Determinação do teor de argila em torrões nos agregado:.....	26
Figura 12 - Determinação do teor de argila em torrões nos agregado.....	26
Figura 13 - Ensaio de massa específica	27
Figura 14 - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (Slump test)	Erro! Indicador não definido.
Figura 15 - Ensaio de moldagem dos corpos-de-prova de concreto Erro! Indicador não definido.	
Figura 16 - Corpos de prova moldados.	30
Figura 17 - Corpos-de-prova em cura úmida	31
Figura 18 - Ensaio de resistência à compressão.....	32
Figura 19 - Ensaio de Tração por compressão diametral.	32
Figura 20 - Ensaio de Tração por compressão diametral.	33
Figura 21 - Ensaio de modulo de elasticidade.	33
Figura 22 - ensaios de absorção de água	34
Figura 23 e 24 – Ensaio de Slump test traço ref e 10%.....	39
Figura 25 e 26 – Ensaio de Slump test traço20% e 40%.....	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	2
2.1	OBJETIVO GERAL	2
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
2.3	JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO	2
3	REFERÊNCIAL TEÓRICO	4
3.1	VIDRO NA CONSTRUÇÃO	4
3.1.1	Breve histórico	4
3.1.2	Definição e tipos de vidros	5
3.1.3	Estrutura do vidro	6
3.2	CONCRETO	8
3.3	CONSTITUINTES	9
3.3.1	Cimento Portland	9
3.3.2	Agregado Graúdo	9
3.3.3	Agregado miúdo	10
3.3.4	Água	11
3.3.5	Aditivos	11
3.4	RESÍDUOS DE VIDROS EM CONCRETOS	12
3.5	PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AGREGADO DE VIDRO NO CONCRETO	13
3.6	INFLUÊNCIA DO PÓ DE VIDRO COMO MATERIAL CIMENTÍCIO EM CONCRETO	14
3.7	INFLUÊNCIA DO PÓ DE VIDRO NA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO NO CONCRETO	15
3.8	DOSAGENS DO CONCRETO	16
3.9	TAMANHO E FORMA DOS CORPOS DE PROVA	17
3.10	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO	17
3.10.1	Conceito de resistência à compressão	17
3.10.2	Determinação da resistência à compressão	17
3.11	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	17
3.12	MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO (EC)	18
3.13	ABSORÇÃO DE ÁGUA, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA	19
4	METODOLOGIA	20
4.1	LOCAL DE PESQUISA	20
4.2	ETAPAS PARA O BENEFICIAMENTO DOS RESÍDUOS DE VIDRO	20
4.2.1	Coleta e preparo dos materiais	20
4.2.2	Moagem	20
4.2.3	Peneiramento	21
4.3	CARACTERIZAÇÕES DOS MATERIAIS	22

4.4	AGREGADO MIÚDO.....	22
4.5	DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE AGREGADOS MIÚDO PARA CONCRETOS E ARGAMASSAS – NBR NM 248:2003.	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
4.6	DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE AGREGADOS GRAÚDO PARA CONCRETOS. – NBR NM 248:2003.	24
4.7	DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA	24
4.8	DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA	25
4.8.1	Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem. NBR NM - 46:2001.....	25
4.8.2	Determinação do teor de argila em torrões nos agregados: NBR 7218:2010.....	26
4.8.3	Impurezas orgânicas em agregados miúdos (NBR NM 49:2001).....	26
4.8.4	Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200) NBR11579:2001.....	27
4.9	DEFINIÇÃO DAS DOSAGENS	28
4.10	PRODUÇÃO DO CONCRETO.....	28
4.11	ENSAIO DE ABATIMENTO – SLUMP TEST	28
4.12	DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE (SLUMP TEST) (ABNT NM 67:1998).....	29
4.13	PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	29
4.14	MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA	30
4.15	PROCESSO DE CURA	30
4.16	ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL DE CORPO-DE-PROVA CILÍNDRICO (NBR 5739:2007).....	31
4.17	ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.....	32
4.18	ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO (EC)	33
4.19	ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	34
4.20	CIMENTO PORTLAND.....	27
4.21	DESENVOLVIMENTO DOS TRAÇOS.....	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
5.1	CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS.....	36
5.2	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	36
5.3	AGREGADO MIÚDO.....	36
5.4	AGREGADO GRAÚDO	38
5.5	MASSA ESPECÍFICA, MASSA UNITÁRIA, MATERIAL PULVERULENTO, MATÉRIA ORGÂNICA E TEOR DE ARGILA EM TORRÕES NOS AGREGADOS.....	38
5.6	ENSAIOS DE CIMENTO	39
5.7	RESULTADOS DOS ENSAIOS COM O CONCRETO NO ESTADO FRESCO.....	39
5.8	RESULTADOS DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO DO CONCRETO.....	40
5.9	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	42
5.10	ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	43
5.11	MÓDULO DE ELASTICIDADE	44

6	CONCLUSÕES	46
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	48
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
9	ANEXOS	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
9.1	RELATÓRIOS DE ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL E A RESISTÊNCIA A TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais de construção mais utilizados no mundo. Nos últimos anos, tem havido um grande interesse na utilização de resíduos de materiais e subprodutos em concretos. O uso desses materiais não só reduz o custo da fabricação do concreto, como também oferece vários benefícios ecológicos, como reduzir o custo do aterro sanitário, poupar energia e proteger o meio ambiente das possíveis poluições. Além disso, a sua utilização pode melhorar as propriedades de microestrutura, mecânica e durabilidade da argamassa e concreto. (GOUVEIA, 2012)

Dentre os diversos resíduos gerados, o vidro assume um papel relevante, uma vez que o Brasil produz em média 980 mil toneladas por ano, dos quais apenas cerca de 441 mil toneladas (45%) são alvo de processos de reaproveitamento. O principal mercado para reciclagem de vidros é formado pelas vidrarias, que compram o material de sucateiros na forma de cacos ou recebem diretamente de suas campanhas de reciclagem (CEMPRE, 2013).

O vidro é composto principalmente de sílica. O uso de resíduos de vidro moído em concreto como substituição parcial do cimento, pode ser um passo importante para o desenvolvimento de sistemas de infra-estrutura sustentáveis. O aproveitamento dos resíduos de vidros descartados conserva uma grande quantidade de matéria prima que seria necessário para a produção de outros produtos e até mesmo o próprio vidro, o mesmo sendo um material frágil, porém não fraco. Ele tem grande resistência à ruptura, podendo mesmo ser utilizado em pisos, é duro e rígido, porém não tenaz não sendo apropriado para aplicações sujeitas a impactos. O vidro é um material cerâmico, sólido não cristalino de óxido tradicional. Entre as principais características do vidro destaca-se sua elevada durabilidade química (SHACHELFORD, 2008).

Com base nos estudos que foram realizados sobre o aproveitamento dos resíduos de vidro reciclado, espera-se que os benefícios dos resíduos de vidro possam ser utilizados para o uso combinado deles. Com base nesse contexto, a viabilidade de utilizar os resíduos de vidro para adição parcialmente no concreto em diferentes concentrações a serem observadas, investigando, comparando através de ensaios físicos mecânicos.

No referencial teórico mostrara o histórico da matéria prima, os tipos, e as composições contidas no vidro, assim como descreve os constituintes de ensaios, resistências e compostos utilizados para embasamento da pesquisa segundo normas e fundamentações técnicas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a viabilidade técnica do concreto com o uso do pó de vidro âmbar. Nesse estudo utilizou o pó de vidro na composição do concreto, adotando como teores de substituição do agregado miúdo pelo resíduo, 10%, 20%, 40%, (referentes à massa peso de cimento).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o resíduo de pó de vidro com relação aos índices físicos de acordo com a NBR 7211:2005;
- Avaliar a influência da substituição do pó de vidro como agregado miúdo nas propriedades do concreto no estado plástico: trabalhabilidade, massa específica;
- Avaliar a influência da substituição do pó de vidro como agregado miúdo nas propriedades do concreto no estado endurecido NBR 12655:2015.

2.3 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

A inclusão de práticas sustentáveis na construção civil tornou-se um ponto de convergência para todos os agentes da sociedade, tais como os investidores da área, o poder público, construtores e até mesmo os consumidores, ou seja, os que usufruem do produto. De acordo com a NBR 15.575/2013, as exigências de sustentabilidade para qualquer empreendimento são expressas pelos fatores de durabilidade, manutenibilidade e adequação ambiental.

O uso dos recursos recicláveis tem se tornado cada vez mais constante de forma a conservar o meio ambiente, poupar soluções e diminuir os custos. A reciclagem é uma das condições para atingir o desenvolvimento sustentável. Segundo John e Agopyan, (2000) a reciclagem é uma atividade que vêm motivando muito por razões práticas e econômicas. Por exemplo, a utilização de resíduos como aglomerante no concreto encontrar-se agregada à sugestão que pode melhorar o desempenho do concreto e argamassa desenvolvendo produtos que a base de resíduos capazes de competir no mercado e contribuir para o desenvolvimento sustentável.

A utilização na construção civil como um aglomerado ao concreto é uma forma de destinação que aproveita muito das propriedades do vidro, pois um material com características pozolânica precisa necessariamente conter Sílica em grande quantidade, o vidro contém aproximadamente 70% de sílica em sua composição segundo (BAUER, 1994).

Segundo Gonçalves, a intenção de contribuir para a preservação do meio ambiente, cada vez mais se utilizam materiais recicláveis que possam melhorar as características físicas e químicas do concreto, tornando-o ainda mais eficiente (GONÇALVES R. D. C 2001).

Neste argumento, o vidro tem muito a contribuir, pois se trata de um material Reciclável, com baixíssimo custo, e tem em sua composição, grande quantidade óxido de sílica e de cálcio, podendo apresentar características pozolânicas, melhorando as propriedades mecânicas do concreto. O material pozolânico é definido pela ASTM C 618 (1978) e pela NBR 12653 ABNT, (1992) Isaia (2005), como um material silicoso ou sílico-aluminoso que por si só possui pouca ou nenhuma propriedade cimentícia, mas, quando finamente dividido e na presença de umidade, reage quimicamente com o hidróxido de cálcio, á temperatura ambiente, para formar compostos com propriedades cimentantes.

Com o uso do pó de vidro, adicionado ao concreto como agregado miúdo, estaria minimizando esses impactos ambientais, reciclado o vidro estamos contribuindo com o meio ambiente, pois este material deixa de ir para os aterros sanitários ou para a natureza (rios, lagos, solo, matas). Não devemos esquecer também, que a reciclagem de vidro gera renda para milhares de pessoas no Brasil que atuam, principalmente, em cooperativas de catadores e recicladores de vidro e outros materiais reciclados.

Uma das etapas mais importantes no processo de reciclagem de vidro são a separação e coleta seletiva. Nas empresas, condomínios e outros locais existem espaços destinados ao descarte de vidro. Uma das primeiras etapas no processo de reciclagem do vidro é sua separação por cores (âmbar, verde, translúcido e azul) e depois por tipos.

De acordo com Sino Reto,(2001), a reciclagem de resíduos no Brasil em frente muitos problemas com a falta de incentivo do próprio Governo como isenção de tributos para estimular a reciclagem com isso donos de bares e boates vivem um dilema em relação ao descarte de garrafas de vidro.

A reciclagem do vidro, além de poupar uma boa parte dos recursos naturais, também consome menor quantidade de energia e emite menos material particulado que a fabricação do vidro sem a incorporação de cacos. Vale ressaltar que, com um quilo de vidro se faz outro quilo de vidro, com perda zero. Outros aspectos a considerar ao se reciclar o vidro é a menor geração e descarte de resíduos sólidos urbanos, a redução nos custos de coleta urbana e o aumento da vida útil dos aterros sanitários (ABVIDRO,2009).

3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

3.1 VIDRO NA CONSTRUÇÃO

3.1.1 Breve histórico

Data-se que os primeiros registros por volta do ano 5000 a. C. sobre um novo material encontrado por comerciantes fenícios, o vidro. Acredita-se que a partir da tentativa de criar uma fogueira, através da combinação de uma mistura onde colocaram areia e blocos de nitrato de sódio, os fenícios visualizaram o líquido transparente, que então mais tarde seria o vidro.

Através dos romanos por volta do ano 100 a. C. que contribuíram para a criação das indústrias de vidros. Através das técnicas de sopro dentro de moldes produziam vidro aumentando em muito, a possibilidade de fabricação em série das manufaturas, as primeiras janelas com utilização de vidro foram usadas pelos romanos (USP, 2011).

As fontes pesquisadas não trazem ao certo o período e o povo que descobriu o vidro. Sabe-se, no entanto, que egípcios, sírios, fenícios, assírios, babilônios, gregos e romanos, já realizavam trabalhos com o vidro. Devido a isto não é possível atribuir à descoberta do vidro a um único povo e a uma única época. No entanto, numa das fontes pesquisadas, o historiador romano Pliny (23-79 AD), atribui aos fenícios a descoberta acidental do vidro. (www.waiser.com.br/vidraria/historia-vidro.html)

Os povos da Mesopotâmia e os egípcios já conheciam as técnicas rudimentares de sua fabricação, em 2700 a.C.; pois em escavações arqueológicas nas proximidades de Bagdá fora encontrado um cilindro de vidro azul, datado daquele período. No Egito, o mais remoto exemplo de vidro é um fragmento também azul escuro, uma espécie de amuleto, onde está escrito o nome de Antef II, faraó da 11ª Dinastia (2133 - 1991 a.C.). (www.waiser.com.br/vidraria/historia-vidro.html)

Segundo (CONTE, 2011), o vidro no Brasil foi introduzido entre os anos de 1625 e 1634, durante as invasões holandesas, no período que em Pernambuco, alguns artesões da comitiva do príncipe Maurício de Nassau fundaram a primeira oficina de vidro. Iniciou-se nessa oficina, a fabricação de pequenos vidros para janelas e de alguns copos e frascos. Quando ocorreu a expulsão dos holandeses, foi fechada a oficina e o vidro voltou a ser produzido no país em 1810, no momento que foi montada, na Bahia, a primeira fábrica de vidros: a “Real Fábrica de Vidros da Bahia”, criada pelo português Francisco Ignácio de Siqueira Nobre, mediante a autorização do regente D. João, recém-chegado ao Brasil. A produção era artesanal, utilizando-se os processos de sopro e prensagem, assim sendo que as peças eram produzidas uma por vez. A fábrica instalada na Bahia, tinha como atividade produzir vidros lisos, de cristal branco, frascos, garrações e garrafas.

O Ajuntamento entra as empresas, a inglesa Pilkington e afrancesa Saint-Gobain, no ano de 1982 criaram no estado de São Paulo, a Cebrace. Tornando assim a Cebrace como a primeira fábrica de vidro float do Brasil, hoje possuindo três unidades no estado, onde juntas produzem até cerca de 1.800 toneladas de vidro por dia (CEBRACE, 2011).

3.1.2 Definição e tipos de vidros

Segundo a CEBRACE o vidro é uma substância inorgânica, homogênea e amorfa, alcançada através do resfriamento de uma massa em fusão. Suas principais características são a transparência e a dureza. O vidro tem incontáveis aplicações nas mais variadas indústrias, dada suas características de inalterabilidade, dureza, resistência e propriedades térmicas, ópticas e acústicas, tornando-se um dos poucos materiais ainda insubstituíveis, estando cada vez mais presente nas pesquisas de desenvolvimento tecnológico. (abravidro.org.br/vidros/cebrace/)

Internacionalmente uma definição aceita, conforme o autor Navarro, “ASTM (1037) Standards for Glass”. O vidro é um produto inorgânico de fusão que no processo é esfriado em uma condição rígida sem cristalização (AKERMAN,1990).

Ultimamente a definição mais completa é a proposta pelo do U.S.A National Research Council: “O vidro é, por difração de raios X, um material amorfo que exibe uma temperatura de transição vítrea. Esta é definida como o fenômeno pelo qual uma fase amorfa sólida exibe, devido à mudança de temperatura, uma variação repentina na derivada das propriedades termodinâmicas, tais como e coeficiente de expansão, em relação as suas respectivas fases cristalina e líquida”.

Conforme Akerman (2000), há a existência de infinitas formulações de vidros, sendo que depende da forma como será a sua aplicação, processo produtivo e da disposição de matérias-primas. As classes principais dos tipos de vidros são seis, e são divididas em:

✓ Vidros sodo-cálcicos

Mais antigos e bem utilizados encontrados facilmente através de frascos, garrafas, janelas e outros, os vidros sodo-cálcicos trabalham com sua decomposição dentro de uma faixa estreita de variação. Eles contêm, normalmente entre 8 a 12% em peso óxido de cálcio, 12 a 17% de óxido de sódio (AKERMAN, 2000).

✓ Sílica vítrea

Com preços elevados de difícil produção, composta por areia de sílica ou cristais de quartzo ponto de fusão 1725 °C. Sua característica é o baixo coeficiente de expansão térmica, tornando os ideais para aplicações em artigos de alta tecnologia como vidros de carros (AKERMAN, 2000).

✓ Silicatos Alcalinos

Os óxidos alcalinos são comumente incorporados nas composições de vidros carbonatos. A temperatura acima 550°C os carbonetos acabam reagindo com sílica formando um líquido silicoso e a proporção utilizada de carboneto e sílica ideal, formando um vidro com resfriamento (AKERMAN,2000).

As utilizações desses alcalinos na composição diminuem a resistência química do vidro. A adição com altas concentrações desses carbonatos, o vidro torna solúvel em água, formando a base da indústria de silicatos solúveis comumente utilizados em adesivos, produtos de limpeza e películas protetoras.

✓ Vidros ao chumbo

O chumbo possui uma longa faixa de trabalho utilizado em baixas temperaturas, devido às características é fabricados vidros nobres como copos, taças finas, o chumbo oferece um maior índice de refração, ampliando brilho, além de ter propriedades como resistividade e refração (AKERMAN, 2000).

✓ Vidros borossilicatos

Essa classe de vidros que apresenta alta resistência ao choque térmico e ataque químico, assim são utilizados na fabricação de materiais domésticos podendo ser levados ao fogo como o Matinex e do Pyrex e utensílios de laboratório (AKERMAN, 2000).

✓ Vidros alumino-borossilicatos

É semelhante ao borossilicato, mas tem maior capacidade de suportar alta temperatura, tem maior resistência à ação de produtos químicos e tem maior dificuldade de ser produzido. Misturado com condutor elétrico é usado em circuitos como resistência. (AKERMAN, 2000).

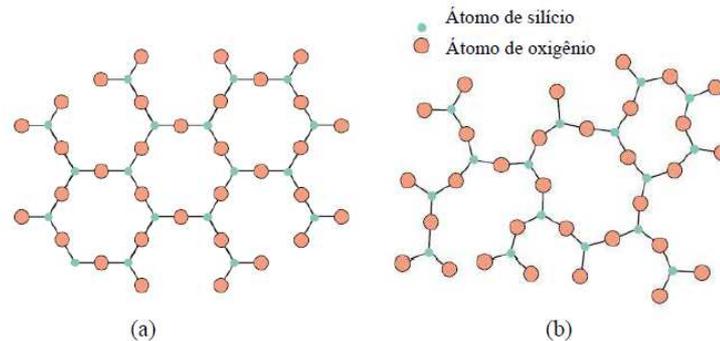
3.1.3 Estrutura do vidro

A denominação genérica de vidros ou de corpos vítreos, a denominação acaba por compreender a variedade de substâncias que, embora à temperatura ambiente aparenta ter aparência de corpos sólidos proporcionada por sua rigidez mecânica, no entanto não pode ser considerado como tais, devido ao fato da qual carecem da estrutura cristalina que caracteriza e define o estado sólido (AKERMAN, 2000).

Estruturalmente a sílica não cristalina apresenta-se de forma desordenada e não repetitiva e varia conforme a história térmica do vidro, o que ocasiona a dependência de como ocorre à taxa de resfriamento do vidro quando passo do estado líquido para o sólido (DELBIANCO FILHO, 2003).

A figura 1 demonstra a comparação entre a estrutura básica de um sólido não cristalino ou vidro, a outra estrutura constituída por sílica, conhecida como sílica vítrea. Vidros silicatos, assim como minerais, não são compostos por moléculas discretas, mas sim por redes interligadas tridimensionalmente.

Figura 1 - Representação bidimensional da estrutura de (a) sílica cristalina e (b) sílica não cristalina.

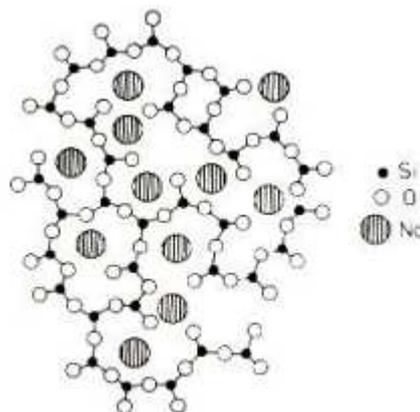


Fonte: Callister Jr, Rethwisch, 2016.

A unidade básica do vidro apresenta a estrutura tetraédrica SiO_4^{-4} , também tendo a possibilidade de formar outras estruturas vítreas através dos óxidos formadores da rede (B_2O_3 e GeO_2), óxidos modificadores de rede (CaO e Na_2O) e óxidos intermediários (TiO_2 e Al_2O_3) (CALLISTER Jr; RETHWISCH, 2016).

Vidro com formação a base de sílica com adição de outros óxidos, como os óxidos modificadores de rede CaO e Na_2O são adicionados para a utilização na fabricação de janelas, recipientes, entre outros produtos. A figura 2 mostra a representação esquemática de um vidro sodo-cálcico (NAVARRO, 1991).

Figura 2 - Vidro sodo-cálcico.



Fonte: Akerman, 2000.

Alguns tipos de átomos, como o caso do sódio, quando presente na composição do vidro, se ligam ionicamente ao oxigênio. Isto ocasiona a interrupção da continuidade da rede, já que alguns dos átomos de oxigênio não são mais compartilhados entre dois tetraédricos, sendo aliado somente a um átomo de silício como mostra a figura 2. É denominado este tipo de átomo de oxigênio como oxigênio não pontante. Devido a essa razão esses óxidos alcalinos são utilizados como fundentes que ocasiona a diminuição da viscosidade do vidro pois, quebram algumas ligações pontes (FOGAÇA, 2018).

Volumes apreciáveis de muitos óxidos inorgânicos podem ser incorporados aos vidros silicatos. Os elementos que como alternativa para a substituição do silício são chamados de “formadores de rede”. Alguns dos íons do tipo bivalentes, como magnésio e zinco, tem a característica que possibilita tanto ser formadores como também modificadores de rede, dependendo da natureza e quantidade dos outros membros constituintes na composição do vidro (AKERMAN, 2000).

Na construção civil, a produção de concreto é como uma grande fábrica de reciclagem com potencial para absorver vários tipos de resíduos. A adição de outros resíduos no concreto, na forma de agregado fino ou grosseiro já foi estudada por vários pesquisadores. Alguns desses resíduos são adicionados com o intuito de melhorar as características mecânicas dos concretos como a sílica, misturas de materiais pozolânicos, cinzas, pó de basalto, escórias, etc (Babu e Prakash, 1995).

Foi constatado em 1995 que o vidro pode influenciar na qualidade do concreto por outros efeitos que não o pozolânico e o da reação álcali/sílica. Foi verificado que o benefício da adição do vidro estava relacionado ao preenchimento de vazios entre os grãos do agregado fino (melhora do empacotamento das partículas). Já o efeito pozolânico aconteceria com vidros de granulometria fina ($< 0,75$ mm) uma vez que as partículas finas favorecem uma rápida e benéfica reação pozolânica. Para vidros com granulometria grosseira ($> 0,75$ mm), a reação álcali/sílica acontece com maior frequência, gerando o aumento do volume do concreto e causando diversos problemas futuros (Babu e Prakash, 1995).

3.2 CONCRETO

O concreto é um material compósito constituído por cimento Portland, água e agregados. Os agregados são materiais granulares como britas, seixos, ou também outros tipos de resíduos. Quando se trata de agregados de acordo com a norma NBR 7211 os agregados são considerados graúdos (granulometrias superiores a 4,75 mm) e agregado miúdo com granulometrias superior a 0,075 mm e inferior a 4,75 mm de diâmetro (BARROS, 2016).

Após adicionar os materiais que constituem o concreto e realizar o amassamento, ele se torna um material endurecido com alta resistência à compressão axial e baixa resistência à tração. A dureza do concreto está ligada diretamente do fator relação água/cimento, quantidade de agregados, tipos de agregados, e também da homogeneização no momento da aplicação na obra. Uma homogeneização mal caracterizada pode interferir na resistência física do concreto, fazendo com que se torne uma pasta inviável para aplicação na construção civil. (NOGUEIRA, 2010).

O concreto é um dos materiais mais utilizados no mercado da construção civil, sendo que, mesmo entrando novos materiais que tem entrado no mercado da construção civil, ainda continua sendo o mais empregado devido suas propriedades serem de as mais adequadas para aplicação, além de possuir um menor custo e alta flexibilidade construtiva. O concreto é responsável por uma parte dos impactos ambientais provocado pelo homem, mas apesar de tudo é um dos mais empregados e importantes da atualidade. Para minimizar os impactos causados pela quantidade de resíduos gerados, é necessária uma pesquisa para aplicação de novos materiais em substituição aos tradicionais utilizados. Quando isso ocorre, gera benefício tanto ao meio ambiente por aproveitar os resíduos quanto às reservas geológicas do agregado utilizados que mantêm conservadas (BARROS, 2016).

3.3 CONSTITUINTES

3.3.1 Cimento Portland

Segundo o Instituto Brasileiro de Concreto (2011), o cimento Portland consiste de um grande valor agregado, sendo o constituinte mais caro do concreto. Como todo produto industrial, o cimento apresenta variações em sua característica ao longo do tempo. No mercado existem vários tipos de cimento, e como o estudo de dosagem do cimento no concreto varia de acordo com determinado cimento, pode ocorrer que, depois de um traço de concreto ter sido otimizado, mudanças no tipo de cimento podem comprometer o desempenho do concreto se não fizer os cálculos de acordo com as especificações do fabricante. Cimentos que apresentam quaisquer alterações na textura do concreto, sugerindo a formação de grumos (pequena porção de matéria cujas partículas estão aglomeradas) não deverão ser empregados na produção de concretos, pois interfere na estrutura física do mesmo.

3.3.2 Agregado Graúdo

Brita e seixo britado são materiais granulares produzidos pela indústria extrativa mineral que se caracterizam por apresentar dimensões e propriedades físicas, químicas e tecnológicas adequadas para uso como agregado graúdo na construção civil. Ambos são

obtidos da exploração de jazidas minerais, sendo que a brita passa por uma etapa a mais de tratamento mineral, a de britagem, antes de sua comercialização. São provenientes de rochas cristalinas sendo que, para o seixo, a desagregação se dá por processos naturais (DNPM, 2012).

No Brasil, a produção de brita divide-se por tipos de rochas, em 85% de rochas granitoides (granito, gnaisse, riolito e outras), 10% de rochas calcárias (calcário e dolomito) e 5% de basalto e diabásio. Pela variedade de rochas que podem ser exploradas para obtenção desses agregados, consideram-se como abundantes estes recursos em quase todos os países (DNPM, 2012).

Os agregados graúdos são classificados conforme os tamanhos das partículas componentes (diâmetros máximos e mínimos) a seguir, sendo esses os tamanhos mais utilizados na construção civil:

- a) Brita 0 – 4,8 a 9,5mm;
- b) Brita 1 – 9,5 a 19mm;
- c) Brita 2 – 19 a 38mm;
- d) Brita 3 – 23 a 50mm.

Segundo o Instituto Brasileiro de Concreto (IBRACON) os agregados graúdos devem ser escolhidos levando em consideração o tamanho do grão e a forma geométrica. A composição granulométrica desse agregado é de grande importância, pois quando há alterações na composição, interfere na quantidade de cimento a ser inserido na massa, pois quando os grãos se tornam uniformes de mesmo tamanho, diminui a trabalhabilidade do concreto fazendo com que diminua sua resistência.

3.3.3 Agregado miúdo

As areias são divididas em grossas, médias finas e muito finas, conforme o valor de seu módulo de finura. Esse resultado é obtido através da soma das percentagens do acumulado em cada peneira. As areias se dividem de acordo com o seu módulo de finura de acordo com a norma NBR 7211 onde estão descritas a seguir:

- a) Areia grossa - módulo de finura entre 3,35 e 4,05;
- b) Areia média – módulo de finura entre 2,40 e 3,35;
- c) Areia fina – módulo de finura entre 1,97 e 2,40;
- d) Areia muito fina – módulo de finura menor que 1,97.

Esses valores determinados da classificação das areias em relação ao seu módulo de finura são aproximados e indicados de acordo com a norma (NBR 7211 de 2009).

3.3.4 Água

A presença de impurezas na água ou elementos contaminantes durante o amassamento pode ocorrer alterações indesejadas. A água para utilizar no concreto deve ser potável livre de qualquer impureza, mesmo sendo de fontes subterrâneas deve passar por análises químicas. Dentre os fatores que implicam na contaminação da água estão os óleos, produtos químicos, graxas, dentre outros, essas contaminações são provocadas durante os períodos chuvosos, onde as águas que escoam de locais com esses resíduos são levadas para os rios e também infiltram no subsolo, provocando essas contaminações (IBRACON, 2011).

A água que normalmente é utilizada para preparo do concreto é a de abastecimento público é adequada para o concreto, não necessitando de ensaio. Também pode ser utilizada água potável que atende a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde é considerada dentro dos padrões exigidos pela norma do ABNT/CB-18. Já a água de esgoto, mesmo passando por tratamento para retirar as impurezas, não é adequada para uso em concreto (BORDIN, 2010).

Águas originadas de fontes subterrâneas, ou de captação pluvial ou ainda oriunda de processo residual industrial, podem ser de uso adequado para aplicação em concretos, porém deve ser ensaiada. Água salobra (com salinidade entre a da água do mar e as chamadas águas doces) também pode ser utilizada, porém com restrições ao uso em concretos armados (BORDIN, 2010).

3.3.5 Aditivos

Segundo a norma NBR 11768:1992 é considerado um aditivo um produto que quando incorporados em uma pequena quantidade em concreto contendo cimento Portland possui um poder modificar as propriedades do concreto adequando-os em melhores condições. É um tipo de produto que aumentam o índice de consistência do concreto mantendo as mesmas proporções do traço calculado na dosagem do concreto.

Para Mehta e Monteiro(2008), os aditivos são substâncias que quando acrescentada ao concreto tem a função de melhorar as propriedades do mesmo, como trabalhabilidade, resistência tempo de pega, fissuras dentre outras.

Freitas Junior (2013) especifica que o aditivo tem finalidade de: Aumentar a trabalhabilidade ou plasticidade do concreto, reduzir o consumo de cimento (custo), alterar acelerando ou retardando o tempo de pega, reduzir a retração e aumentar a durabilidade

inibindo a corrosão das armaduras, neutralizando as reações álcali-agregado, reduzindo o efeito do ataque por sulfatos e diminuir a permeabilidade.

3.4 RESÍDUOS DE VIDROS EM CONCRETOS

Os resíduos de vidro são conhecidos por sua menor condutividade térmica e maior retenção de calor em comparação com os agregados naturais. Omran et al (2017). O vidro de refrigerante possui um alto teor de sílica tipicamente usado em recipientes engarrafados aproximadamente 70%, pode produzir um vidro finamente moído, algumas propriedades pozolanas que podem ser benéficas para uso com cimento Portland (AFSHINNIA; RANGARAJU, 2015).

O vidro após ser utilizado pode ser reciclado diversas vezes em muitos países sem alterar significativamente suas propriedades físicas e químicas. Grandes quantidades de vidro não são possíveis ser reciclado devido à quebra no descarte, manuseio de forma inadequada, mistura de cor ou até mesmo o alto custo de reciclagem. A maioria dos resíduos de vidro é descartada em aterros, o que é indesejável, uma vez que não é biodegradável e pouco ecológico. Nos últimos anos, foram realizadas pesquisas para utilizar o resíduo de vidro como um material complementar de cimento ou um enchimento ultrafino em concreto, dependendo da composição química e da distribuição de tamanho de partícula. O pó de vidro moído com um tamanho de partícula de 30 μ m ou menor pode ser usado como um tipo de pó reativo para substituir parcialmente o cimento em certos tipos de concreto, diminuindo significativamente os efeitos adversos causados pela reação da sílica alcalina (SOLIMAN; TAGNIT-HAMOU, 2016).

O concreto de cimento Portland é um material poroso, com uma estrutura bastante heterogênea e complexa. Analisando sua macroestrutura identificamos dois constituintes principais: a pasta de cimento endurecida e partículas de agregado. Entretanto, analisando sua microestrutura com o auxílio de um microscópio, distinguimos que a pasta de cimento em contato com o agregado graúdo (numa espessura de 10 a 50 mm segundo MEHTA e MONTEIRO (1994) possui características diferentes do restante da pasta, podendo ser considerada mais uma componente do concreto.

Além disso, segundo MEHTA e MONTEIRO (1994):

“Cada uma das fases é de natureza multifásica. Toda partícula de agregado pode conter vários minerais, além de micro fissuras e vazios. Analogamente, tanto a matriz da pasta como a zona de transição contêm geralmente uma distribuição heterogênea, de diferentes tipos e quantidades de fases sólidas, poros e micro fissuras, acrescentando-se ainda o fato de

estarem sujeitas a modificações com o tempo, umidade ambiente e temperatura, o que torna o concreto, diferentemente de outros materiais de engenharia, um material com características parcialmente intrínsecas ao material.”

3.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AGREGADO DE VIDRO NO CONCRETO

Muitos estudos foram realizados para abordar as propriedades do concreto contendo resíduos de vidro utilizado como agregado Taha (2009). Um estudo de Ismail et al (2009) foi realizada com objetivo de avaliar as propriedades do concreto contendo vidro com um tamanho máximo de 4,75 mm como substituição do agregado miúdo. Verificou-se que os valores de redução das misturas de concreto contendo 10%, 15% e 20% de agregados de vidro diminuiram 23%, 30% e 33%, respectivamente. Este decréscimo progressivo nos valores de queda do concreto com níveis crescentes de agregado de vidro foi atribuído à baixa propriedade geométrica das partículas de vidro. Além disso, verificou-se que a densidade de misturas de concreto contendo 10%, 15% e 20% de agregado de vidro fino diminuiu 1,28%, 1,96% e 2,26%, respectivamente. Um estudo foi realizado para avaliar as propriedades frescas e endurecidas do concreto que contém resíduos de vidro como agregado graúdo com um tamanho de partícula entre 19 mm e 9,5 mm ou como agregado fino com um tamanho máximo de 4,75 mm de substituição. Verificou-se que a influência de usar menos de 25% de resíduos de vidro em concreto como substituição do agregado foi insignificante; no entanto, o uso de vidro como substituição de agregado graúdo com nível de dosagem mais elevado, ou seja, 50% de nível de substituição melhorou a capacidade de trabalho da mistura. Esta melhoria na viabilidade das misturas contendo 50% de agregado de vidro grosso foi atribuída à coesão fraca entre a partícula de vidro grosso e a pasta de cimento.

Um estudo de Park et al(2004) foi realizado para avaliar as propriedades mecânicas do concreto contendo diferentes proporções de agregados de vidro com diâmetro menor que 5 mm como substituição de agregados miúdos verificou-se que, à medida que aumentava a dosagem de agregado de vidro, os valores de resistência diminuiram e o ar aprisionado no concreto aumentou. O efeito negativo do uso de agregado de vidro sobre a capacidade de trabalho da mistura de concreto foi atribuído à forma angular das partículas de vidro verificou-se que quando 70% de agregado miúdo de vidro foram substituídos como agregado miúdo em mistura de concreto, o valor da resistência foi reduzido por 44,3%). O maior nível de ar em concreto contendo agregado de resíduo de vidro foi atribuído as formas angulares do agregado de vidro. Em termos de propriedades endurecidas, verificou-se que o uso de agregados de vidro no concreto afetou negativamente a resistência à compressão e à tração do concreto. Além disso, verificou-se que a cor do agregado de vidro não teve influência sobre as

propriedades frescas e endurecidas do concreto, indicando que essas propriedades são mais governadas pelas características físicas das partículas de agregados de vidro.

Topcu et al(2004) avaliou as propriedades frescas e endurecidas do concreto que contém resíduos de vidro como agregado graúdo tamanho de partícula entre 4 mm e 16 mm em misturas de concreto. Verificou-se que, com o uso de 60% de resíduos de vidro como agregado, os valores das misturas de concreto diminuiriam 0,2%. Portanto, descobriram que a influência do uso de agregados de vidro grosso sobre a trabalhabilidade das misturas de concreto era negligenciável. Verificou-se também que o teor de ar das misturas de concreto contendo agregado de vidro grosso era menor que o da mistura de referência. A redução de ar em mistura de concreto contendo agregado graúdo de vidro foi atribuída à superfície lisa das partículas de vidro, que diminuiu a porosidade entre partículas de vidro e pasta de cimento.

Kou et al(2008) realizou uma pesquisa para avaliar as propriedades frescas e mecânicas do concreto auto compactante contendo vidro residual com tamanho de partícula inferior a 5 mm como substituição de agregados miúdos. Em termos de propriedades frescas, verificou-se que o uso de agregados miúdo de vidro melhorou a capacidade de trabalho da mistura de concreto. Esta melhoria na capacidade de trabalho foi atribuída à fraca coesão entre partículas de vidro e pasta de cimento. No entanto, também foi observado um maior nível de segregação em misturas de concreto contendo agregado de vidro fino. Em termos de propriedades endurecidas, verificou-se que, à medida que a dosagem de agregado miúdo de vidro do concreto aumentou, a resistência à compressão e a resistência à tração dos concretos diminuiriam.

3.6 INFLUÊNCIA DO PÓ DE VIDRO COMO MATERIAL CIMENTÍCIO EM CONCRETO

O pó de vidro tem uma atividade pozolana com granulometrias a partir de 300µm, o vidro pode ter uma reatividade pozolânica a baixos níveis de reposição de cimento após 90 dias de cura Shi et al(2005). Este tamanho pode ser conseguido usando uma operação de moagem, que geralmente é usado na indústria de cimento para triturar o clínquer de cimento. Muitas pesquisas mostram que, quanto mais tempo de cura, o concreto de resíduos de vidro reciclado com 15% a 20% de substituição do cimento com pó de vidro fornece forças de compressão superiores às do concreto referência (ISLAM; RAHMAN; KAZI, 2016).

A influência do pó de vidro quando utilizada como substituição do cimento sobre a viabilidade das misturas de concreto foi avaliada em vários estudos. Um estudo de Shayan et al(2006). Mostram que as misturas de concreto contendo 10% e 20% de pó de vidro com um

tamanho médio de partícula de 10 μ m tiveram uma redução na resistência em 7% e 14% inferiores aos das misturas do concreto referência sem pó de vidro, respectivamente (SHAYAN, 2006).

Vários estudos foram realizados para avaliar a influência benéfica do pó de vidro como substituição do cimento Portland em misturas de argamassa ou concreto Taha (2009). A maioria dos estudos de pesquisa confirmou que, embora o pó de vidro com tamanho de partícula mais fino possa melhorar as propriedades do concreto, a incorporação de tamanho mais grosso pode aumentar a probabilidade de reação alcalina-sílica em tais misturas de concreto.

Um estudo de Ozcan et al (2008), foi realizada para avaliar o efeito do benefício do pó de vidro como substituição do cimento sobre a resistência à compressão da mistura de argamassa. Verificou-se que à medida que a dosagem do pó de vidro aumentava a resistência à compressão dos cubos de argamassa diminuiu. No entanto, a redução da força das argamassas em pó de vidro foi maior às idades iniciais, ou seja, a força de 7 dias em comparação com as idades posteriores. Enquanto a resistência à compressão de 7 dias das amostras de argamassa contendo 30% de pó de vidro como substituição de cimento diminuiu 19% em comparação com o de referência, a resistência à compressão de 28 dias das amostras de argamassa contendo 30% de pó de vidro como a substituição do cimento diminuiu 15%. A menor força nas primeiras idades foi atribuída à menor reatividade pozolânica do pó de vidro em idades de cura iniciais.

Shao et al (2000), realizou um estudo para avaliar o desenvolvimento de força de concreto contendo 30% de pó de vidro residual com três tamanhos de agregados diferentes tamanho 38, 75 e 150 μ m como substituição parcial do cimento. Verificou-se que os valores de resistência à compressão do concreto contendo pó de vidro de 75 μ m ou 150 μ m foram menores do que o concreto referência em todas as idades de 3, 7, 28 e 90 dias de cura, enquanto os 90 dias o valor de resistência à compressão da amostra de concreto contendo pó de vidro de 38 μ m excedeu a resistência à compressão de 90 dias da amostra de referência.

3.7 INFLUÊNCIA DO PÓ DE VIDRO NA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO NO CONCRETO

Segundo Taha e Nounu (2009), a utilização do resíduo de vidro na substituição do agregado miúdo em concretos possui alto risco de ocorrência da reação álcali-sílica, o que pode gerar fissuras e danos à durabilidade dos concretos. Os autores concluíram que para evitar a ocorrência de RAS deverá ser utilizado algum supressor desse tipo de reação, tais

como escória de alto forno, metacaulim, pó de vidro pozolânico e nitrato de lítio. Shi e Zeng, (2007), asseguram que para diminuir a expansão devido a RAS podem ser utilizados adições minerais principalmente em cimento pozolânico.

Existem publicações de diversos autores que o tamanho das partículas pode influenciar diretamente no aparecimento da reação álcali-sílica, prejudicando fortemente a durabilidade das estruturas de concreto. Ismail e Al-Hashmi (2009), Idir, Cyr e Tagnit-Hamou (2011), Shi et al (2005), Ling e Poon (2012), diversos garantem que as expansões devido a RAS são controladas quando o resíduo de vidro utilizado apresenta uma granulometria fina.

O uso de materiais agregados ao concreto, já foi estudado por vários pesquisadores. López, Azevedo e Neto (2005), por exemplo, pesquisaram o uso de vidro reciclado como substituto do agregado fino (areia) no concreto. Matos (2010).

Alguns destes materiais são adicionados com o intuito de melhorar as características mecânicas dos concretos ou simplesmente são adicionados para diminuir a quantidade de materiais destinados aos aterros. O uso de vidro já foi estudado e alguns países já utilizam este material como agregado fino no concreto, a Austrália, por exemplo, utiliza o vidro moído proveniente do lixo em concretos para construção. No Brasil, esta forma de valorização desse recurso é pouco utilizada, uma vez que o aterro é uma opção muito barata e a disponibilidade de matéria-prima para materiais de construção é abundante (LOPEZ; AZEVEDO; NETO, 2005, p. 3).

Petrucci (2007) considera a utilização do concreto com vidro possível, visto que o vidro adere perfeitamente ao cimento, dada sua adesividade molecular, e seu coeficiente de dilatação ser vizinho àquele do concreto e do aço e, na verdade, ligeiramente menor.

3.8 DOSAGENS DO CONCRETO

Na dosagem do concreto o principal objetivo é de produzir uma pasta de ótima qualidade que atenda as especificações necessárias para obter um material resistente de modo atender uma boa resistência e uma plasticidade suficiente para atender as exigências da construção civil. De acordo com o instituto Brasileiro de Concreto (IBRACOM), no proporcionalmente de dosagem do concreto é necessário colocar o cimento em um misturador definido com uma proporção de cimento, geralmente número de sacos, ou na unidade definida pela central de concreto para em seguida adicionar os agregados. Os agregados são adicionados de acordo com a norma de dosagem de concretos convencionais. A mistura do concreto é uma operação de grande importância, geralmente realizadas por betoneiras,

caminhões “mixer”, e de forma manual, através dela que obterá uma homogeneidade que determinará a resistência do concreto, assim definindo sua qualidade.

A resistência adotada como referência para a dosagem é a resistência média com 28 dias obtidos em corpos de provas padronizados de acordo com a Associação Brasileira de Normas técnicas (NBR 5739:2007).

3.9 TAMANHO E FORMA DOS CORPOS DE PROVA

O tamanho e forma dos corpos de prova têm significativa influência nos resultados dos ensaios de resistência à compressão e pode se tornar um problema para análise comparativa visto que diferentes países utilizam diferentes formas e tamanhos de corpos de prova. No Brasil, são utilizados, corpos de prova cilíndricos de dimensões 100 mm x 200 mm e 150 mm x 300 mm, nos Estados Unidos o corpo de prova padrão é um cilindro de 150 mm x 300 mm, já a norma britânica determina que possam ser utilizados cubos, cilindros ou prismas de diferentes dimensões (BS EN 12390-1, 2000; RAO et. al., 2011; MEHTA; MONTEIRO, 2014).

3.10 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

3.10.1 Conceito de resistência à compressão

No concreto, a resistência está relacionada com tensão máxima necessária para causar a ruptura. Mesmo sem sinais visíveis de fratura externa, o corpo de prova é considerado rompido quando não suportar uma carga maior, isso devido ao estado avançado de fissuração interna atingida (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

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. Basicamente, o ensaio consiste em posicionar o corpo de prova em uma prensa que aplicará um carregamento a uma velocidade constante de $0,45 \pm 0,15$ MPa/s até que haja uma queda de força indicando sua ruptura.

3.10.2 Determinação da resistência à compressão

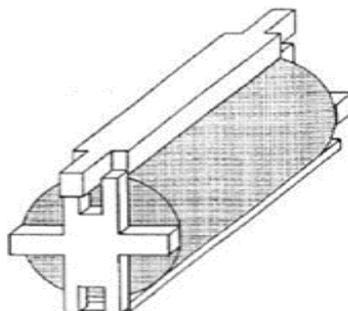
A resistência à compressão do concreto é determinada conforme a NBR 5739:2007, que prescreve um método de ensaio para corpos de prova cilíndricos de concreto. Basicamente, o ensaio consiste em posicionar o corpo de prova em uma prensa que aplicará um carregamento a uma velocidade constante de $0,45 \pm 0,15$ MPa/s até que haja uma queda de força indicando sua ruptura.

3.11 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Idealizado pelo brasileiro Lobo Carneiro, este ensaio mede a resistência à tração simples do concreto, baseando-se no princípio de que um cilindro, carregado diametralmente,

recebe tensões de tração, além das de compressão; sendo a resistência à tração do concreto numericamente bem menor que a de compressão, ele rompe por tração. (ABNT NBR 7222:2010)

Figura 3 - Corpo de prova alinhado centralizando no dispositivo de compressão diametral.



Fonte: ABCP, 2017.

3.12 MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO (E_c)

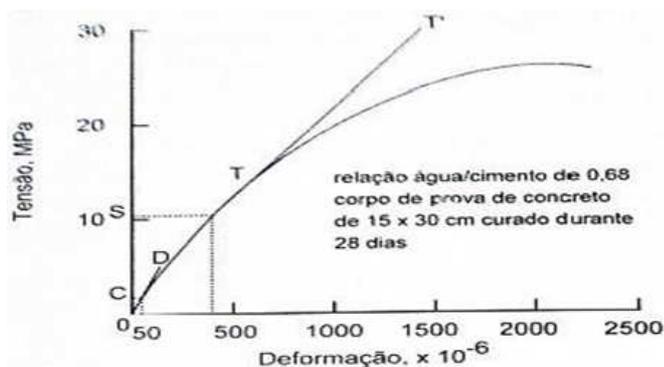
Conceito de módulo de elasticidade

Segundo Mehta e Monteiro (2014), o módulo de elasticidade do concreto pode ser descrito como a relação entre a tensão aplicada e a deformação instantânea dentro de um limite proporcional adotado, e é dado pela declividade da curva tensão-deformação sob carregamento uniaxial.

Devido a não linearidade da curva tensão-deformação do concreto, são definidos pelo menos três tipos de módulos de elasticidade, resumidos por (HELENE, 1998) e (MEHTA E MONTEIRO, 2014):

A Figura 2 apresenta os diferentes tipos de módulos de elasticidade, onde a declividade da linha OD representa o módulo de elasticidade tangente inicial, a declividade da linha SO corresponde ao módulo de elasticidade secante e a declividade da linha SC, ao módulo de elasticidade cordal.

Figura 4 - Diferentes tipos de módulo de elasticidade.



Fonte: Mehta e Monteiro (2014, p. 92).

3.13 ABSORÇÃO DE ÁGUA, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA

Estruturas de concreto sem revestimento estão, em maior ou menor grau, sujeitas à ação de agentes agressivos como o gás carbônico existente no ar, o sal da água do mar, os gases sulfurosos de uma rede de esgoto etc. Quanto mais poroso for o concreto, mais rapidamente esses agentes prejudicam a integridade da peça. Este ensaio avalia a porosidade do concreto em corpos-de-prova extraídos de estruturas ou moldados para o ensaio. (ABNT NBR 9778: 2009). Manual de Ensaios de agregados, concreto fresco e concreto endurecido MT 6” da Associação Brasileira de Cimento Portland. ABCP.

4 METODOLOGIA

Neste tópico, apresenta-se a metodologia aplicada para realização do trabalho, que é caracterizado como pesquisa básica, exploratória, experimental e laboratorial.

Tendo como base para o estudo o método de dosagem de concreto convencional definido nos parâmetros do método do ACI 211.1-91.

Para atingir os objetivos propostos, a metodologia empregada no presente trabalho foi desenvolvida de acordo com as etapas a seguir.

4.1 LOCAL DE PESQUISA

Todos os ensaios foram realizados no laboratório de materiais para construção civil e no laboratório de minas do departamento acadêmico de Engenharia do Centro Universitário do CEULP/ULBRA.

4.2 ETAPAS PARA O BENEFICIAMENTO DOS RESÍDUOS DE VIDRO

4.2.1 Coleta e preparo dos materiais

O vidro utilizado nos ensaios foi proveniente da coleta seletiva de garrafas do tipo long-neck, em um bar da Cidade de Palmas – TO. Sendo que este material foi escolhido devido a sua abundância e por não possuir uma destinação adequada segundo o proprietário do estabelecimento.

Foram coletadas 50 garrafas de vidro para atender a massa necessária para substituição e pensando no desperdício na fase preliminar, no rendimento do moinho e na separação na peneira 4,8mm. Após a coleta foram encaminhadas para as dependências do laboratório de Engenharia de Minas do CEULP/ULBRA onde passaram pelo processo de lavagem com água aquecida a 50°C para remoção dos rótulos e das impurezas presentes, para realização dos demais procedimentos.

4.2.2 Moagem

As garrafas foram quebradas manualmente com auxílio de um martelo e usando todos os materiais de segurança, adquirindo diferentes tamanhos de grão, os cacos foram postos no moinho de bolas durante 15 minutos para obtenção de um material granular, este processo se repetiu por várias vezes, pois o moinho não tinha capacidade de moer todo material em uma única vez, por isso repetimos, os processos de moagem demonstrado na figura 5. As mesmas foram realizadas em moinho de bolas de laboratório, (modelo jarro 200x300mm DXC) no laboratório de engenharia de minas do CEULP/ULBRA. O Moinho de bolas é um aparelho auxiliar na moagem de materiais através do sistema de jarros e esferas de porcelana ou aço inoxidável. Os jarros utilizados na moagem foram fabricados especialmente para suportar os desgastes do processo e moer quantidades de material até 1000 g por jarro.

Figura 5 – Moagem das garrafas trituradas



Fonte: Autor

4.2.3 Peneiramento

Os peneiramentos foram feitos por peneiras e agitador mecânico. Os ensaios de composição granulométrica são essenciais para os processos voltados para a extração em síntese. É com elas que foram feitas as análises granulométricas, estudo que permite identificar o diâmetro máximo e o módulo de finura dos agregados ensaiados.

Para obtenção de uma curva granulométrica, segundo ABNT NM 248:2003, os cacos foram peneirados mecanicamente, sendo aproveitados os resíduos passantes na peneira (# 4,8mm). Em relação à distribuição granulométrica do vidro moído, observa-se que as porcentagens retidas acumuladas nas diferentes peneiras estão dentro dos limites de distribuição granulométrica, previstos na ABNT 7211:2009, para que um material seja considerado agregado miúdo para concreto, conforme a figura 06.

Figura 6 – Caracterização granulométrica do vidro moído.



Fonte: Autor

Os materiais foram classificados através da composição granulométrica com peneiras da série normal juntamente com o agitador de peneiras eletromecânico, para o alcance de uma curva granulométrica, segundo ABNT NM 248:2003.

Nesta etapa foram caracterizados os agregados graúdos (Brita) e os agregados miúdos (Areia natural e pó de vidro) para utilização na fabricação do concreto de acordo com as normas específicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

- Composição granulométrica dos agregados (NBR NM 248:2003)
- Determinação do teor de material pulverulento (NBR NM 46:2003)
- Teor de argila em torrões e materiais friáveis (NBR 7218:2010)
- Determinação da massa unitária e volume de vazios (NBR NM 45:2006)
- Determinação da massa específica aparente e absorção do agregado graúdo (NBR NM 53:2009).

As características do aglomerante (cimento) foram extraídas dos ensaios realizados em laboratório.

4.3 CARACTERIZAÇÕES DOS MATERIAIS

Nesta etapa foram caracterizados os agregados (graúdos, miúdos e resíduos de vidro) para fabricação do concreto conforme as normas exclusivas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, as propriedades do aglomerante (cimento) foram extraídas através de ensaios. Foram realizados os ensaios para determinação da massa específica, granulometria, dimensão máxima e módulo de finura.

4.4 AGREGADO MIÚDO

Foi realizados ensaios da areia natural classificada como media de procedência da draga Capital localizada em Palmas - TO. A caracterização deste material também se deu pela ABNT NM 248:2003 e encontra-se na Figura 7.

4.5 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE AGREGADOS MIÚDO PARA CONCRETOS. E ARGAMASSAS – NBR NM 248:2003.

Figura 7 - Ensaio de Granulometria.



Fonte: Autor

Tabela 1 - Apresenta as propriedades obtidas para os agregados ensaiados. ABNT NM 248:2003

Município:		Palmas - TO										Material: Areia Artificial			
PENEIRAS		1ª DETERMINAÇÃO			2ª DETERMINAÇÃO			MÉDIA % RETIDA		FAIXAS GRANULOMÉTRICAS-NBR 1211 AGR P/CONCRETO					
Pol / Nº	(mm)	MASSA	% RETIDA		MASSA	% RETIDA				ZONA-1	ZONA-2	ZONA-3	ZONA-4		
		RETIDA (g)	Simples	Acumul.	RETIDA (g)	Simples	Acumul.	Simples	Acumul.	MUITO FINA	FINA	MÉDIA	GROSSA		
3/8	3,5		-	-		-	-	-	-	0	0	0	0		
1/4	6,3		-	-		-	-	-	-	0 - 3	0 - 1	0 - 7	0 - 7		
4	4,8	10,20	2,04	2,04	9,50	1,90	1,90	1,97	1,97	0 - 5	0 - 10	0 - 1	0 - 12		
8	2,4	58,70	7,74	9,78	41,20	8,24	10,14	7,99	9,96	0 - 5	0 - 15	0 - 25	5 - 40		
16	1,2	48,90	9,78	19,56	52,60	10,52	20,66	10,15	20,11	0 - 10	0 - 25	10 - 45	30 - 70		
30	0,6	116,80	23,36	42,92	122,30	24,46	45,12	23,91	44,02	0 - 20	21 - 43	41 - 65	66 - 85		
50	0,3	193,50	38,70	81,62	188,20	37,64	82,76	38,17	82,19	50 - 85	60 - 83	70 - 92	80 - 95		
100	0,15	78,00	15,60	97,22	69,50	13,90	96,66	14,75	96,94	85 - 100	90 - 100	90 - 100	90 - 100		
FUNDO		13,90	2,78	100,00	14,70	2,94	99,60	2,86	99,60	100	100	100	100		
TOTAL		500,00	100,00		498,00	99,60		99,80		FAIXA GRANULOMÉTRICA					
TOTAL DA AMOSTRA		500,00	100,00		500,00	100,00		100,00		DETERMINE A ZONA:					
DIF. DA AMOSTRA		-	-		2,00	0,40		0,20		3					
MÓDULO DE FINURA				2,53			2,57	2,55		Areia Média					
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA:		4,8													

Fonte: Do autor

Tabela 2 - Apresenta as propriedades obtidas para os agregados pó de vidro ensaiado.

PENEIRAS		1ª DETERMINAÇÃO			2ª DETERMINAÇÃO			MÉDIA % RETIDA		FAIXAS GRANULOMÉTRICAS-NBR 1211 AGR P/CONCRETO			
Pol / Nº	(mm)	MASSA	% RETIDA		MASSA	% RETIDA				ZONA-1	ZONA-2	ZONA-3	ZONA-4
		RETIDA (g)	Simples	Acumul.	RETIDA (g)	Simples	Acumul.	Simples	Acumul.	MUITO FINA	FINA	MÉDIA	GROSSA
3/8	3,5		-	-		-	-	-	-	0	0	0	0
1/4	6,3		-	-		-	-	-	-	0 - 3	0 - 7	0 - 7	0 - 7
4	4,8		-	-		-	-	-	-	0 - 5	0 - 10	0 - 11	0 - 12
8	2,4	18,50	3,70	3,70	22,40	4,48	4,48	4,09	4,09	0 - 5	0 - 15	0 - 25	5 - 40
16	1,2	33,20	6,64	10,34	35,20	7,04	11,52	6,84	10,93	0 - 10	0 - 25	10 - 45	30 - 70
30	0,6	134,50	26,90	37,24	132,40	26,48	38,00	26,69	37,62	0 - 20	21 - 40	41 - 65	66 - 85
50	0,3	210,20	42,04	79,28	188,20	37,64	75,64	39,84	77,46	50 - 85	60 - 88	70 - 92	80 - 95
100	0,15	88,10	17,62	96,90	69,50	13,90	89,54	15,76	93,22	85 - 100	90 - 100	90 - 100	90 - 100
FUNDO		13,90	2,78	99,68	14,70	2,94	92,48	2,86	96,08	100	100	100	100
TOTAL		498,40	99,68		462,40	92,48		96,08		FAIXA GRANULOMÉTRICA			
TOTAL DA AMOSTRA		500,00	100,00		500,00	100,00		100,00		DETERMINE A ZONA:			
DIF. DA AMOSTRA		1,60	0,32		37,60	8,13		4,23		2			
MÓDULO DE FINURA				2,20			2,20	2,20		Vidro Moído			
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA:		2,4											

Fonte: Autor

Foram realizados de acordo com a NBR NM 248:2003 série normal e série intermediária compreende um conjunto de peneiras sucessivas, que atendam às normas NM-ISO 3310-1 ou 2, com as aberturas de malha estabelecidas.

4.6 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE AGREGADOS GRAÚDO PARA CONCRETOS. – NBR NM 248:2003.

Tabela 3 - Apresenta as propriedades obtidas para os agregados ensaiado. ABNT NM 248:2003

PENEIRAS		1ª DETERMINAÇÃO			2ª DETERMINAÇÃO			MÉDIA % RETIDA		FAIXAS GRANULOMÉTRICAS-NBR 1211 AGR F/CONCRETO			
Pol / Nº	(mm)	RETIDA (g)	% RETIDA		RETIDA (g)	% RETIDA		Simples	Acumul.	GRADUAÇÃO			
										0	1	2	3
2	50,00	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0
11/2	38,00	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	5
11/4	32,00	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	75
	25,00	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	5	25
	19,00	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	20	65
	12,50	30,20	3,02	3,02	23,80	2,38	2,38	2,70	2,70	0	10	30	50
	9,50	200,22	20,02	23,04	200,18	20,02	22,40	20,02	22,72	10	30	80	85
	6,30	548,00	54,80	77,84	551,50	55,15	77,55	54,98	77,70	40	80	92	100
	4,80	185,20	18,52	96,36	191,40	19,14	96,69	18,83	96,53	85	100	100	100
	2,40	1,20	0,12	96,48	1,30	0,13	96,82	0,13	96,65	95	100	100	100
	1,20	1,00	0,10	96,58	1,20	0,12	96,94	0,11	96,76	100	100	100	100
	0,60	1,00	0,10	96,68	9,00	0,90	97,84	0,50	97,26	100	100	100	100
	0,30	1,00	0,10	96,78	1,00	0,10	97,94	0,10	97,36	100	100	100	100
	0,15	1,00	0,10	96,88	1,00	0,10	98,04	0,10	97,46	100	100	100	100
FUNDO		43,80	4,38	101,16	30,20	3,02	101,06	3,70	101,16	100	100	100	100
TOTAL		1.012,62	101,26		1.010,58	101,06		101,16		FAIXA GRANULOMÉTRICA			
TOTAL DA AMOSTRA		1.000,00	100,00		1.000,00	100,00		100,00		DETERMINE GRADUAÇÃO:			
DIF. DA AMOSTRA		(12,62)	(1,25)		(10,58)	(1,05)		(1,15)		1			
MÓDULO DE FINURA			6,03			6,07		6,05		Brita			
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA:		19,0											

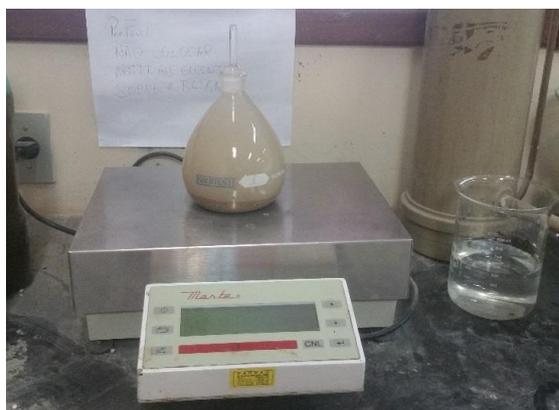
Fonte: Autor

Em relação ao material do ensaio, a granulometria do agregado graúdo (diâmetro máximo das partículas igual a 19 mm) está dentro dos limites da zona utilizável. Para a mesma amostra encontrou-se um módulo de finura 6,05 sendo classificado de acordo com NBR NM 248 o agregado é tipo 01 (19 mm). Sendo ótimo para dosar concreto segundo a NBR 12654 - Controle tecnológico de materiais componentes do concreto

4.7 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA

Esse passo foi realizado de acordo com a ABNT NBR NM 52/2009, a norma estabelece o método de determinação da massa específica e da massa específica aparente dos agregados miúdos utilizados na produção do concreto, já os agregados graúdos foram normalizados pela ABNT NBR NM 53/2009.

Figura 8 - Determinação da massa específica do agregado miúdo.



Fonte: Autor

4.8 DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA

Esse passo foi realizado de acordo com a ABNT NBR NM 45/2006. A norma estabelece o método para a determinação da densidade a granel e do volume de vazios de agregados miúdos, graúdos ou de mistura dos dois, em estado compactado ou solto, demonstrado na figura 9.

Figura 9 - Determinação da massa unitária do agregado miúdo.



Fonte: Autor

4.8.1 Determinação do material fino que passa através da peneira 75 μ m, por lavagem. NBR NM - 46:2001

O método permite determinar, por lavagem, a quantidade de material mais fino que a abertura da malha da peneira de 0,075 mm presente nos agregados graúdos ou miúdos conforme na figura 10. O excesso deste material prejudica a aderência entre a pasta de cimento e a argamassa, aumenta o consumo de água devido à alta superfície específica, acarretando retração e diminuição da resistência de concretos e argamassa.

Figura 10 - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 μ m, por lavagem.



Fonte: Autor

4.8.2 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ARGILA EM TORRÕES NOS AGREGADOS: NBR 7218:2010.

A metodologia permite avaliar a qualidade de um agregado, com relação à contaminação com grãos pouco resistentes, que trarão prejuízo à resistência do concreto e também à sua aparência, uma vez que eles, no caso de concreto aparente, poderão produzir manchas na superfície. Os torrões de argila são detectados no agregado por diferença de coloração, como tem baixa resistência são facilmente esmagados pela pressão do dedo conforme a figura 11.

O resultado do ensaio é a média de duas determinações;

Figura 11 - Determinação do teor de argila em torrões nos agregado:



Fonte: Autor

4.8.3 IMPUREZAS ORGÂNICAS EM AGREGADOS MIÚDOS (NBR NM 49:2001)

A metodologia permite avaliar a qualidade de uma areia em relação à contaminação com impurezas orgânicas, as quais, conforme sua natureza e teor podem inibir a hidratação do cimento, prejudicar a resistência do concreto, principalmente nas primeiras idades e aparecer fissuras e pontos escuros no concreto depois de endurecido demonstrado na figura 12.

A tabela apresenta as propriedades obtidas para os agregados ensaiados.

Figura 12 - Determinação do teor de argila em torrões nos agregado



Fonte: Autor

4.8.4 Determinação da finura por meio da peneira 75 μm (nº 200) NBR11579:2001.

Esta norma prescreve o método de ensaio para a determinação da finura de cimento Portland com o emprego da peneira 75 μm (nº 200), pelos procedimentos manual e mecânico. São determinadas a porcentagens, em massa, de cimento cujas dimensões de grãos são superiores a 75 μm (fração retida).

4.9 CIMENTO PORTLAND

O cimento utilizado para o traço foi o CP-II-Z-32.

O cimento CP-II-Z-32 é composto por cerca de 6 a 14 % de pozolana, e pertence à classe de resistência que varia entre 32 e 49 Mpa

Determinar a massa específica do cimento Portland, por meio do frasco Le Chatelier; NBR 6474/NM 23:2001.

Foram realizados com um frasco volumétrico de Le Chatelier (Figura 13), de vidro de borossilicato com capacidade de 250 cm^3 até a marca zero da escala. O recipiente tem graduação que permite leituras de 0,05 cm^3 conforme a figura 13.

Figura 13 - Ensaio de massa específica



Fonte: Autor

Em seguida, foram introduzidas uma massa do material suficiente para provocar um deslocamento do líquido utilizado até a marca acima de 18 cm^3 . Após a inserção do material no frasco, foram realizados movimentos giratórios com o frasco para retirar as bolhas de ar e deixou-se em banho termorregulador novamente. Após 30 minutos, realizou-se nova leitura (V2).

Foram obtidos através da Equação 1, sendo representado pela média de duas determinações que não diferiram mais do que 0,01 g/cm^3 entre si.

Onde:

ρ : massa específica do material ensaiado (g/cm^3);

m: massa do material que foram introduzidas no frasco (g);

V1: primeira leitura realizada (cm³);

V2: Segunda leitura realizada (cm³).

4.10 DEFINIÇÃO DAS DOSAGENS

As dosagens dos concretos utilizados nesta pesquisa foram feitas através do método do ACI 211.1-91 (American Concrete Institute). Na elaboração do traço foram utilizado o cimento CP II F – 32, com peso específico (3100 kg/m³), foi determinado como traço de projeto o Fck (25 MPa), com o abatimento de 100 +- 20 mm, com SD de 4,0 MPa. Utilizando areia com módulo de finura de 2,55 mm com peso específico (2630 kg/m³), brita utilizada para elaboração do traço, foi a brita 1 com diâmetro máximo de 19 mm, com o peso específico (2660 kg/m³).

Após ter sido realizado o traço referência e 3 novos traços em que se substituiu o agregado miúdo pelo pó de vidro que o mesmo contém característica semelhantes a da areia com módulo de finura de 2,20 mm e peso específico de (2460 kg/m³). As dosagens foram determinadas com teores de 10%, 20% e 40% de substituição. Para o traço referência se utilizou-se um fck = 25 MPa com desvio padrão de 4.0 Mpa, sendo o fc28 = 31,6 MPa e abatimento de 100 ± 20.

4.11 PRODUÇÃO DO CONCRETO

As produções do concreto partiram da pesagem do material. Após a determinação do traço, foram utilizadas uma quantidade de material suficiente para o preenchimento do tronco de cone, para a determinação do abatimento, e posteriormente a moldagem. A mistura e o prepara do concreto foram feitos em uma betoneira de 130 litros comum eixo horizontal. Após a mistura foram realizados ensaios de consistência e as moldagens dos corpos-de-prova.

4.12 ENSAIO DE ABATIMENTO – SLUMP TEST

As consistências do concreto foram determinadas pelo ensaio de abatimento do tronco de cone (Slump Test), conforme a NBR NM 67:1998. Para esta pesquisa foram feitos ensaios de caracterização do concreto no estado fresco para o concreto de referência e os concretos com substituição do pó de vidro.

4.13 DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE (SLUMP TEST) (ABNT NM 67:1998).

Figura 14 - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (Slump test)



Fonte: do Autor

O ensaio de slump test (abatimento de tronco de cone) que é realizado tanto em laboratório quanto no canteiro de obras, a fim de verificar a fluidez do concreto para ser lançado na estrutura, o procedimento usado para este ensaio é relativamente simples. Consiste em uma haste de ferro de 16 mm de diâmetro por 60 cm de comprimento e um tronco de cone, de 30 cm de altura, 20 cm de diâmetro de base e 10 cm de diâmetro no topo. O tronco de cone é preenchido com concreto em três camadas iguais, intercaladas por 25 golpes com a haste de metal por camada, depois, o tronco de cone é lentamente suspenso. O concreto, sem apoio, abate-se sobre seu próprio peso, a medida do decréscimo entre a altura final e a altura do tronco de cone nota-se o abatimento do concreto.

4.14 PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

As produções dos corpos-de-prova foram realizadas de acordo com a NBR 5739:2007 específica de concreto convencional, onde foram confeccionados corpos-de-prova para todas as idades, segundo as porcentagens de cimento com o objetivo de representar estatisticamente os resultados que foram alcançados dentro das seguintes idades, 07, 14 e 28 dias.

Tabela 4 - Relação da quantidade de corpos de provas por traço de concreto.

Ensaio	Normas	Idades	Num de CP's / Idade	Total de Cp's
Compressão axial	NBR 5739/2007	07, 14, 28 dias	02	24
Absorção de água	NBR 9778/2009	28 dias	02	08
Modulo de elasticidade	NBR 8522/2008	28 dias	02	08
Tração por Comp. Diametral	NBR 7222/2011	28 dias	02	08
			Total de CP's /Traço	48

Fonte: Autor

Para a moldagem dos CPs foram utilizados os moldes cilíndricos de dimensões 100 mm x 200 mm segundo a NBR 5738:2015 que prescreve o procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova de concreto utilizados nos ensaios de compressão e de tração por compressão, neste caso, a moldagem com o vibrador de agulha 19mm e após as curas determinadas, aconteceram os rompimentos dos CPs curado nas idades requeridas.

4.15 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova foram moldados em fôrmas metálicas de dimensões precisas conforme definido pela ABNT NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

Figura 15 - Ensaio de moldagem dos corpos-de-prova de concreto



Fonte: Autor

Figura 16 - Corpos de prova moldados.



Fonte: Autor

4.16 PROCESSO DE CURA

Após a moldagem, os moldes foram colocados sobre uma superfície plana, livre de qualquer outra causa que possa perturbar o concreto. Durante as primeiras 24h, todos os corpos-de-prova foram armazenados em local resguardado de intempéries, sendo devidamente cobertos com material não reativo e não absorvente, com a finalidade de evitar perda de água do concreto. Por fim, os corpos-de-prova foram desmoldados e identificados, e em seguida, submersos em água demonstrado na figura 17, seguindo a recomendação da ABNT NBR 5738:2015. Até o momento do ensaio de resistência a compressão.

Figura 17 - Corpos-de-prova em cura úmida



Fonte: Autor

4.17 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL DE CORPO-DE-PROVA CILÍNDRICO (NBR 5739:2007)

O ensaio de compressão de corpo-de-prova cilíndrico é regido pela NBR-5739: 2007. Até a idade de ensaio os corpos de prova foram mantidos em processo de cura úmida ou saturados nas condições preconizadas.

Existe também uma tolerância para o tempo de ensaio em função da idade de cura conforme tabela 5 abaixo.

Tabela 5– Tolerância de tempo em função da idade para ensaio de compressão

Idade de ensaio	Tolerância permitida %
24h	± 30min ou 2,1
3 d	± 2h ou 2,8
7 d	± 6h ou 3,6
14 d	± 20h ou 3,0
60 d	± 36h ou 2,5
90 d	± 2d ou 2,2

Fonte: do Autor

A carga de ensaio deve ser aplicada continuamente e sem choques, com velocidade de carregamento de 0.3MPa/s a 0.8MPa/s, nenhum ajuste deve ser efetuado no equipamento enquanto o corpo de prova estiver sendo ensaiado.

A resistência à compressão é obtida dividindo a carga da ruptura pela área da seção transversal do corpo de prova.

Todos os traços foram submetidos aos ensaios de compressão conforme disposto pela ABNT NBR 5739: 2007 – Concreto - Ensaio de resistência a compressão de corpos de prova

cilíndricos. No conjunto de prensas EMIC PC-200, do laboratório de Materiais e estudos do CEULP/ULBRA.

Para cada traço com substituição de agregado miúdo por resíduo de vidro foram confeccionados e rompidos 2 (dois) corpos de prova por intervalo de idade, tal quantidade de rupturas possibilitara o cálculo das resistências médias com uma boa precisão e também a determinação do desvio padrão para as médias das resistências. Os ensaios ocorreram nos intervalos de 7, 14 e 28 dias. Foram produzidos 48 (quarenta e oito) corpos de prova (dose por traço) para a realização de todo o projeto de pesquisa, sendo que apenas 24 (vinte quatro) foram submetidos aos ensaios de resistência á compressão.

Figura 18 - Ensaios de resistência à compressão.

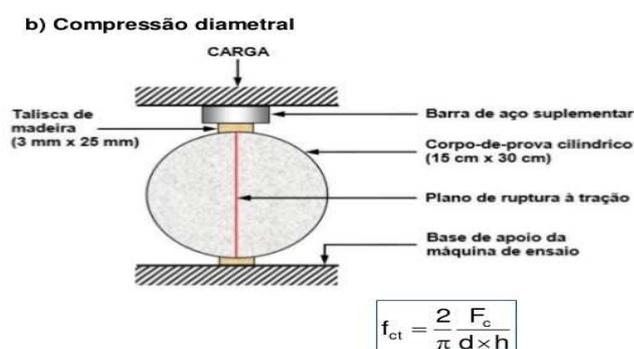


Fonte: Autor

4.18 ENSAIO RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Na realização do ensaio de resistência à tração por compressão diametral seguiram as especificações da NBR 7222:2010. Os corpos de prova permaneceram submersos em água até a idade de 28 dias prevista para os ensaios. Submersos em água, seguindo a recomendação da ABNT NBR 5738:2015. Até o momento do ensaio de resistência a compressão.

Figura 19 - Ensaio de Tração por compressão diametral.



Fonte: ABCP

Na realização do ensaio de resistência à tração por compressão diametral seguiram as especificações da NBR 7222:2010. Os corpos de prova permaneceram submersos em água até a idade de 28 dias prevista para os ensaios.

Figura 20 - Ensaio de Tração por compressão diametral.



Fonte: Autor

4.19 ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO (EC)

As determinações do módulo de elasticidade foram realizadas pelo método módulo de elasticidade tangente inicial do concreto (E_{ci}), é determinado pelo ensaio prescrito pela NBR 8522:2008, sendo este o módulo a ser determinado por ensaio, conforme estabelecido pela NBR 6118:2014.

Primeiramente, determina-se a resistência à compressão do concreto (f_c) em dois corpos-de-prova da mesma da mesma dosagem, preparados e curados da mesma forma que os corpos-de-prova a serem utilizados para a determinação do módulo, devendo ser ensaiados à compressão conforme a NBR 5739:2007.

Figura 21 - Ensaio de modulo de elasticidade.



Fonte: Autor

4.20 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

O ensaio foi realizado de acordo com a NBR 9778/2009, com idade de 28 dias e foram moldados 02 corpos de prova para cada traço. O ensaio tem como objetivo medir a porcentagem de absorção de água no concreto, pois é uma relação que à durabilidade do concreto.

Resultados dos ensaios de absorção de água, e massa específica seca e saturada normatizado pela NBR-9778 ABNT, 2005 em função da substituição do agregado miúdo.

Figura 22 - ensaios de absorção de água



Fonte: Autor

4.21 DESENVOLVIMENTO DOS TRAÇOS

Tendo como base para o estudo o método de cálculo de traço desenvolvido pelo ACI 211.1-91 (American Concrete Institute). Foram desenvolvido o traço referencia definido como traço piloto, para a determinação do traço unitário foram realizados, a pesagem dos agregados areia (A) e brita (B), onde foram encontrados o menor índice de vazios na mistura, onde a =areia p =brita e $a+p=M$ encontrando um teor de argamassa de 54%.

Foram realizadas 04 dosagens distintas as quais são definidas à seguir:

Para relação água/aglomerante 0,51, foram dosados um traço inicial que servirá de referência, teor de argamassa de 54%, areia, brita.

Um traço com as mesmas proporções do traço referência água/aglomerante 0,51, exceto a adição de 10% de pó de vidro em substituição à areia.

Um traço com as mesmas proporções do traço referência água/aglomerante 0,51, exceto a adição de 20% de pó de vidro em substituição à areia.

Um traço com as mesmas proporções do traço referência água/aglomerante 0,51, exceto a adição de 40% de pó de vidro em substituição a areia.

DOSAGEM DE 25 MPA SLUMP 100 ± 20

Teor de argamassa		54%	
Agregado graúdo	Brita	Massa unitária	1,620
Agregado miúdo	Areia	Massa unitária	1,570
		Inchamento médio	1,11
		Umidade Crítica	4,0
Cimento	CP II - F - 32	Tocantins	

DOSAGEM EXPERIMENTAL:

Teor de argamassa	54 %
Consumo de cimento	396 kg/m ³
Fator água / cimento	0,51 Sem ar incorporado

DETERMINAÇÃO DO TRAÇO EM MASSA

DETERMINAÇÃO DO TRAÇO EM VOLUME

Traço	Cimento	Areia	Brita	a/c	Cimento	Areia	Brita	a/c
	1	2,194	2,126	0,51	1	1,397	1,317	0,51

Tabela 6– Descrição dos traços executados e dosagens

Nomenclatura	Descrição	Dosagem			
Ref. 0,1	Referência água/aglomerante 0,51	1:	2,194	2,126	a/c 0,51
TPV - 10 0,1	Traço com substituição de 10% de pó de vidro água/aglomerante 0,51	1:	2,194	2,126	a/c 0,51 10%
TPV - 20 0,1	Traço com substituição de 20% de pó de vidro água/aglomerante 0,51	1:	2,194	2,126	a/c 0,51 20%
TPV - 40 0,1	Traço com substituição de 40% de pó de vidro água/aglomerante 0,51	1:	2,194	2,126	a/c 0,51 30%

Fonte: Autor

A Tabela 6 contém os traços que foram utilizados para o desenvolvimento do trabalho e as análises das propriedades e viabilidades técnicas.

Tabela 7 – Consumo de materiais para os concretos dosados

Nomenclatura	Consumo de material				
Traço	Cimento (kg/m ³)	Areia (kg/m ³)	Brita (kg/m ³)	Pó de Vidro (kg/m ³)	Água (kg/m ³)
Ref. 0,1	396	869,20	842,40	0	188,0
TPV - 10 0,2	396	782,28	842,40	86,92	188,0
TPV - 20 0,3	396	695,36	842,40	173,84	188,0
TPV - 40 0,3	396	521,52	842,40	347,68	188,0

Fonte: Autor

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Abaixo foram apresentados os resultados de caracterização dos agregados utilizados para a produção dos traços de concreto, assim como os resultados dos ensaios do concreto no estado fluido e endurecido.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Após a produção do agregado miúdo reciclado e a escolha dos demais materiais foram realizados os ensaios de caracterização dos mesmos.

5.2 ANALISE GRANULOMÉTRICA

Nas tabelas são mostradas a distribuição granulométrica dos agregados utilizados e os resultados dos demais ensaios.

5.3 AGREGADO MIÚDO

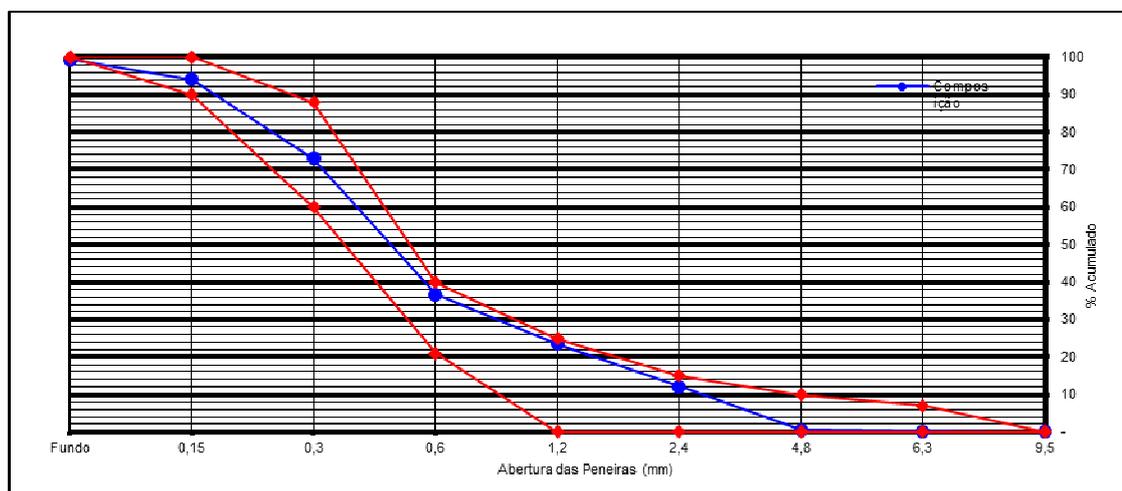
Foram realizados ensaios da areia natural classificada como média de procedência da draga Capital localizada em Palmas - TO. A caracterização deste material também se deu pela ABNT NM 248:2003 e encontra-se na Tabela 1.

Tabela 8 – Ensaios de caracterizados os agregados miúdos
Determinação da massa unitária do agregado miúdo(NBR NM 45:2006)

Massa unitária	1,570	g/cm ³
Determinação da massa específica do agregado miúdo (NBR NM 53:2009).		
Massa específica	2,630	g/cm ³
Teor de material pulverulento (NBR NM 46:2003)		
Teor de material pulverulento (%)		0,88%
Impurezas orgânicas em agregados miúdos (NBR 49:2001)	<300	ppm
Teor de argila em torrões nos agregado: NBR 7218:2010	0,32	%
Módulo de finura da areia (NBR NM- 248:2003)	2,55	%
Dimensão máxima característica (NBR NM- 248:2003)	4,8	mm

Fonte: Autor

Gráfico 1 - Composição granulométrica do agregado miúdo



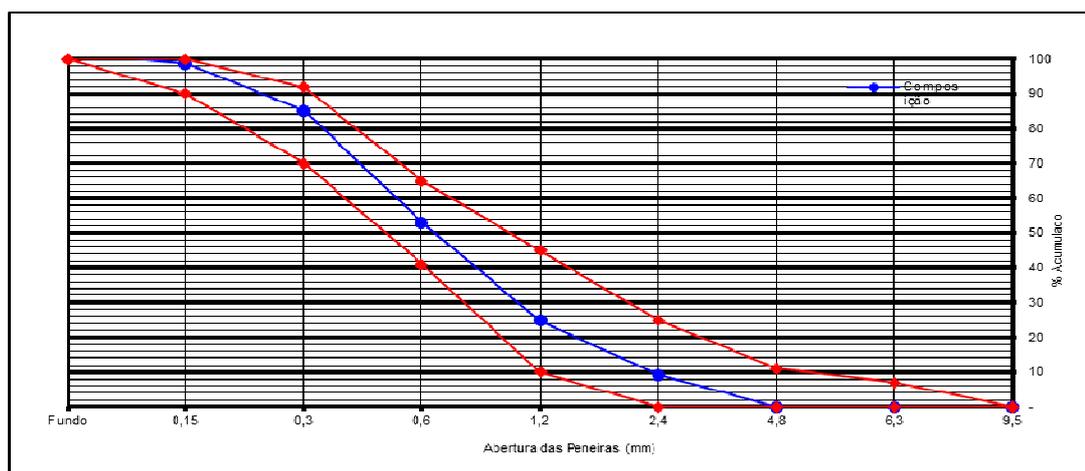
O gráfico 1 apresenta as curvas granulométricas do agregado miúdo natural(areia) estudado, as cores vermelhas representam o limite inferior e superior da zona ótima utilizável, na cor azul esta a curva granulométrica está dentro da zona ótima de utilização.

Tabela 9 – Ensaios de Caracterização do vidro moído.

Determinação da massa unitária do agregado miúdo (NBR NM 45:2006)		
Massa unitária	1,576	g/cm ³
Determinação da massa específica do agregado miúdo (Pó de vidro) (NBR NM53:2009).		
Massa específica	2,464	g/cm ³
Teor de material pulverulento (NBR NM 46:2003)		
Teor de material pulverulento (%)		0,8%
Módulo de finura da areia (NBR NM- 248:2003)	2,20	%
Dimensão máxima característica (NBR NM- 248:2003)	2,4	mm

Fonte: Autor

Gráfico 2. Composição granulométrica do pó de vidro



Fonte: Autor

O gráfico 2 apresenta as curvas granulométricas do vidro moído estudado, as cores vermelhas representam o limite inferior e superior da zona ótima de utilização.

Observou-se que a curva do pó de vidro está dentro da zona ótima, e o módulo de finura do pó de vidro apresentaram valor muito próximo ao do agregado natural, após a comparação dos gráficos observamos que foram possíveis fazer a substituição do pó de vidro sem que perde-se as propriedades do agregado natural(areia) e que levando-se a crer que não haverá grandes variações no consumo de água. Por ter passado na peneira de 4.8mm desprezando o retido, e antes de fazer o ensaio o material foi lavado na peneira de nº 200 onde resultou em um módulo de finura próximo com a areia utilizada.

5.4 AGREGADO GRAÚDO

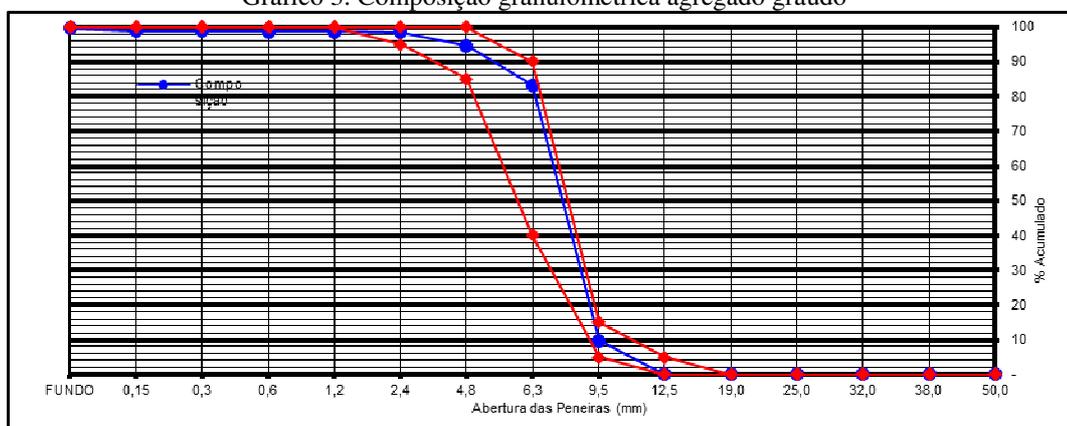
Como agregado graúdo utilizou-se brita nº1(19 mm) de origem granítica oriunda da mesma região. A caracterização foi realizada através da ABNT NM 248:2003 e encontra-se na Tabela 10.

Tabela 10 – Ensaios de caracterizados os agregados graúdos.

Determinação da massa unitária do agregado graúdo (NBR NM 45:2006)		
Massa unitária	1,62	kg/dm ³
Determinação da massa específica do agregado graúdo (NBR NM 53:2009).		
Massa específica		2,66 g/cm ³
Diâmetro máximo característico (NBR NM-48:2003)	19mm	
Módulo de finura do seixo (NBR NM- 248:2003)	6,05%	

Fonte: Autor

Gráfico 3. Composição granulométrica agregado graúdo



Fonte: Autor

O gráfico 3 mostra que o agregado graúdo utilizado está dentro do limite possuindo um diâmetro máximo de 19 mm.

Ainda de acordo com o gráfico 3 pode-se observar que o agregado graúdo não possui valor de materiais finos passantes na peneira de 4,75mm acima do sugerido para essa zona granulométrica.

5.5 MASSA ESPECIFICA, MASSA UNITÁRIA, MATERIAL PULVERULENTO, MATÉRIA ORGÂNICA E TEOR DE ARGILA EM TORRÕES NOS AGREGADOS.

A tabela 8 apresenta os resultados dos ensaios das massas específica, massas unitárias, teor de materiais pulverulentos e teor de matéria orgânica dos agregados e teor de argila nos materiais estudados.

O teor de material pulverulento do agregado natural está dentro do limite permitido sendo a NBR NM 46:2003.

O teor de argila em torrões nos agregados está dentro do limite permitido sendo a NBR 7218:2010.

5.6 ENSAIOS DE CIMENTO

Tabela 11– Ensaios massa específica do cimento Portland e Finura por meio da peneira n°200

Determinar a massa específica do cimento Portland. NBR 6474/2001NM 23:2001		
Determinar a massa específica do cimento	3,100	g/cm ³
Determinação da Finura Por Meio da Peneira n°200 NBR 11579 Mb 3432:2001	0,98	%

Fonte: Autor

A tabela acima apresentam os resultados da massa específica do cimento e da finura.

O valor da massa específica está dentro do limite permitido sendo a NBR 6474/2001nm 23:2001, que é de 2,90 a 3,20.

O valor da finura Por Meio da Peneira n°200 está dentro do limite permitido sendo a NBR 11579 mb3432:2001, que é ≤ 12 .

5.7 RESULTADOS DOS ENSAIOS COM O CONCRETO NO ESTADO FRESCO

Após a confecção dos traços e a obtenção dos resultados, foram então tabulados e analisados os dados referentes aos ensaios no estado fresco e no estado endurecido conforme a seguir:

Tabela 12 - Resultados de Slump test

Traço	Slump test
Referencia	95mm
Traço: 10%	100mm
Traço : 20%	120mm
Traço : 40%	130mm

Fonte: Autor

Figura 23 – Ensaio de Slump test traço ref



Fonte: Autor

Figura 24 – Ensaio de Slump test traço10%



Fonte: Autor

Figura 25 – Ensaio de Slump test traço20%



Fonte: Autor

Figura 26 – Ensaio de Slump test traço40%



Fonte: Autor

Os ensaios do concreto no estado fresco se mostraram coerentes com o sugerido no traço do concreto referencia os resultados dos testes de Slump test, revelaram um concreto com boa fluidez e boa resistência à segregação.

Observou-se que os ensaios estavam dentro dos parâmetros pré-estabelecidos.

Observou-se que, quanto maior a proporção da porcentagem de pó de vidro na substituição da areia ficou mais fluido o concreto.

Segundo Dyer e Dhir, sendo o vidro um material amorfo e contendo uma grande quantidade de silício e cálcio, o vidro é um óxido metálico super esfriado de elevada dureza, essencialmente inerte e biologicamente inativo, com superfícies muito lisas e impermeáveis.

Pode-se observar que o maior abatimento ocorreu no concreto com 40% de vidro na substituição da areia, faixa esta que apresentou o menor ganho de resistência à compressão.

5.8 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO DO CONCRETO

As tabelas a seguir apresentam os resultados obtidos nos ensaios de resistência a compressão axial realizados nos corpos de provas dos traços estudados.

Tabela 13 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão dos CPs

CP	07 dias (MPa)	Media (MPa)	14 dias (MPa)	Media (MPa)	28 dias (MPa)	Media (Mpa)
T. Ref.	25,5 21,8	23,6	29,6 28,5	29,0	33,1 34,0	32,2
T.10%	22,3 21,5	21,9	26,4 26,1	26,2	29,2 29,9	29,5
T.20%	20,4 21,8	21,1	25,6 24,8	25,2	27,3 27,2	27,2
T.40%	18,7 19,6	19,2	22,9 21,7	22,3	24,4 24,3	24,3

Fonte: Autor

Na tabela 13 apresenta os valores dos corpos de provas e as médias para cada idade submetidos ao ensaio de resistência a compressão. Em relação à substituição de vidro no agregado miúdo, observa-se que houve queda nas resistências das porcentagens de (10% , 20% e 40%), do vidro ocasionou redução nas resistências para as idades de 7 dias, 14 e 28.

Tabela 14 – Variação em porcentagem da média das resistências em relação ao traço referência.

CP	07 dias (MPa)	Variação (%)	14 dias (MPa)	Variação (%)	28 dias (MPa)	Variação (%)
T. Ref.	23,6	-	29,0	-	32,2	-
T.10%	21,9	7,2	26,2	9,6	29,5	8,4
T.20%	21,1	13,1	25,2	13,2	27,2	15,5
T.40%	19,2	23,1	22,3	23,1	24,3	24,5

Fonte: Autor

A tabela 14 mostra os valores referentes às médias dos traços referência e com a substituição, e as variações para cada idade submetidos às mesmas condições de ensaio. Em relação à substituição de vidro no concreto para os traço 10%, observa-se que ocasionou redução menor na resistência para idade de 7 dias, tendo seu desempenho menor ainda com a idade de 14 dias teve uma pequena melhora com a idade de 28 dias.

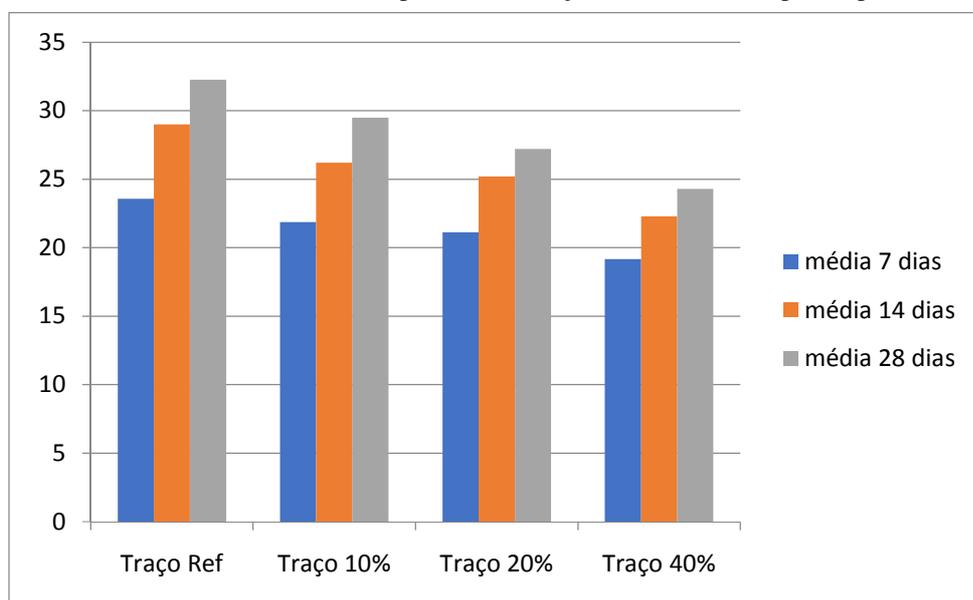
Com relação ao traço de 20% do vidro substituindo a areia. Notou-se uma queda na idade de 7 dias com base no traço referência foi maior, mantendo os valores com 14 dias, já aos 28 dias teve um perda de 15,5% com base na mesma idade de rompimento do traço referência. Na substituição de 40%, manteve a perda de 24,5%. não foi verificado uma evolução superior de resistência dos traço com a substituição do pó de vidro nas idades de 7, 14 e 28 dias. Adição de 40% do vidro substituindo a areia, notou-se uma inclinação de 23,1% na idade de 7 dias comparado com o traço referência, continuando a não ter um crescimento de resistência na idade de 14 e 28 dias em comparação com o traço referência.

Esta observação é confirmada pelo teste de slump destes corpos de prova, onde o aumento da porcentagem de pó vidro acarretou um aumento do abatimento do concreto obtido.

Segundo Polley et al. A diminuição da resistência à compressão do concreto, com o aumento da massa de vidro adicionada, pode ser associada à diferença na força de ligação entre a pasta e o agregado. As forças de ligação entre as partículas de vidro e a pasta são mais fracas se comparadas com a ligação da pasta com as partículas de agregados naturais. Logo,

um aumento da massa de vidro no concreto aumenta a massa de agregado ligada mais fracamente à pasta.

Gráfico 4 – Resistência a compressão em função da idade dos corpos de prova



Fonte: Autor

Nota-se nesta comparação que, as resistências á compressão dos concretos com substituição de 10%, 20% e 40% de pó de vidro com relação ao traço referência foram diminuindo conforme as idades.

5.9 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

A resistência à tração dos concretos foram verificadas por meio de corpos de prova cilíndricos com dimensões de 15cm x 30 cm, com 02 CP's. Os ensaios para a determinação das resistências foram realizados com a idade de 28 dias, a partir da moldagem, conforme a NBR 7222/2011. Com o corpo de prova devidamente ajustado e aplicou uma carga em Mpa até a sua ruptura.

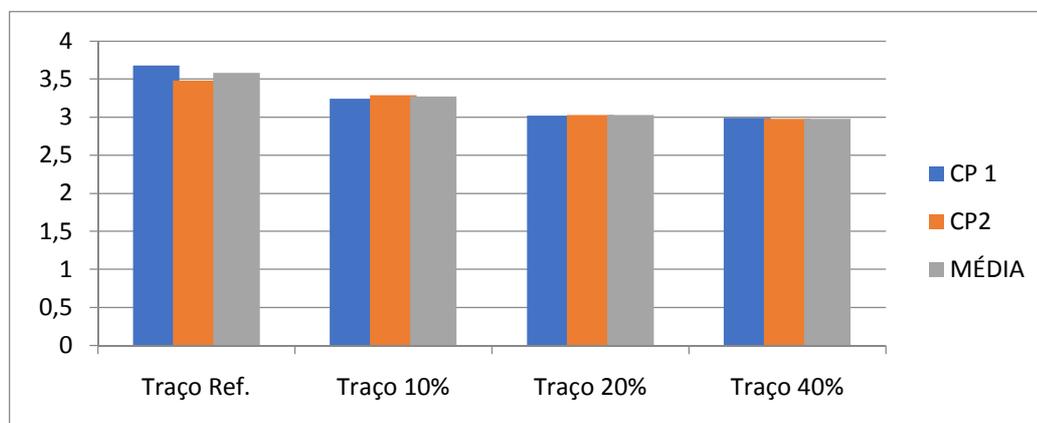
Tabela 15 – Resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral.

Corpos-de-Prova	CP 28Dias MPa	Media 28 Dias MPa
T. Ref.	3.68	3.58
	3.48	
T. 10%	3.24	3.27
	3.29	
T. 20%	3.02	3.03
	3.03	
T. 40%	2.99	2.98
	2.98	

Fonte: Autor

Na tabela 15, apresentam-se valores teóricos das tensões decorrentes da compressão diametral. Observa-se que, o valor de resistência à tração que foram obtidos por esse ensaio ficaram dentro dos 10% comparado com a media da resistência á compressão axial.

Gráfico 5 – Resistência à tração por compressão diametral.



Fonte: Autor

5.10 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

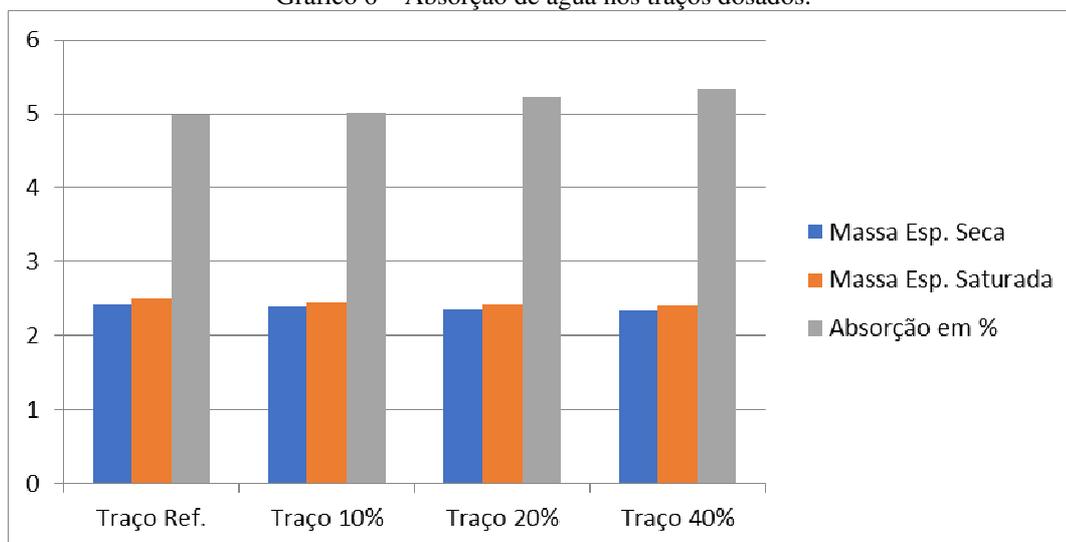
Resultados dos ensaios de absorção de água, e massa específica seca e saturada normatizado pela NBR-9778 ABNT, 2005 em função da substituição do agregado miúdo.

Tabela 16– Resultados dos ensaios de absorção, massa específica seca e saturada.

Traço	Absorção de água (%)	Massa específica seca g/cm ³	Massa específica saturada g/cm ³
Ref.	4,98	2,420	2,496
10%	5,01	2,393	2,448
20%	5,22	2,352	2,421
40%	5,32	2,345	2,415

Fonte: Autor

Gráfico 6 – Absorção de água nos traços dosados.



Fonte: Autor

Os ensaios de absorção dos corpos-de-prova com a substituição do pó de vidro mostraram um pequeno acréscimo na absorção do concreto, tendo em seu resultado mais significativo um aumento de cerca de 6% na absorção de água no concreto com substituição de 40% em relação ao concreto referência, tiveram absorções menores que os dosados com 10% e 20% de pó de vidro.

Verifica-se que as absorções do concreto com a substituição de agregados miúdos por pó vidro apresentaram uma pequena capacidade de evasão de água do que o concreto de referência. Este resultado explica que, uma vez que a presença de uma maior quantidade de vidro moído facilita a libertação de água do interior do concreto reduzindo sua resistência conforme analisado nos ensaios de compressão, tração.

A substituição do pó de vidro apresentou uma leve redução do peso específico do concreto, um dado importante, pois, em grandes volumes uma leve redução por metro cúbico pode gerar uma grande diferença, de modo a economizar, visto que o peso próprio da estrutura será menor.

5.11 MÓDULO DE ELASTICIDADE

Os valores médios obtidos nos ensaios de módulo de elasticidade e a relação E_{ci}/E_{ci} de todos os concretos são apresentados na Tabela 16. Os traços apresentaram valores médios de módulo de elasticidade aos 28 dias.

Tabela 17 - Resultados dos módulos de elasticidade teórico e prático.

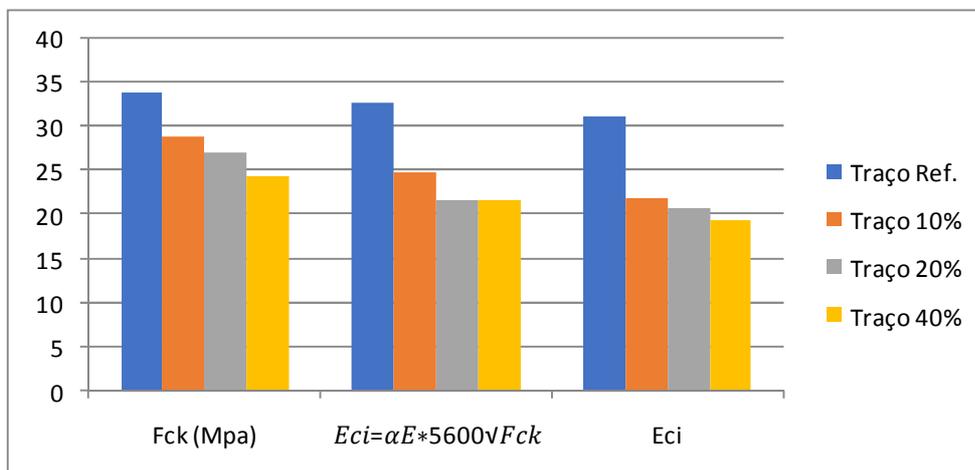
Traços	T.Ref.	T.10%	T.20%	T.40%
F_{ck} (Mpa)	34,0	29,0	27,2	24,4
$E_{ci} = \alpha E * 5600 \sqrt{F_{ck}}$	32,7	24,9	21,6	21,7
E_{ci}	31,1	22,0	20,9	19,5

Fonte: Autor

Na tabela 17 podemos analisar que a diferença entre o método teórico e prático teve uma variação pequena, com uma diminuição nos valores dos ensaios teóricos e práticos, conforme os dados anteriores dos outros ensaios também ocorreu a diminuição na resistência comparando com o traço referencia, entretanto se formos analisar só os traços com substituição do vidro moído podemos observar que a variação entre eles é pequena.

A Figura 4 mostra o gráfico com a relação do Eci em função da idade de todos os traços, visto que os concretos com substituição todos apresentaram a redução do módulo de elasticidade, sofrendo influência pela variação na percentagem de pó de vidro na substituição do agregado miúdo.

Gráfico 7 - Módulo de elasticidade dos concretos.



Fonte: Autor

No gráfico observamos as comparações dos resultados encontrados nos ensaios, podemos notar que os resultados para os traços com maior teor de pó de vidro na substituição do agregado miúdo, obtiveram valores menores que os valores recomendados pela NBR6118/2014.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta os resultados do estudo da viabilidade técnica da utilização de vidro Âmbar moído na substituição do agregado miúdo (faixas granulométricas semelhante da areia) para fabricação de concretos, de modo a fornecer uma alternativa suplementar para a revalorização do vidro. Os resultados são apresentados, em função da substituição da areia por vidro moído.

Os resultados alcançados nesta pesquisa permitem extrair as seguintes conclusões:

A substituição que foi a partir de 10%, 20% e 40% do agregado miúdo (areia) por vidro moído, a areia com faixas granulométricas classificadas como areia média dmc 4,8mm e o módulo de finura 2,55, e o vidro moído com granulometria classificada como fina dmc 2,4mm e módulo de finura 2,20, causou redução da resistência à compressão dos corpos de prova. Esta diminuição da tensão de ruptura mostrou-se independente da granulometria do vidro.

Porém, os valores de tensão de ruptura proporcionados foram abaixo dos valores obtidos com o ensaio dos corpos de prova do traço referência. É possível que este fenômeno estivesse esclarecido pelo aumento da quantidade de material hidrofóbico. Assim a hidratação do concreto estaria sendo afetada pela quantidade maior que foi 20% e 40 % de pó de vidro. É certo que a quantidade de água adicionada na fabricação do concreto foram sempre constante, pode ter ocorrido uma deficiência de água para a hidratação e a relação água/cimento diminuiria. Com isto, haveria um aumento dos vazios nos corpos de prova, levando a uma diminuição da tensão de ruptura. Esta observação é confirmada pelo teste de slump destes corpos de prova, onde o aumento da substituição de vidro acarretou um aumento do abatimento do concreto obtido.

Podemos ressaltar outra hipótese de acordo com Ferrai e Jorge (2010) destaca-se que o vidro tem sílica em sua composição química e, diante disto, a mistura deste material pode desenvolver uma reação entre os álcalis do cimento com a sílica do vidro que em presença de umidade pode gerar um gel expansivo prejudicial à resistência do concreto.

O vidro âmbar moído utilizado para substituir do agregado miúdo não foi satisfatório, teve uma perda de resistência, pois somente com substituição da areia não apresentou desempenho adequado, podemos concluir que o pó de vidro âmbar retira outros óxidos presente no cimento que influem na resistência final do concreto.

Pode-se concluir que a substituição do material não melhora a resistência a compressão, no entanto o concreto com a substituição apresentou resistência aos 28 dias valores baixos por isso mediante os resultados obtidos, pode-se concluir que a utilização de

pó de vidro âmbar na substituição de 40% do agregado miúdo para uso nos concretos estrutural, não é recomendada.

Logo, esta pesquisa demonstra a viabilidade técnica da substituição do agregado miúdo por vidro moído. Entende-se aqui também, que serão necessárias novas pesquisas para a avaliação de todo o potencial da utilização do vidro moído como material substituto da areia para fabricação de concreto. Por outro lado, o uso de vidro retirado do lixo como material utilizável estaria colaborando com a conservação de recursos naturais, com a diminuição da quantidade de lixo aterrada, assim como com o desenvolvimento de um material novo.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo-se em vista que o presente trabalho com a substituição do agregado miúdo por pó de vidro âmbar em concreto não alcançou a resistência esperada, sugerimos os seguintes estudos que podem ser realizados a partir dos fins aqui expostos, dos quais podem ser citados:

- ✓ Estudos sobre a reação álcali-sílica no concreto com substituição agregado miúdo por pó de vidro.
- ✓ Estudar a melhor composição granulométrica para o vidro moído e utilizando diferentes tipos de areia e agregados graúdos (brita 0) buscando um melhor empacotamento dos grãos.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFSHINNIA, kaveh; RANGARAJU, Prasada Rao. Impact of combined use of ground glass powder and crushed glass aggregate on selected properties of Portland cement concrete. **Construction And Building Materials**, United States, v. 117, n. 1, p.263-272, 12 maio 2016.

AFSHINNIA, Kaveh; RANGARAJU, Prasada Rao. Influence of fineness of ground recycled glass on mitigation of alkali-silica reaction in mortars. **Construction And Building Materials**, USA, v. 81, n. 1, p.257-267, 04 mar. 2015.

AKERMAN, M. (2000). Natureza Estrutura e Propriedades do Vidro, CETEV (Centro Técnico de Elaboração do Vidro). containing waste glass aggregate, Cement and Concrete Research. V. 34 n.12 p.2181-2189. Dez. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão Rio de Janeiro: ABNT, 008.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: 2015 Edificações Habitacionais – Desempenho.

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.

BARROS, Laerte Melo. **Concreto de alta resistência a partir de matérias primas amazônicas e vidros reciclados**. 2016. 202 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2016.

BORDIN, Vanessa. **Nova norma da ABNT estabelece critérios para o uso de água em concreto**. 2010. Vogg Branded Content. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/nova-norma-da-abnt-estabelece-criterios-para-o-uso-de-agua-em-concreto/>>. Acesso em: 11 set. 2017.

CALLISTER Jr, William D.; G. RETHWISCH, David. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução**. 9. ed. São Paulo: Ltc Editora, 2016. 912 p. 52 containing waste glass aggregate, Cement and Concrete Research v. 34 n. 2 p. 267–274, 04 dez. 2004.

CONTE, Francisco Genaro Raposo. **Análise de Implantação de uma Fábrica de Vidros Planos no Nordeste do Brasil com Aplicação de Teoria das Opções Reais**. 2011. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Economia, Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

DELBIANCO FILHO, S. Caracterização de vidros preparados com resíduo de indústria de galvanostegia. 2003. 90 p. Dissertação (Mestrado Física) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Sumário mineral 2012**. 32. ed. Brasília: Dnmp, 2012. 121 p.

FERRARI, G; JORGE, J. **Materiais e Tecnologias**. São Paulo: Universidade Bandeirantes. (Notas de aula) Disponível em <<http://cbookbrowse.com/apostila-parte-1rev-materiaispdf-d108975701>>.: Acesso em 10/01/2018.

FREITAS JUNIOR, Prof. José de Almendra. **Materiais de Construção (TC-031)**: Curitiba: Slides, 2013. 93 slides, color. Departamento de Construção Civil.

Gouveia N, Prado RR. Análise espacial dos riscos à saúde associados à incineração de resíduos sólidos: avaliação preliminar. Rev Bras Epidemiol 2010.

HELENE, Paulo R. L. **Estudo da variação do módulo de elasticidade do concreto com a composição e característica do concreto fresco e endurecido**. São Paulo: PhD Engenharia, 1998.

HELENE, Paulo R. L.; ANDRADE, Nome. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. ed. G.C. Isaia. 2 ed. São Paulo: IBRACON, 2010.

I.B. Topcu, M. Canbaz, Properties of concrete containing waste glass, recycled glass aggregate, Cement and Concrete Research. V. 31 n.2 p. 107–113. Fev. 2009.

IBRACON (instituto Brasileiro de Concreto). GERALDO CECHELLA ISAIA (São Paulo). (Ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Ispis Gráfica e Editora, 2011. 931 p.

ISAIA, Geraldo C. (ed.) CONCRETO. Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON, 2005.

ISLAM, G. M. Sadiqul; RAHMAN, M. H.; KAZI, Nayem. Waste glass powder as partial replacement of cement for sustainable concrete practice. **International Journal Of Sustainable Built Environment**, Bangladesh, v. 6, n. 1, p.37-44, 29 out. 2016.

JOHN, V.M; AGOPYAN, V. Reciclagem de resíduo da construção. São Paulo, 2000.13p.

L. A. Falcão Bauer ,Materiais de Construção.Volume 1 São Paulo : Editora: Ltc. 1994

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, J. M. Paulo. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2 ed. São Paulo: IBRACON,2014.

MEHTA, P.K; Monteiro, P. J. M. **concreto microestrutura propriedades e materiais** 3 ed. São Paulo: IBRACOM, 2008.

NAVARRO, J. M. F. (1991). El Vidrio, CSIC (Consejo superior de Investigaciones Científicas) – Madrid, Spain.

NOGUEIRA, Kelso Antunes. **REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO: diretrizes e requisitos da ABNT NBR 15577/2008**.2010. 93 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia UFMG, Belo Horizonte, 2010.of Radio Engineers vol. 37, p. 1378-1395 in CETEM 2 ed, 2008.

Ö. Özkan, _I. Yüksel, Studies on mortars containing waste bottle glass and industrial by-products, **Construction And Building Materials**. v.22 n. 6 p.1288–1298, jun. 2008. 53

OMRAN, Ahmed F. *et al.* Long-term performance of glass-powder concrete in large-scale field applications. **Construction And Building Materials**, Canadá, v. 135, n. 1, p.43-58, 06 jan. 2017.

Pozzolan For Use As A Mineral Admixture In Portland Cement Concrete SUPERSEDED (see Active link, below)

R. Idir, M. Cyr, A. Tagnit-Hamou, Use of fine glass as ASR inhibitor in glass aggregate mortars, **Construction And Building Materials**. V.24 n.7 p.1309–1312. Jul. 2010.

S.B. Park, B.C. Lee, J.H. Kim, Studies on mechanical properties of concrete.

S.C. Kou, C.S. Poon, Properties of self-compacting concrete prepared with recycled glass aggregate. *Cement and Concrete Research.*, v. 31 n. 2 p.107-113. Fev. 2009.

SINO RETO, M. A. Tributação Espreme o Reciclador e Breca Expansão do Setor. *Plástico Moderno*, São Paulo, p.10-26 set. 2000.

Shayan, A. Xu, Performance of glass powder as a pozzolanic material in concrete: a field trial on concrete slabs, *Cement and Concrete Research*. V.36 n. p.457–468. 2006.

Shi, C., Wu, Y., Riefler, C., Wang, H. Characteristics and pozzolanic reactivity of glass powders, *Cement and Concrete Research* V.35 n.5 p. 987- 993. Maio 2005.

SOLIMAN, N.a.; TAGNIT-HAMOU. Development of ultra-high-performance concrete using glass powder – Towards ecofriendly concrete. **Construction And Building Materials**, Canadá, v. 125, n. 1, p.600-612, 27 ago. 2016.

SHACKELFORD, James F. *Ciência dos materiais*. 6. ed. São Paulo: Pearson, 2008.

Taha, G. Nounu, Utilizing waste recycled glass as sand/cement replacement USP – Universidade de São Paulo (2011). Disponível em: <<http://www.usp.br/fau/deptecnologia/docs/bancovidros/histvidro.htm>> Acesso em: 06 de Setembro de 2017.

Y. Shao, T. Lefort, S. Moras, D. Rodriguez, Studies on concrete containing ground waste glass, *Cement and Concrete Research*. V.30 n.1 p.91–100. Jan 2000.

Z.Z. Ismail, E.A. Al-Hashmi, Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete, **Waste Manage**. V. 29 n. 2 p. 655–659. Fev. 2009.

GONÇALVES R. D. C. agregados reciclados de resíduos de concreto - um novo material para dosagens estruturais. dissertação mestrado. escola politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.(2001)

CEBRACE CRISTAL PLANO LTDA, inscrita sob CNPJ nº 45.070.190/0008-28, 2011. www.cebrace.com.br/SiteEcom/PriceList/CBC_FFL_IN_2011715_121042.pdf

AKERMAN, Mauro- Apostila: A elaboração do vidro (1990).

AKERMAN, Mauro - *Natureza, Estrutura e Propriedades do Vidro*, (10 de nov de 2000).

C. Polley, S. M. Cramer, R. V. De La Cruz, J. Mater. in *Civil Eng. ASCE* 10, 4 (1998) 587.

T. D. Dyer, R. Dhir, J. Mater. in *Civil Eng. ASCE* 13, 6 (2001) 412.