



# **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*

Lucas Vieira Costa de Andrade

**ESTUDO DO CONCRETO COMUM, COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO  
GRAÚDO RECICLADO DE VIDRO, COLETADO NA CIDADE DE PALMAS-TO**

Palmas – TO

2020

Lucas Vieira Costa de Andrade

ESTUDO DO CONCRETO COMUM, COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO  
GRAÚDO RECICLADO DE VIDRO, COLETADO NA CIDADE DE PALMAS-TO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) I 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.e Denis Cardoso Parente.

Palmas – TO

2020

Lucas Vieira Costa de Andrade  
ESTUDO DO CONCRETO COMUM, COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO  
GRAÚDO RECICLADO DE VIDRO, COLETADO NA CIDADE DE PALMAS-TO

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

Orientador: Prof. M.e Denis Cardoso Parente.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. M.e Denis Cardoso Parente

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

---

**Prof.**

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

---

**Prof.**

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2020

Dedico este trabalho à minha família, em especial aos meus pais Valdemar e Rosineide, e meus irmãos Elias, Mateus e Ester.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado saúde e força para superar os obstáculos e a oportunidade de aqui estar.

Agradeço a minha família, em especial aos meus pais, por todo apoio incondicional e incentivo, não medindo esforços para investir em meu futuro e a meus irmãos pelo apoio e sempre trazer alegria à minha vida.

Ao meu avô por parte de mãe Cristino Pinheiro, por me ajudar financeiramente e emocionalmente nos momentos mais difíceis. Aos meus tios e tias, por estar presente em alguns momentos cruciais, e em especial dois tios de consideração Genésio Antônio e Walter Pedro, conhecido como Magaiver, mesmo não tendo vínculo sanguíneo sempre me teve como um filho.

Agradeço a minha namorada Luara Macêdo, por nesses 2 últimos anos ter me dado conforto e esperança, mesmo nos momentos mais difíceis.

Agradeço ainda ao meu orientador Prof. Denis Cardoso Parente por ter dedicado seu tempo para me auxiliar nessa caminhada de fim de curso.

A toda equipe técnica do Centro Universitário Luterano de Palmas, e também ao corpo docente, pois devo todo o conhecimento adquirido a dedicação deles.

Ao pessoal da turma de Engenharia Civil de 2016/1, em especial a Daniel, Ray, Nilcy, Lourimar e Érika, por sempre estarem juntos e apoiando uns aos outros, e seguirem juntos até o fim.

Agradecer aos amigos de vestibular, concurso e futuros agentes federais, Pedro Neto, Diogo Alves, Samuel Cromwell e Igor Rodrigues, por serem mais que amigos de biblioteca, serem verdadeiros irmãos.

Por fim agradeço a todos que de forma direta ou indireta me ajudaram nessa caminhada de 5 anos. Apesar de não ser possível dizer o nome de todos, sempre me lembrarei de cada um, só o que posso fazer é dizer: Obrigado a todos foi muito bom estar ao lado de cada um de vocês.

## EPÍGRAFE

“Insanidade é continuar fazendo sempre a mesma coisa e  
esperar resultados diferentes” (Albert Einstein)

## RESUMO

Andrade, Lucas Vieira Costa. Estudo do concreto comum, com substituição parcial do agregado graúdo reciclado de vidro, coletado na cidade de Palmas-TO, 2020. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil). Centro Universitário Luterano de Palmas.

O presente trabalho propõe uma alternativa para o desenvolvimento sustentável, e a preservação do meio ambiente, sugerindo uma nova destinação para o vidro âmbar (garrafas long neck), que serão moídas e utilizadas no concreto convencional na substituição parcial do agregado graúdo natural, desta forma, mitigará a extração dos recursos naturais cada vez mais escassos.

A substituição do agregado graúdo foi realizada nos teores de 10%, 15% e 20%, tendo como parâmetro o trabalho de Pereira (2016). O vidro utilizado neste trabalho foi lavado, moído e caracterizado juntamente com os outros agregados constituintes do concreto, para assim realizar a dosagem do traço, em que foi utilizado o método do ACI. 211.1-91 (American Concrete Institute). Nestes traços foram utilizados materiais comuns: Cimento Portland CP II F-40, brita n° 0, areia média natural, e vidro âmbar moído com diâmetro de 12,5 mm.

Foram realizados ensaio no estado fresco: abatimento do tronco de cone (Slump Test), onde houve um crescimento de abatimento proporcional ao aumento de massa substituída.

No estado endurecido: ensaio de resistência a compressão axial, resistência a tração diametral e absorção de água. As resistências a tração e compressão regrediram parcialmente de acordo com crescimento de massa substituída. Embora não tenha alcançado o  $f_{ck}$ , o concreto pode ser aceito, visto que atingiu o  $f_{ck}$  de projeto.

Palavras chave: Vidro âmbar moído, concreto convencional, sustentabilidade, agregados do concreto.

## ABSTRACT

Andrade, Lucas Vieira Costa. Study of common concrete, with partial replacement of coarse recycled glass aggregate, collected in the city of Palmas-TO, 2020. Course conclusion work (Civil Engineering). Lutheran University Center of Palmas.

The present work proposes an alternative for sustainable development, and the preservation of the environment, suggesting a new destination for amber glass (long neck bottles), which will be ground and used in conventional concrete to partially replace the natural coarse aggregate, in this way, will mitigate the extraction of increasingly scarce natural resources.

The replacement of coarse aggregate was carried out at the levels of 10%, 15% and 20%, using Pereira's (2016) work as a parameter. The glass used in this work was washed, ground and combined with the other aggregates that make up the concrete, in order to perform the trace dosage, in which the ACI method was used. 211.1-91 (American Concrete Institute). In these lines, common materials were used: Portland cement CP II F-40, gravel n ° 0, medium natural sand, and ground amber glass with a diameter of 12.5 mm.

Tests were carried out in the fresh state: slump of the cone trunk (Slump Test), where there was a growth of slump proportional to the increase in replaced mass.

In the hardened state: resistance test to axial compression, resistance to diametrical traction and water absorption. The tensile and compression strengths partially regressed according to the growth of the replaced mass. Although it has not reached  $f_{cj}$ , concrete can be accepted, since it has reached project  $f_{ck}$ .

Keywords: Ground amber glass, conventional concrete, sustainability, concrete aggregates.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais compostos encontrados no cimento Portland .....	22
Tabela 2: Composição dos cimentos Portland.....	22
Tabela 3: Composição química e propriedades físicas dos principais minerais presentes no cimento Portland.....	24
Tabela 4: Resistência a tração e compressão.....	31
Tabela 5: Traços e quantitativo de substituições.....	31
Tabela 6: Dosagem 25 Mpa SLUMP $100 \pm 20$ mm.....	32
Tabela 7: Quantitativo de material por traço .....	32
Tabela 8: Quantitativo de corpos de prova por ensaio .....	34
Tabela 9: Caracterização do agregado miúdo.....	39
Tabela 10: Caracterização do agregado graúdo.....	40
Tabela 11: Caracterização do agregado graúdo reciclado .....	41
Tabela 12: Ensaio de massa específica do cimento Portland e Finura por meio da peneira n°200 .....	43
Tabela 13: Resultados de Slump test.....	43
Tabela 14: Resultados dos ensaios de resistência à compressão axial .....	44
Tabela 15: Variação da média das resistências em relação ao traço referência. ....	45
Tabela 16: Resistência à tração por compressão diametral. ....	46
Tabela 17: Resultados dos ensaios de absorção. ....	47

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Composição química do vidro .....	15
Figura 2: Composição química do vidro .....	16
Figura 3: Estrutura molecular do vidro comparado com solido cristalino (BAUER) .....	17
Figura 4: Ciclo de reciclagem de vidro .....	19
Figura 5: Controle da resistência do concreto com adição pozolanica em função dos dias.....	21
Figura 6: Britador de mandíbulas .....	28
Figura 7: Peneiramento.....	29
Figura 8: Execução Slump Test.....	33
Figura 9: Moldagem de corpos de prova .....	34
Figura 10: Ensaio de compressão axial .....	36
Figura 11: Ensaio de resistência à tração por compressão diametral .....	36
Figura 12: Ensaio de absorção de água. ....	38
Figura 13: Ensaio de abatimento. ....	44

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Composição granulométrica do agregado miúdo.....	40
Gráfico 2: Composição granulométrica do agregado graúdo.....	41
Gráfico 3: Composição granulométrica do agregado graúdo reciclado .....	42
Gráfico 4: Resistência em função da idade dos corpos-de-prova.....	46

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 OBJETIVOS .....	13
1.1.1 <i>Objetivo Geral</i> .....	13
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	13
1.2 JUSTIFICATIVA .....	13
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>14</b>
2.1 HISTÓRICO DO VIDRO .....	14
2.2 TIPOS DE VIDRO .....	15
2.3 COMPOSIÇÃO DO VIDRO .....	16
2.4 RECICLAGEM DO VIDRO.....	18
2.5 ADIÇÕES MINERAIS NO CONCRETO .....	19
2.5.1 <i>Pozolana</i> .....	20
2.5.2 <i>Sílica ativa</i> .....	21
2.6 CONCRETO.....	23
2.6.1 <i>Cimento</i> .....	23
2.6.2 <i>Água</i> .....	25
2.6.3 <i>Agregado graúdo</i> .....	25
2.7.4 <i>Agregado miúdo</i> .....	25
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>27</b>
3.1 PRODUÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO.....	27
3.1.1 <i>Local de pesquisa</i> .....	27
3.1.2 <i>Coleta</i> .....	27
3.1.3 <i>Moagem</i> .....	27
3.1.4 <i>Peneiramento</i> .....	28
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS .....	29
3.2.1 <i>Análise granulométrica</i> .....	29
3.2.2 <i>Determinação da massa específica</i> .....	29
3.2.3 <i>Determinação de massa unitária</i> .....	30
3.3 PRODUÇÃO DOS TRAÇOS DE CONCRETO .....	30
3.3.1 <i>Materiais utilizados</i> .....	30
3.3.1.1 <i>Cimento</i> .....	30
3.3.1.2 <i>Agregado graúdo</i> .....	30

3.3.1.3 Agregado miúdo .....	30
3.4 MÉTODO DE DOSAGEM DO TRAÇO.....	31
Na tabela 7, demonstra-se o consumo dos materiais em cada traço seguindo os percentuais pré-estabelecidos acima: .....	32
3.5 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO.....	33
3.5.1 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (SLUMP TEST) (ABNT NM 67:1998) .....	33
3.5.2 Moldagem e cura dos corpos de prova (NBR 5738:2015).....	33
3.6 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO.....	35
3.6.1 Ensaio de resistência a compressão axial de corpo-de-prova cilíndrico (NBR 5739:2007) .....	35
3.6.2 Ensaio de resistência à tração por compressão diametral (NBR 7222:2010).....	36
3.6.3 Ensaio de absorção de água (NBR 9778:2009) .....	37
3.7 APLICAÇÃO DE VIDRO TRITURADO NA PRODUÇÃO DE PEÇAS PRÉ-MOLDADAS .....	38
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>39</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS .....	39
4.1.1 Agregado miúdo .....	39
4.1.1 Agregado graúdo natural .....	40
4.1.2 Agregado graúdo reciclado.....	41
4.1.3 Ensaios de cimento .....	42
4.2 ENSAIO COM CONCRETO NO ESTADO FRESCO .....	43
4.2.1 Ensaio de abatimento (Slump test) .....	43
4.3 ENSAIOS COM CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO .....	44
4.3.1 Ensaios de compressão axial do concreto.....	44
4.3.2 Resistência à tração por compressão diametral .....	46
4.3.3 Ensaio de absorção de água.....	47
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>49</b>
<b>6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>50</b>
<b>7. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>51</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo (KLEIN, 2008), a escassez de agregados naturais com propriedade satisfatória, ou o alto custo empregado, tem levado profissionais do setor da construção civil buscarem como alternativa o uso de produtos reciclados. Tendo isso como verdade, o presente trabalho traz como possível material construtivo, o uso o vidro reciclado coletado em Palmas-TO, como agregado graúdo aplicado no concreto.

No Brasil é gerado aproximadamente 980 mil toneladas de embalagens de vidro por ano, usando apenas cerca de 45% de matéria-prima reciclada na forma de cacos para a A produção de novos vidros, restando cerca de 539 mil toneladas que acabam sendo descartados de forma incorreta (CEMPRE, 2012). Atualmente o principal mercado para o resíduo, são as vidrarias que compram ele sucateado para a produção de novas peças.

O vidro é um material tolamente reciclável, a cada 01 tonelada reciclada, e produzido a mesma quantidade de vidro novo e 1,2 toneladas de matéria prima economizada. Entretanto, devido sua alta massa específica, transportá-lo por distancias superiores a 400 km, torna a reciclagem inviável, pois o valor do transporte excede o valor da matéria prima (CEMPRE 2012).

Utilizar resíduos reciclados em substituição a matérias-primas naturais como por exemplo brita, traz diversas vantagens como a mitigação de poluição de solo, da água e do ar. Os impactos ambientais causados pelo homem são preocupações frequentes, com isso, a possibilidade de incorporar o concreto com diversos materiais abre portas para novos estudos, por exemplo o uso do vidro, essencialmente inerte, apresentando elevada dureza, biologicamente inativo e impermeável, assim distinguindo-se dos outros materiais.

Entretanto, para que seja substituído parcialmente o agregado graúdo do concreto por vidro âmbar triturado obtido na cidade de Palmas, é necessário realizar alguns ensaios de caracterização dos materiais, slump teste, resistência a tração, resistência a compressão e ensaio de absorção de água.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade técnica e sustentável da substituição parcial do agregado graúdo por resíduos sólidos de vidro triturado coletado nos ecopontos da cidade de Palmas-TO, em concretos estruturais convencionais.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Processar e caracterizar o vidro âmbar utilizado na substituição parcial do agregado graúdo.
- Analisar a influência da dosagem do vidro como parte do agregado graúdo nas propriedades do concreto no estado plástico: Trabalhabilidade e massa específica.
- Analisar a influência da dosagem do vidro como parte do agregado graúdo nas propriedades do concreto no estado endurecido: Resistência à compressão; Resistência à tração; Módulo de elasticidade e absorção de água.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

No Brasil, são produzidas 980 mil toneladas de vidros em embalagens por ano, deste montante 539 mil toneladas são descartadas de forma incorreta (CEMPRE, 2012). O vidro é um material totalmente reciclável, entretanto, a sua elevada massa específica torna inviável a logística de transporte até o ponto de reciclagem. O uso do vidro como agregado graúdo ao concreto, resultaria em uma nova destinação, que junto a suas propriedades poderia alcançar bons resultados.

A produção de concreto no Brasil vem crescendo a cada dia, tornando necessário o estudo de novos insumos, pois a população se conscientiza cada vez mais dos impactos ambientais causados pela extração desses recursos. A utilização do vidro como agregado no concreto traria como vantagem uma nova destinação a este resíduo, mitigando a extração dos recursos naturais cada vez mais escassos.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 HISTÓRICO DO VIDRO

Giovanni (1992), cita que o vidro foi descoberto acidentalmente em aproximadamente 3000 a.c, por navegadores fenícios, segundo CEMPRE (2012), essa descoberta foi o resultado do calor de uma fogueira que ao aquecer a areia, salitre e o calcário das rochas formou o vidro. Esta descoberta foi difundida rapidamente, de início usado para criação de pequenos ornamentos como vasos, copos e jarras, posteriormente passou a exercer a função de espelhos, sendo usado também na produção de vitrais.

Entretanto, segundo Salata (2008, p.146), a descoberta do vidro não se deu pelos navegadores fenícios, pois existem estudos indicadores que povos mesopotâmios e egípcios já dominavam técnicas rudimentares para a fabricação de vidro, há cerca de 5.000 anos.

Todavia, somente após a revolução industrial a produção em grande escala se tornou possível, cabido aos avanços tecnológicos que proporcionaram a descoberta dos processos de folha estirada e de flutuação, revolucionários para as fabricas de vidro (LINO, 2011, p. 217).

De acordo com CEBRACE (2015), a indústria de vidro no Brasil, iniciou-se com as invasões holandesas entre 1624 e 1635, em Olinda Recife, onde instalou-se a primeira oficina de vidro. Fabricava-se vidro para janelas, copos e frascos. Posteriormente em 12 de janeiro de 1810, foi instalado a primeira indústria de vidro no país, localizado no estado da Bahia onde produzia vidros lisos, de cristal branco, frascos, garrações e garrafas.

No século XX, as pesquisas das propriedades físicas e químicas possibilitaram novos tipos de vidro e novas indústria: vidros temperados, vidros laminados, fibras de vidro, fibras óticas e vidro cerâmico BAUER (1994). Atualmente o vidro é uma opção muito usada em grandes projetos arquitetônicos, visando a estética, elegância, permitindo a passagem de luz natural, consequentemente diminuindo os custos energéticos. A figura 1 abaixo expõe um desses grandes projetos.

**Figura 1: Composição química do vidro**



**Fonte: Vidro Impresso (2017)**

## 2.2 TIPOS DE VIDRO

Segundo (YAZIGI, 2009), o passar do tempo e o avanço tecnológico facilitou a produção de diferentes tipos de vidros. Entre eles estão os vidros temperados, laminados, lisos e float. Cada um para um uso distinto, podendo ser classificados, segundo Azeredo (2004), por forma, tipo, transparência e acabamentos de superfície. Segundo Bergamo e Motter (2014), o vidro pode ser categorizado entre as variedades do material da seguinte forma:

- Vidro Float: Trata-se do vidro comum, transparente e liso sendo a matéria prima para a origem dos vidros temperados, laminados, serigrafados, insulados e espelhos. Composto por sílica, cálcio, sódio, magnésio, potássio e alumina.

- Vidro temperado: considerado vidro de segurança, é submetido a tratamento no qual introduz tensões adequadas que se, fraturado em qualquer ponto, desintegra-se em pequenos pedaços menos cortantes que em vidros recozidos.

- Vidro laminado: conhecido também como vidro de segurança, é manufaturado com duas ou mais chapas de vidro firmemente unidas e alternadas com uma ou mais películas de material aderente, de maneira que, quando quebrado, tende a manter os estilhaços colados nesta película.

- Vidro duplo ou insulado: formado por duas ou mais chapas de vidro, selada em sua periferia, formando vazios entre as chapas paralelas. Entre os dois vidros, há uma camada

interna de ar ou de gás desidratado – dupla selagem. A primeira selagem evita a troca gasosa, enquanto a segunda garante a estabilidade do conjunto.

- Vidro aramado: considerado vidro de segurança, formado por uma chapa de vidro que contém em seu interior, fios metálicos incorporados à sua massa durante a fabricação. A tendência é que, quando quebrado, os estilhaços mantenham-se presos aos fios.

- Vidro térmico absorvente: vidro com capacidade de absorver pelo menos 20% dos raios infravermelhos, reduzindo o calor que entra na edificação.

Conclui-se que de acordo com o tipo e uso, o vidro pode ser fabricado em formato plano, curvo perfilado ou ondulado; transparente, translúcido ou opaco.

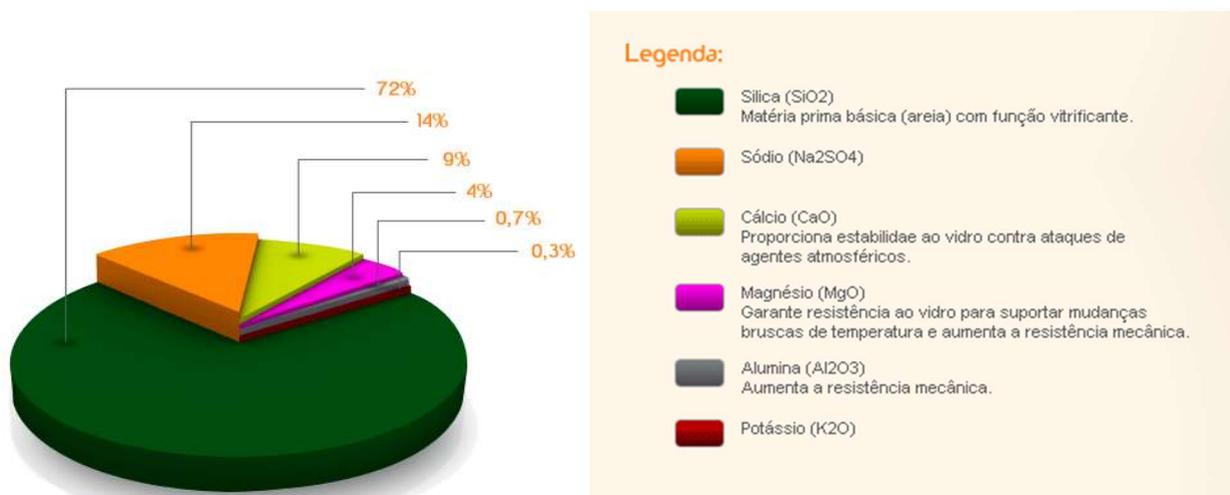
### 2.3 COMPOSIÇÃO DO VIDRO

O vidro tem em sua composição uma grande parcela de sílica ou óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) e óxido de cálcio. Sendo constituído de 72% de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) composto predominante na areia, e que é um dos elementos mais abundantes no planeta. Possui em sua propriedade química alto ponto de fusão  $1830^\circ\text{C}$  e massa específica elevada de  $2200 \text{ Kg/m}^3$  CEBRACE (2015).

Em seguida o autor explica que os vidros coloridos são produzidos basicamente da mesma forma, acrescentando-se à composição, corantes como o selênio (Se), óxido de ferro e cobalto para atingir as diferentes cores.

Na figura 02 abaixo, será exposta a composição do vidro e o percentual que representa cada componente.

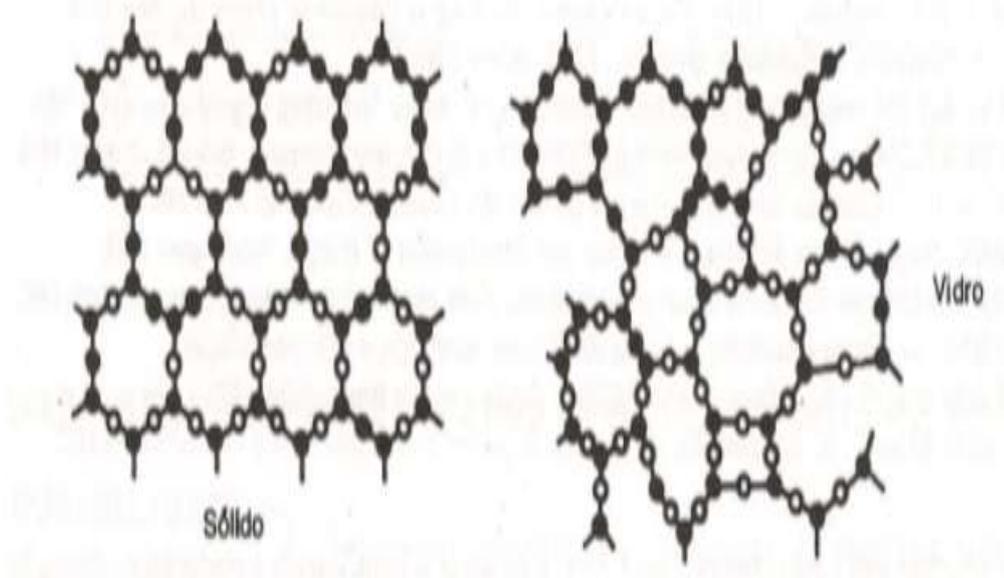
**Figura 2: Composição química do vidro**



Fonte: CEBRACE (2015)

Segundo BAUER (1994), o que dá ao vidro qualidades singulares é a sua estrutura atômica. Nem um líquido, nem verdadeiramente um sólido cristalino, ele é um compromisso entre os dois. Ao analisar sua estrutura interna com raio X, não se encontra o ordenado regular dos sólidos, a estrutura é mais parecida com o arranjo aleatório de um líquido, entretanto, um líquido refreado abaixo do ponto de congelamento. Na figura 3, expõe a estrutura molecular do vidro e de um sólido, para uma melhor análise e comparação.

**Figura 3: Estrutura molecular do vidro comparado com sólido cristalino (BAUER)**



**Fonte: BAUER, Materiais de Construção Civil (1994)**

Bauer finaliza afirmando que composição química do vidro pouco mudou nesses últimos 5000 anos. O vidro mais usado no mundo continua sendo o calco-sódico ( $\text{CaO}$ ), com 72% de sílica, 14 % de sódio e com 14 % de outros óxidos.

De acordo com KLOSS (1991, p.135) os vidros possuem algumas propriedades interessantes, que podem justificar o seu uso no concreto:

- Possuem grande dureza superficial;
- São atacados quimicamente somente pelo ácido fluorídrico;
- Apresentam elevada massa específica, variando de 2.460 a 3.330 $\text{kg/m}^3$ ;
- Possuem elevada resistência mecânica;
- Resistência à compressão de 500 MPa, podendo chegar até 12.500 MPa nos vidros temperados;
- Resistência a tração até 2.000 Mpa.

## 2.4 RECICLAGEM DO VIDRO

O vidro se encontra em todas as possíveis origens de resíduos como: domiciliar, limpeza urbana, comerciais, industriais, serviços de saúde, construção civil, entre outros (VGRESÍDUOS, 2018). Conseqüentemente, representa aproximadamente 3% de todo lixo produzido no mundo (CEMPRE, 2012), desta forma, tornasse necessário a reciclagem do mesmo.

O vidro é um material 100% reciclável. A cada tonelada de caco de vidro limpo, obtém-se uma tonelada de vidro novo e cerca de 1,2 toneladas de matéria-prima deixam de ser consumida (CEMPRE, 2012).

Segundo SANTOS (1998) 2% do total de lixo gerado nos depósitos e lixões do país é composto por vidro. Estima-se que aproximadamente 70% dos aterros estarão com sua capacidade muito reduzida no próximo milênio, pois o tempo estimado de decomposição do vidro é de aproximadamente um milhão de anos.

No Brasil é produzido aproximadamente 980.000 toneladas de embalagens de vidro anualmente, e 45% (441 mil toneladas) destas embalagens são recicladas tornando-se matéria-prima na forma de cacos. Deste montante, 40% são gerados pelas engarrafadoras de bebidas, 40% pelos sucateiros e 10% provém do chamado canal frio (bares, restaurantes, hotéis, entre outros.). Os 10% restantes provém de refugos de vidro gerados nas próprias fábricas (COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM, 2008). O ciclo da reciclagem do vidro é exposto na figura 4.

Figura 4: Ciclo de reciclagem de vidro



Fonte: Fonte: Adaptado de GUIA DO VIDRO, 2009

## 2.5 ADIÇÕES MINERAIS NO CONCRETO

No Brasil, os cimentos Portland comum são produzidos desde 1926 e os cimentos com adições começaram a ser produzidos a partir de 1952, dando início com as adições de escória de alto forno, seguida pozolana em 1969, e filer calcário em 1991 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2019).

Mehta e Monteiro (2008, p. 304), definem adições minerais como material silicoso moído e adicionado ao concreto em quantidades relativamente grandes, geralmente na faixa de 20 a 70% da massa do material cimentício total. O uso de adições minerais na produção de concreto vantagens econômicas, sociais e principalmente ambientais, pois a geração de novas destinações aos materiais que antes poluíam o ambiente, como por exemplo o resíduo de construção civil (RCC), entre vários outros.

De acordo com Dal Molin (2005, p.346-347), classifica as adições minerais em tres grandes grupos de acordo com sua ação físico-química:

- Material pozolânico
- Material cimentício
- Filer

Tendo também como vantagem, a economia obtida por um consumo menor do cimento, mantendo ou aumentando a resistência mecânica e durabilidade. Pelo mesmo motivo, uma economia de energia pode ser gerada, já que os materiais pozolânicos são energeticamente mais econômicos que o clínquer do cimento. desta forma, o uso de pozolanas beneficia o meio ambiente, contribuindo para o aproveitamento melhor dos resíduos industriais poluidores, como é o caso do resíduo de construção civil, sílica ativa, entre outro (OLIVEIRA, 1982, p.153).

A fabricação dos vários tipos de cimento existentes, com adições minerais como escoria e pozolanas, interliga a destinação correta destes materiais com as vantagens resultantes por eles no concreto. Além de melhorarem certas características do material, como a redução da permeabilidade, a diminuição da porosidade capilar, maior resistência ao ataque ao sulfato. As pozolanas têm a vantagem de estimular diluição do aluminato tricálcico ( $C_3A$ ), que é o principal componente do clínquer responsável pelo calor de hidratação do cimento, mitigando a permeabilidades do concreto e aumentando a resistência aos ataques químicos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2019).

### 2.5.1 Pozolana

De acordo com a NBR-12653 (ABNT, 2014), pozolanas são materiais silicosos ou silicoaluminosos que por si só não possuem atividade cimentícia, mas que finamente divididos, em temperatura ambiente, e na presença de água reagem com o hidróxido de cálcio, resultando a formação de compostos cimentícios.

Segundo NBR 12653/92, os materiais pozolanicos podem ser divididos em grupos, sendo eles:

Pozolanas naturais: Materiais de origem vulcânica, geralmente de caráter pozolânica.

Pozolanas artificiais: materiais provenientes de tratamento térmico ou subprodutos industriais com atividade pozolânica.

Argilas calcinadas: materiais provenientes de calcinação de certas argilas submetidas a temperaturas, em geral, entre 500°C e 900°C, de modo a garantir sua reatividade com hidróxido de cálcio.

Outros materiais: materiais não-tradicionais, tais como: escórias siderúrgicas ácidas, cinzas de resíduos vegetais, rejeito de carvão mineral.

Posteriormente a NBR 12653/92, classifica a pozolanas em três grupos, sendo eles:

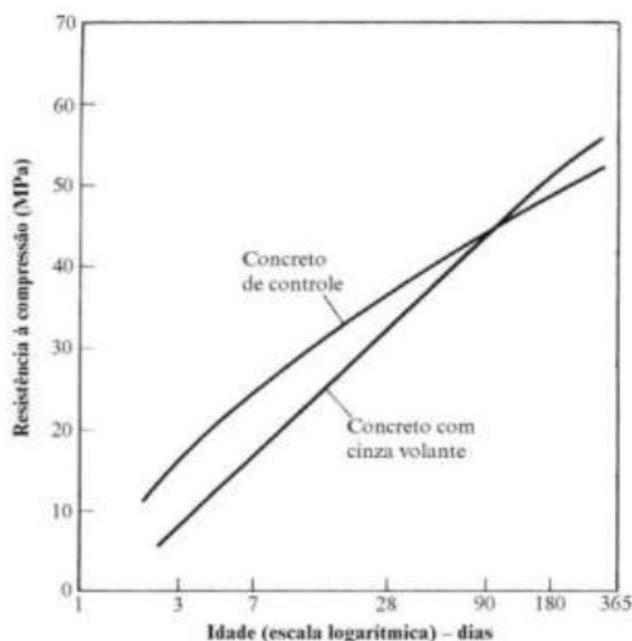
Classe N: Pozolanas naturais e artificiais que obedecem aos requisitos aplicáveis nesta norma, como certos materiais vulcânicos de caráter petrográfico ácido, “cherts” silicosos, terras diatomáceas e argilas calcinadas.

Classe C: Cinza volante produzida pela queima de carvão mineral em usinas termoelétricas que obedece aos requisitos aplicáveis nesta norma.

Classe E: Qualquer pozolana cujos requisitos diferem das classes anteriores, conforme estabelecido nesta Norma.

Segundo NEVILLE (2010), o cimento Portland com adição pozolânica tem um ganho de resistência lento, como consequência deve ser curado por mais tempo, entretanto possui uma alta resistência a longo prazo, como ilustrado na figura 5 abaixo.

**Figura 5: Controle da resistência do concreto com adição pozolânica em função dos dias.**



**Fonte: Fonte: NEVILLE (2010)**

### 2.5.2 Sílica ativa

Segundo a NBR-13956-1 (ABNT, 2012), sílica ativa é definida como o material decorrente do processo de produção de silício metálico ou ligas de ferrosilício 75% em fornos elétricos, onde, durante o processo, é gerado o gás SiO que, ao sair do forno, oxida-se formando partículas de SiO<sub>2</sub>, que são captadas por sistemas de filtros coletadores; esse material constitui um tipo de pozolana formada essencialmente por partículas esféricas com diâmetros menores que 10<sup>-6</sup> m de sílica no estado amorfo. Nita e John (2007, p.9) caracterizam a sílica ativa como uma pozolana com grande área superficial, vítrea e composta predominantemente de silício.

O cimento Portland possui como componentes fundamentais, cal (CaO), sílica (SiO<sub>2</sub>), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), magnésia (MgO), água (H<sub>2</sub>O) e o anidro sulfúrico (SO<sub>3</sub>). E constituintes menores, impurezas como, oxido de sódio, potássio, titânio, e substâncias de menor importância (BAUER, 2008). O escritor complementa como uma tabela expondo os principais compostos como na tabela 1.

**Tabela 1: Principais compostos encontrados no cimento Portland**

Nome do Composto	Abreviações	Composição
Silicato tricálcico	C <sub>3</sub> S	3CaO . SiO <sub>2</sub>
Silicato bicálcico	C <sub>2</sub> S	2CaO . SiO <sub>2</sub>
Aluminato tricálcico	C <sub>3</sub> A	3CaO . Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Ferro Aluminato tetracálcico	C <sub>4</sub> AF	4CaO . Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

Fonte: Bauer (2008)

Na Tabela 2 descreve a composição dos cinco tipos básicos de cimento Portland fabricados no Brasil, de acordo com sua sigla, e composição por percentual de massa.

**Tabela 2: Composição dos cimentos Portland**

Sigla	Clinker + Gesso	Escória granulada de alto forno	Material Pozolânico	Material Carbonático
	Composição (% em massa)			
CPI	100	-	-	-
CPI-S	95-99	1-5	1-5	1-5
CPII- E	56-94	6-34	-	0-10
CPII - Z	76-94	-	6-14	0-10
CPII - F	90-94	-	-	6-10
CPIII	25-65	35-70	-	0-5
CPIV	45-85	-	15-50	0-5
CPV-ARI	100-95	-	-	0-5

Fonte: ABCP (2002) adaptado

Cada um dos cimentos Portland possui uma atribuição e características específicas, tornando a utilização única e indicada para cada tipo de ambiente e uso.

## 2.6 CONCRETO

Segundo Neville e Brooks (2013) o concreto, no sentido mais amplo, é qualquer produto ou massa produzido a partir do uso de um meio cimentante. Geralmente esse meio é o produto da reação de um cimento hidráulico e água. Entretanto atualmente mesmo essa definição pode cobrir uma larga gama de produtos.

Neville e Brooks complementa explicando que o concreto pode ser produzido com vários tipos de cimento, contendo pozolanas, cinza volante, escoria de alto-forno, sílica, adições minerais, agregados reciclados, aditivos, polímeros e fibras.

O concreto é um material composto 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, a norma NBR 7211 os distingue em grãos (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).

De acordo com Isaia (2005) o concreto é o material da construção civil mais importante da atualidade. Mesmo que o concreto seja um dos mais recentes materiais de construção de estruturas, é considerado uma das 19 descobertas mais interessantes da história do desenvolvimento da humanidade.

Segundo Mehta e Monteiro (2014), atualmente o consumo de concreto mundial é quantificado em média 19 bilhões de toneladas métricas por ano. Isaia (2005) encerra dizendo que o concreto se tornou o material mais utilizado no mundo depois da água.

Mehta e Monteiro (2014) apontam três motivos que justificam o grande consumo de concreto no mundo:

- Resistência perante a ação da água;
- Facilidade em assumir diversas formas geométricas;
- Baixo custo e grande disponibilidade;

### 2.6.1 Cimento

Cimento Portland é o nome dado ao cimento obtido pela mistura íntima de calcário, argila ou outros materiais silicosos, alumina e materiais que contenham óxido de ferro. Essa mistura é queimada a temperatura de clínquerização, sendo o material resultante dessa queima, o clínquer, moído (Neville e Brooks, 2013).

De acordo com Neville (1997), qualquer material com propriedade coesiva e adesiva, capaz de conectar fragmentos de substâncias minerais entre si de modo a formar uma única peça, pode ser considerado cimento.

O cimento Portland é um pó cinza de partículas angulares resultado da moagem do clínquer, sendo uma mistura heterogênea de vários minerais produzidos em reações a altas temperaturas entre óxido de cálcio, sílica, óxido de ferro e alumina (MEHTA e MONTEIRO, 2008). A composição química e propriedades físicas dos principais minerais presentes no clínquer do cimento Portland está apresentada na Tabela 3.

**Tabela 3: Composição química e propriedades físicas dos principais minerais presentes no cimento Portland.**

<b>Composição</b>	<b>Constituição</b>	<b>Sigla</b>	<b>Propriedades Tecnológicas</b>
Silicato tricálcico (alita)	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$	Endurecimento rápido; Alto calor de hidratação; Alta resistência inicial.
$\beta$ -Silicato dicálcico (belita)	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$	Endurecimento lento; Baixo calor de hidratação; Baixa resistência inicial.
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$	Pega muito rápida; Suscetibilidade ao ataque em meios sulfatados; Alto calor de hidratação; Alta retração; Baixa resistência inicial.
Ferroaluminato tetracálcico (celita)	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$	Endurecimento lento; Resistência a meio sulfatado; Pouca contribuição para a resistência.
Cal livre	$\text{CaO}$	C	Aceitável em pequenas quantidades; Altos teores causam expansão e fissuração.
Gipsita	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		Controlador de pega.

Fonte: (ARMELIN e ISAIA, 1991)

Os compostos  $\text{C}_3\text{S}$ ,  $\text{C}_2\text{S}$  e  $\text{C}_3\text{A}$  são responsáveis por grande parte do desenvolvimento da resistência da pasta de cimento. O  $\text{C}_3\text{S}$  é encarregado pela resistência mecânica até os 28 dias de idade. O silicato tricálcico em contato com a água gera uma pasta pouco plástica, que é beneficiado com a adição de gipsita, que também influencia a pega e a resistência aos três dias de idade. Esse material se hidrata rapidamente aumentando o calor de hidratação (BAUER, 2005).

### 2.6.2 Água

Gomes e Barros (2009) divide a quantidade de água para a mistura cimentícia em quatro partes: hidratação do cimento, absorção e adsorção dos agregados materiais finos, preencher a porosidade do esqueleto granular e por último para garantir a fluidez do concreto.

Toda a água utilizada na produção do concreto deve estar livre de impurezas que possam prejudicar as reações entre ela e os compostos do cimento. Portanto a maioria dos defeitos proveniente da pasta de cimento, estão relacionados com o excesso de água empregada do que com as impurezas que possam nela conter (BAUER, 2005).

O monitoramento da relação água/cimento é crucial para obtenção de concretos de alta resistência. A redução desta relação resulta em ganho de resistência para o concreto. A relação água/cimento necessária para hidratar o cimento é 0,22, entretanto é preciso de uma quantidade adicional para adequar a trabalhabilidade. Nos concretos convencionais o fator água/cimento fica em torno de 0,45 e 0,60; nos concretos de alta resistência, devido à adição de plastificantes ou superplastificantes, fica em torno de 0,30 (AÏTCIN e NEVILLE, 1993).

### 2.6.3 Agregado graúdo

Segundo (DNPM, 2012), a produção de brita no Brasil é dividida em três tipos de rochas, sendo 85% de rochas granitoides (granito, gnaisse entre outras), 10% de rochas calcárias (calcário e dolomito) e 5% basalto.

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

A granulometria do agregado influencia diretamente no empacotamento dos grãos. A forma geométrica dos agregados influencia nas propriedades físicas, partículas arredondadas diminuem o volume de vazios da mistura aumentando a fluidez, já agregados com forma angular, consomem maior quantidade de pasta para alcançar a fluidez necessária, aumentando o custo do concreto. (GOMES; BARROS, 2009).

### 2.7.4 Agregado miúdo

Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150  $\mu\text{m}$ , em ensaio realizado conforme a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1. Segundo Tutikian e Dal Molin (2008), areias grossas, que possuem módulo de finura superior a três, devem ser evitadas, pois podem causar a segregação da mistura.

Okamura e Ouchi (2003) assegura que a resistência ao cisalhamento da argamassa é maior quanto mais angulosa for às partículas do agregado miúdo, dificultando a deformabilidade do concreto.

### 3. METODOLOGIA

Em relação ao processo metodológico deste trabalho adotou-se uma pesquisa exploratória, que se iniciará com a caracterização e análise do vidro triturado e transformado em agregado graúdo para substituição parcial no concreto. Posteriormente será analisado a influência desta substituição no concreto e a possível utilização em peças pré-moldadas de artes públicas na cidade de Palmas-TO.

Em relação ao procedimento metodológico, a pesquisa experimental é compreendida como um experimento que deve permitir comparar o resultado de duas ou mais situações, bem definidos, sobre um atributo do organismo ou material que é objeto da pesquisa (REY, 1998, p. 33).

#### 3.1 PRODUÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO

##### 3.1.1 Local de pesquisa

Todos os ensaios foram realizados no laboratório de materiais para construção civil e no laboratório de minas encontrados no Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

##### 3.1.2 Coleta

O vidro coletado para a atual pesquisa é o âmbar proveniente de garrafas Long Neck , fornecido por um ecoponto responsável pela coleta dos resíduos vídricos na cidade de Palmas-TO, Após a coleta do resíduo, foram encaminhados para os laboratórios do (CEULP/ULBRA), para início da lavagem removendo as impurezas e materiais pulverulentos existentes, prosseguindo com o início da britagem.

##### 3.1.3 Moagem

A moagem foi realizada no moinho de bolas de marca RTS-Maquinas de pesquisa de minério, na proporção 1:2, onde 1 representa a quantidade de vidro e 2 a quantidade de bolas colocadas na moagem, esse processo foi repetido 6 vezes, até a obtenção de cerca de 12 kg de

vidro triturado. Este processo teve por objetivo a redução do tamanho do material, alcançando um diâmetro máximo característico de 12,5mm. A figura 6 representa o moinho de bolas pertencente ao laboratório de minas do (CEULP/ULBRA).

**Figura 6: Britador de mandíbulas**



**Fonte: Imagem provisória**

#### 3.1.4 Peneiramento

O peneiramento foi realizado com peneiras e agitador mecânico disponíveis no laboratório de engenharia civil do (CEULP/ULBRA), com estas peneiras foi realizado o ensaio e análise granulométrica segundo ABNT NBR NM 248:2003.

As peneiras granulométricas possuem diversas aberturas que são padronizadas internacionalmente, o número de abertura por polegada é chamado de “mesh” é determinado que quanto maior o mesh, menor o número de abertura e mais fino deverá ser o grão que passará por ela. (LUZ, 2010).

**Figura 7: Peneiramento**

**Fonte: Autor**

## 3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Segundo Testmat, “A caracterização dos materiais, refere-se ao processo em que a microestrutura e as propriedades de um material são avaliadas. É um conjunto de atividades fundamentais para a compreensão e estudo dos materiais de engenharia.”

### 3.2.1 Análise granulométrica

Após o tratamento do agregado gráúdo reciclado, fez-se as análises granulométricas dos agregados gráudos e miúdos que foram utilizados na produção do concreto de acordo com as especificações dadas pela ABNT NBR NM 248:2003.

### 3.2.2 Determinação da massa específica

A determinação da massa específica do agregado miúdo foi realizada de acordo com a ABNT NBR NM 52/2009, norma a qual demonstra o método de determinação da massa específica aparente dos agregados miúdos. Para a determinação da massa específica do agregado gráúdo, utilizou-se como referência a ABNT NBR NM 53/2009.

### 3.2.3 Determinação de massa unitária

A determinação da massa unitária foi realizada de acordo com a ABNT NBR NM 45/2006. Norma a qual estabelece o método para a determinação da densidade a granel e do volume de vazios de agregados miúdos, grãos em estado compactado ou solto.

## 3.3 PRODUÇÃO DOS TRAÇOS DE CONCRETO

### 3.3.1 Materiais utilizados

#### 3.3.1.1 Cimento

Foi selecionado para o traço o cimento CP II F-40, por apresentar grande flexibilidade nas aplicações, destacando-se entre os outros cimentos por seu maior grau de finura proporcionando uma cura rápida e com alta resistência inicial mantendo-a em todas as idades.

Realizou-se apenas o ensaio de Finura do aglomerante, já as demais informações de caracterização adotaram-se as dadas pelo fabricante.

#### 3.3.1.2 Agregado graúdo

Adotou-se como agregado graúdo a brita 1 de origem granítica fornecido na região de Palmas/ TO, procurando sempre a escolha do menor diâmetro máximo característico. A caracterização do agregado graúdo seguiu as recomendações da ABNT NBR 7211/2009.

#### 3.3.1.3 Agregado miúdo

A areia empregada possui origem do rio Tocantins, obtida no comércio da região sul de Palmas, armazenada no Laboratório de engenharia, do Centro Universitário luterano de Palmas, Palmas/TO. Antes de ser utilizado no traço, o agregado miúdo foi peneirado e seco em estufa conforme indicado pela NBR-7214 (ABNT,2012), classificando-a em areia grossa, média e fina.

### 3.4 MÉTODO DE DOSAGEM DO TRAÇO

Optou-se como método de dosagem do concreto utilizado nesta pesquisa o ACI 211.1-91 (American Concrete Institute).

Os traços foram determinados usando como parâmetro o trabalho de Pereira (2016), onde avaliou a substituição parcial do agregado graúdo natural por vidro temperado nos percentuais de 5, 10, 20 e 100%, onde obteve os resultados expostos na tabela 4 abaixo.

**Tabela 4: Resistencia a tração e compressão**

Traço	Resistencia Compressão	Resistencia Tração
TR	29,48	2,65
T05	27,42	2,79
T10	18,5	2,63
T20	31,76	2,37
T100	19,81	1,09

**Fonte: Pereira (2016), adaptada.**

É possível visualizar com os resultados discorridos acima que, a substituição de 100 % do agregado graúdo por vidro temperado influenciou de forma negativa ao concreto, já a substituição de 20%, apresentou um ganho de resistência comparado ao traço referência, entretanto, ao analisar a substituição de 10% nota-se um desvio padrão, pois obteve a menos resistência a compressão analisada, podendo está a associada moldagem de corpo de prova.

No presente trabalho o vidro utilizado para a substituição será o âmbar proveniente de garrafas long neck não retornáveis, com os percentuais de 10, 15 e 20%, pois no trabalho de Pereira (2016), o T100 apresentou o menor desempenho, já o T05 e T20 apresentaram resistências elevadas comparadas ao T100.

Neste trabalho utilizou-se o  $f_{ck} = 25 \text{ Mpa}$ , aceitando um desvio padrão de 4 Mpa, com resistência esperada para os 28 dias de 31,6 Mpa e abatimento de  $100 \pm 20 \text{ mm}$ . No Traço referência (TR), não será empregado nenhuma substituição do agregado graúdo.

Após a produção dos traços, nomeando cada um deles de acordo com o teor de substituição, sendo: TR, T10, T15 e T20, a fim de alcançar uma exatidão nos valores substituídos, todo o agregado graúdo será pesado descontando o valor alterado. A tabela 5 apresenta as porcentagens de cada traço e a nomenclatura dada a cada um deles.

**Tabela 5: Traços e quantitativo de substituições**

TR	Traço de referência, sem substituição.
----	--

T10	Traço com substituição de 10% do agregado graúdo por vidro moído.
T15	Traço com substituição de 15% do agregado graúdo por vidro moído.
T20	Traço com substituição de 20% do agregado graúdo por vidro moído.

Fonte: Autor

Na tabela 6 apresenta-se todos os dados necessários para calcular os traços estudados:

**Tabela 6: Dosagem 25 Mpa SLUMP 100 ± 20mm.**

Massa Unitária			
Areia	1494 kg/m <sup>3</sup>		
Brita	1550 kg/m <sup>3</sup>		
Massa Específica			
Areia	2630 kg/m <sup>3</sup>		
Brita	2660kg/m <sup>3</sup>		
Cimento	3100 kg/m <sup>3</sup>		
Dosagem Experimental			
Teor de argamassa	0,57		
Consumo de cimento	375 kg/m <sup>3</sup>		
Fator água/cimento	0,52 Sem ar incorporado		
Traço experimental em massa			
Cimento	Areia	Brita	A/C
1	2,18	2,65	0,52

Fonte: Autor

Na tabela 7, demonstra-se o consumo dos materiais em cada traço seguindo os percentuais pré-estabelecidos acima:

**Tabela 7: Quantitativo de material por traço**

Traço	Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Brita (kg/m <sup>3</sup> )	vidro moído (kg/m <sup>3</sup> )	Água(kg/m <sup>3</sup> )
TR	375,00	823,24	992,00	0	195,00
T10	375,00	823,24	892,80	99,20	195,00
T15	375,00	823,24	843,20	148,80	195,00
T20	375,00	823,24	793,60	198,40	195,00

Fonte: Autor

O traço referência foi definido como traço modelo, para a determinação dos mesmos com substituição, foi necessário a pesagem da brita descontando o percentual de substituição por vidro triturado e adicionado este material a mistura.

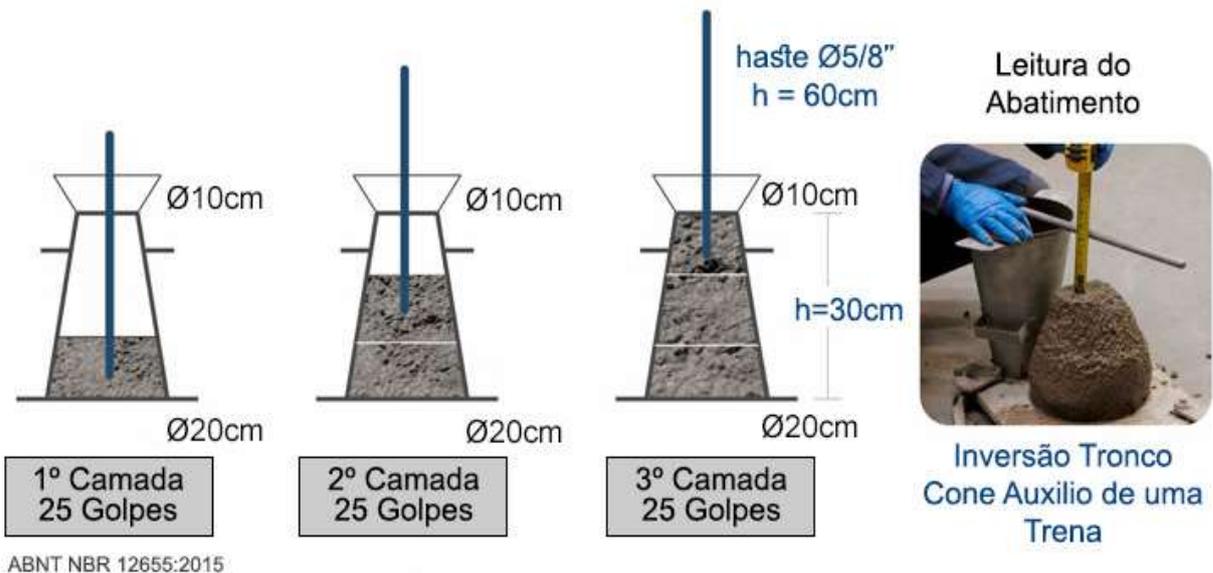
### 3.5 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

#### 3.5.1 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (SLUMP TEST) (ABNT NM 67:1998)

O ensaio de abatimento do tronco de cone (slump test), tem por objetivo determinar a consistência do concreto, conforme a NBR NM 67:1998. Neste estudo serão realizadas a caracterização do concreto no estado fresco para todos os traços (TR, T10, T15 E T20), tendo como abatimento esperado uma deformação de  $100 \pm 20$  mm.

Para a execução do procedimento, é necessária uma haste de ferro com diâmetro de 16 mm e 60 cm de comprimento, um tronco de cone com 30 cm de altura e 20 cm de diâmetro no topo, alocado sobre superfície plana. O concreto será colocado dentro do cone, sendo dividido em 3 camadas com espessuras iguais, intercaladas por 25 golpes com a haste de metal por camada, depois, o tronco de cone é lentamente suspenso em velocidade constante. Após o levante do cone o concreto irá de abater com o próprio peso, este abatimento determinará a consistência do concreto. Conforme na imagem figura 8.

**Figura 8: Execução Slump Test**



Fonte: (SPGO, 2019)

#### 3.5.2 Moldagem e cura dos corpos de prova (NBR 5738:2015)

Na moldagem dos CP's. utilizara-se moldes cilíndricos metálicos de dimensões 100 mm x 200 mm conforme a NBR 5738:2015, que cita o procedimento para moldagem e cura de corpos de prova de concreto usados nos ensaios de compressão e de tração por compressão. Na

moldagem será utilizado um vibrador agulha com diâmetro de 19 mm para auxiliar no adensamento. Conforme a figura 9.

**Figura 9: Moldagem de corpos de prova**



**Fonte: Autor**

Nas primeiras 24 horas, os corpos de provas foram alocados sobre uma superfície plana, em um local isolado e com umidade controlada, a fim de evitar perda de água ou alguma alteração devida intemperes climáticos. Na tabela 8 será representado a quantidade de corpos de prova para cada ensaio.

**Tabela 8: Quantitativo de corpos de prova por ensaio**

Ensaio	Normas	Idades	Nº de Cp's	Total
Compressão Axial	NBR 5339/2007	03, 07, 28 dias	2	24
Módulo de Elasticidade	NBR 8522/2008	28 dias	2	8

Tração por Comp. Diametral	NBR 7222/2011	28 dias	2	8
Absolvição de Água	NBR 9778/2009	45 dias	2	8
			Total de CP's	48

Fonte: Autor

### 3.6 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

#### 3.6.1 Ensaio de resistência a compressão axial de corpo-de-prova cilíndrico (NBR 5739:2007)

O ensaio de compressão de corpo de prova cilíndrico será realizado conforme a NBR-5739: 2007. Anteriormente ao rompimento, os corpos de prova se encontravam em processo de cura úmida, submerso em uma piscina de cura localizada no laboratório de engenharia civil do CEUP/ULBRA. Este ensaio deverá realizado com todos os 04 traços, sendo rompido 02 CP's, para cada uma das idades de 3, 7 e 28 dias de processo de cura, totalizando 28 corpos de prova para a realização do ensaio de resistência a compressão.

Durante a execução do ensaio, a carga deverá aplicada no corpo de prova de maneira continua com velocidade de 0,3 a 0,8 Mpa/s, durante o ensaio não deve haver nenhuma alteração no equipamento. Este ensaio será realizado na prensa EMIC PC-200, localizada no laboratório de engenharia civil do CEULP/ULBRA. Na figura 10 será representado o ensaio de compressão axial.

**Figura 10: Ensaio de compressão axial**



**Fonte: Autor**

### 3.6.2 Ensaio de resistência à tração por compressão diametral (NBR 7222:2010)

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral, deverá realizado conforme as especificações da NBR 7222:2010. Os corpos de prova utilizados permaneceram submersos em água até a idade de 28 dias previstos para os ensaios, conforme as especificações da ABNT NBR 5738:2015.

Este ensaio também será realizado no conjunto de prensa EMIC PC-200 que há no laboratório de engenharia civil do CEULP/ULBRA. Na figura 11 o processo será ilustrado, sendo visível a semelhança com o ensaio de compressão, mudando basicamente o posicionamento do corpo de prova.

**Figura 11: Ensaio de resistência à tração por compressão diametral**



**Fonte: Autor**

### 3.6.3 Ensaio de absorção de água (NBR 9778:2009)

O ensaio de absorção de água será executado conforme a NBR 9778:2009, com tempo de cura de 45 dias, 02 CP's para cada traço. Este ensaio tem por objetivo medir a porcentagem de absorção de água de cada corpo de prova. Na figura 12 está representado o ensaio de absorção de água.

**Figura 12: Ensaio de absorção de água.**



**Fonte: Autor**

### 3.7 APLICAÇÃO DE VIDRO TRITURADO NA PRODUÇÃO DE PEÇAS PRÉ-MOLDADAS

Este trabalho tem como um dos objetivos analisar a aplicação de vidro triturado na produção de peças pré-moldadas como banco de praça, grelha de bueiro, tampa de bueiro, alambrados entre outras peças. Para esta aplicação, deve-se atender a NBR 9062:2001, que delimita como resistência mínima para produção de peças pré-moldadas 20 Mpa, concluindo-se que para a utilização do concreto com substituição de agregado graúdo por vidro triturado, deve-se atender as exigências desta norma e dos resultados dos demais ensaios a cima citados.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todos os dados obtidos durante a pesquisa referentes aos materiais utilizados na fabricação dos traços, ensaios do concreto em estado fresco e endurecido encontram-se abaixo.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Após o processo de moagem do agregado graúdo reciclado e a escolha e separação dos demais materiais que constituem os traços, foram realizados os ensaios de caracterização de cada um.

#### 4.1.1 Agregado miúdo

Na tabela 9 abaixo está descrito as informações obtidas no ensaio de caracterização do agregado miúdo fornecido pela concreteira CIPLAN, localizada em Palmas-TO.

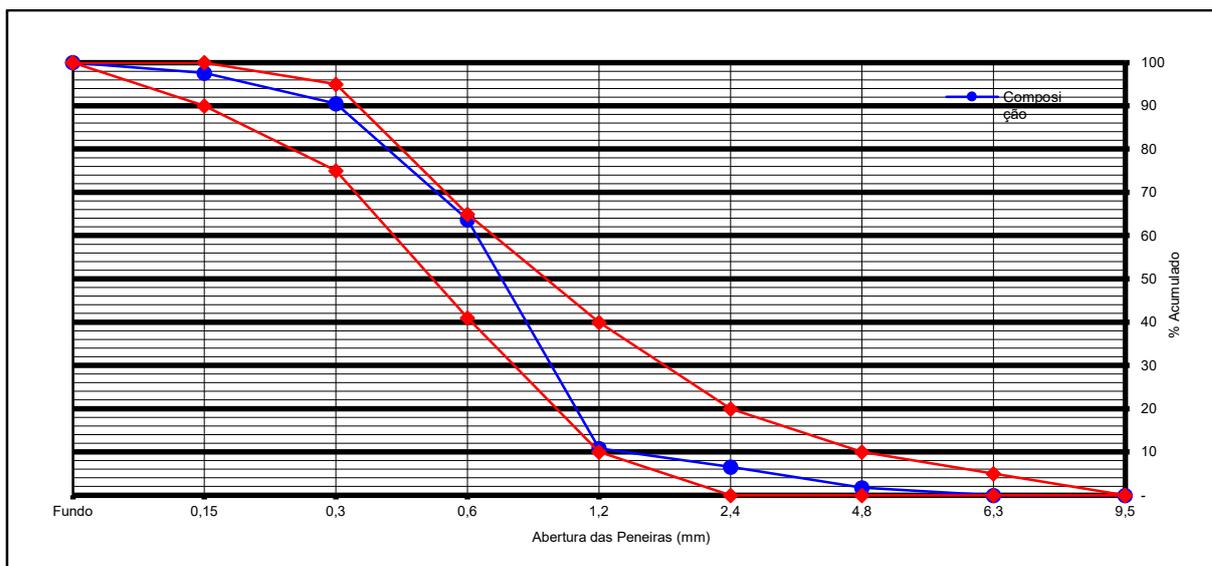
**Tabela 9: Caracterização do agregado miúdo**

Determinação da massa unitária do agregado miúdo (NBR NM 45:2006)		
Massa unitária	1,494	g/cm <sup>3</sup>
Determinação da massa específica do agregado miúdo (NBR NM 53:2009).		
Massa específica	2,630	g/cm <sup>3</sup>
Teor de material pulverulento (NBR NM 46:2003)		
Teor de material pulverulento (%)		0,88%
Impurezas orgânicas em agregados miúdos (NBR 49:2001)		
Impurezas orgânicas em agregados miúdos (NBR 49:2001)	<300	ppm
Teor de argila em torrões nos agregados: NBR 7218:2010		
Teor de argila em torrões nos agregados: NBR 7218:2010	0,32	%
Módulo de finura da areia (NBR NM- 248:2003)		
Módulo de finura da areia (NBR NM- 248:2003)	2,71	%
Dimensão máxima característica (NBR NM- 248:2003)		
Dimensão máxima característica (NBR NM- 248:2003)	4,8	mm

**Fonte: Autor**

No gráfico 1 estão descritos os dados obtidos na curva granulométrica do agregado miúdo:

Gráfico 1: Composição granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Autor

As cores vermelhas representam o limite superior e inferior da zona ótima, a linha de cor azul representa a granulometria do agregado miúdo natural (areia), encontrado dentro da zona ótima de utilização, classificando-a como areia média.

#### 4.1.1 Agregado graúdo natural

Na tabela 10 abaixo está descrito as informações obtidas no ensaio de caracterização do agregado miúdo fornecido pela concreteira CIPLAN, localizada em Palmas-TO.

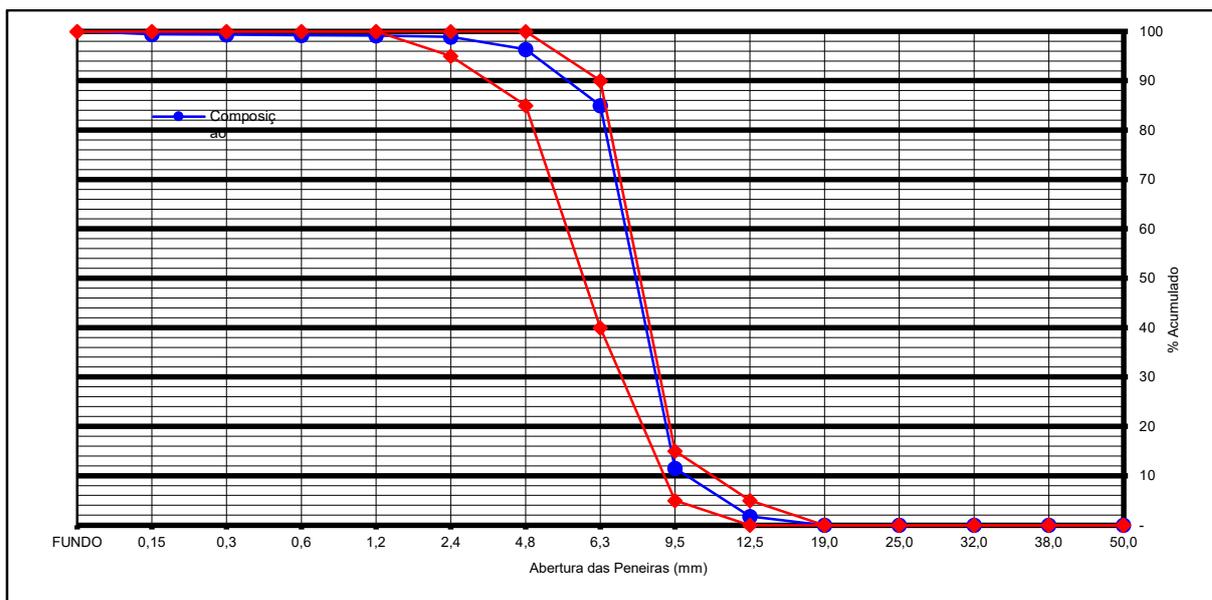
Tabela 10: Caracterização do agregado graúdo

Determinação da massa unitária do agregado graúdo (NBR NM 45:2006)		
Massa unitária	1,55	kg/dm <sup>3</sup>
Determinação da massa específica do agregado graúdo (NBR NM 53:2009).		
Massa específica		2,66 g/cm <sup>3</sup>
Diâmetro máximo característico (NBR NM-48:2003)	12,5mm	
Módulo de finura do seixo (NBR NM- 248:2003)	6,03%	

Fonte: Autor

No gráfico 2 estão descritos os dados obtidos na curva granulométrica do agregado graúdo natural:

Gráfico 2: Composição granulométrica do agregado graúdo



Fonte: Autor

Nas cores vermelhas representam o limite superior e inferior da zona ótima, a linha de cor azul representa a granulometria do material estudado, encontrado dentro da zona ótima de utilização, classificando-a como brita nº 0 (12,5 mm).

#### 4.1.2 Agregado graúdo reciclado

Após a moagem do vidro âmbar, o material foi peneirado, e utilizado para os ensaios a seguir apenas o produto passante na peneira 12,5mm e retido na 4,8mm, buscando uma uniformidade entre os agregados graúdos utilizados nos traços. Seguindo assim com a caracterização do agregado graúdo reciclado de vidro demonstrado na tabela 11 abaixo.

Tabela 11: Caracterização do agregado graúdo reciclado

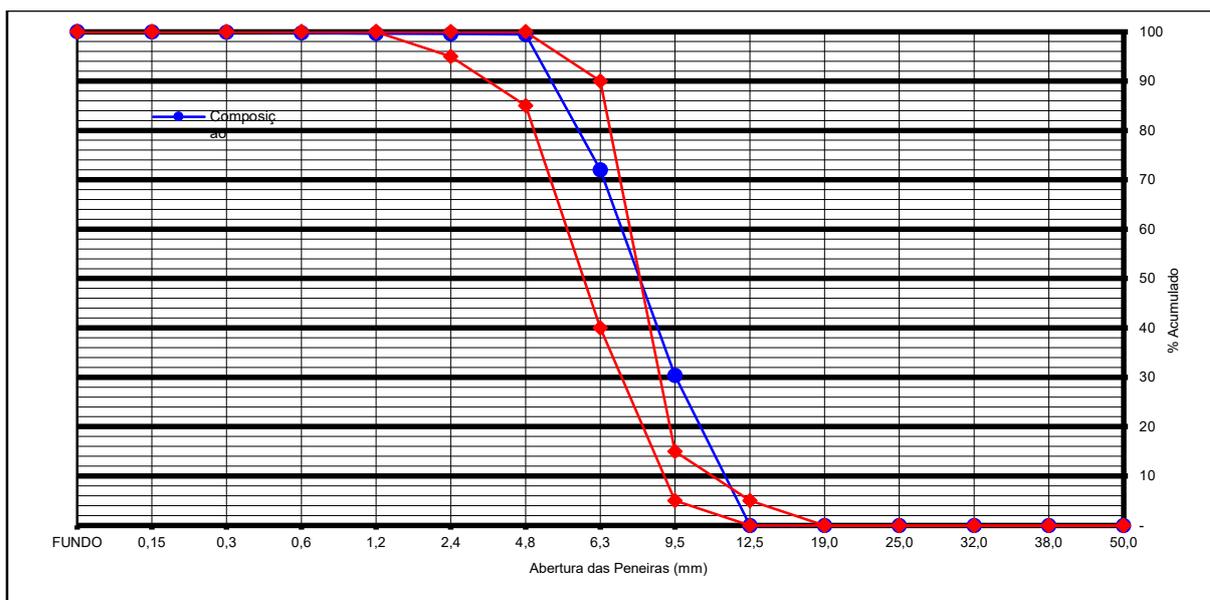
Determinação da massa unitária do agregado graúdo (NBR NM 45:2006)		
Massa unitária	1,46	kg/dm <sup>3</sup>
Determinação da massa específica do agregado graúdo (NBR NM 53:2009).		
Massa específica		2,33 g/cm <sup>3</sup>
Diâmetro máximo característico (NBR NM-48:2003)	12,5mm	
Módulo de finura do seixo (NBR NM- 248:2003)	6,29%	

Fonte: Autor

Neste ensaio o vidro apresenta uma vantagem em relação a brita comum, pois possui uma massa específica de  $2,33 \text{ g/cm}^3$ , sendo assim 12,4% mais leve. Portanto peças pré-moldadas com vidro triturado teria seu peso próprio reduzido.

No gráfico 3 estão descritos os dados obtidos na curva granulométrica do agregado graúdo reciclado.

**Gráfico 3: Composição granulométrica do agregado graúdo reciclado**



**Fonte: Autor**

No gráfico 3, apresenta-se a curva granulométrica do vidro moído estudado e utilizado na substituição parcial do agregado graúdo, onde as cores vermelhas representam o limite superior e inferior da zona ótima, a linha de cor azul representa a granulometria do material estudado, sendo notório que a curva do agregado reciclado encontrasse boa parte na zona desejada.

Nota-se que na composição do agregado graúdo reciclado a curva granulométrica está fora da zona ótima de utilização entre a peneira 6.3mm e 12.5mm estando acima do limite, resultando um módulo de finura superior ao do agregado graúdo natural.

Observou-se na tabela 9 que o módulo de finura, massa específica e massa unitária são semelhantes ao do agregado graúdo natural, fazendo acreditar que será possível realizar a substituição parcial do vidro e que não haverá grandes variações nas propriedades do concreto.

#### 4.1.3 Ensaio de cimento

A tabela 12 abaixo apresenta os resultados da massa específica do cimento e da finura.

**Tabela 12: Ensaio de massa específica do cimento Portland e Finura por meio da peneira nº200**

Determinar a massa específica do cimento Portland. NBR 6474/2001NM 23:2001		
Determinar a massa específica do cimento	3,150	g/cm <sup>3</sup>
Determinação da Finura Por Meio da Peneira nº200 NBR 11579 Mb 3432:2001	0,98	%

**Fonte: Autor**

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

## 4.2 ENSAIO COM CONCRETO NO ESTADO FRESCO

### 4.2.1 Ensaio de abatimento (Slump test)

Logo após a produção dos traços, e ainda em estado fresco foi realizado o slump test, onde obteve-se os resultados encontrados na tabela 13 abaixo.

**Tabela 13: Resultados de Slump test**

Traço	Slump test
TR (0%)	105mm
T10 (10%)	110mm
T15 (15%)	110mm
T20 (20%)	120mm

**Fonte: Autor**

Na figura abaixo, serão apresentados os resultados aferidos durante o ensaio de abatimento do TR, T10 e T20 respectivamente.

**Figura 13: Ensaio de abatimento.**



**Fonte: Autor**

O aumento do abatimento está ligado diretamente ao aumento de massa substituída, pois se trata de um material impermeável, resultando no crescimento do fator água cimento da argamassa, tornando assim o concreto mais fluido.

### 4.3 ENSAIOS COM CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

#### 4.3.1 Ensaios de compressão axial do concreto

Na tabela 14 abaixo será apresentado os resultados obtidos nos ensaios de resistência a compressão axial obtidos nos corpos de provas estudados acima.

**Tabela 14: Resultados dos ensaios de resistência à compressão axial**

CP	07 dias (MPa)	Media	14 dias (MPa)	Media	28 dias (MPa)	Media
		(MPa)		(MPa)		(Mpa)
TR	31,00	29,95	31,10	30,15	34,00	31,05
	28,90		29,20		28,10	
T.10%	27,00	26,40	32,90	30,85	31,30	30,10
	25,80		28,80		28,90	
T.15%	28,50	26,05	26,30	25,66	25,20	26,35
	23,60		25,01		27,50	
T.20%	22,40	21,15	23,20	22,35	26,90	25,70
	19,90		21,50		24,50	

**Fonte: Autor**

Na tabela 12 acima foram apresentados os resultados obtidos nos ensaios a compressão axial de cada corpo de prova. Em relação a substituição parcial do agregado graúdo natural por vidro moído, notou-se que houve uma queda nas resistências dos traços T15 e T20, onde a substituição do vidro resultou na redução das resistências nas idades 7, 14 e 28 dias.

A tabela 15 abaixo expõe os valores das médias de resistência a compressão de cada traço com suas respectivas idades e as taxas de variações submetidos as mesmas condições de ensaio.

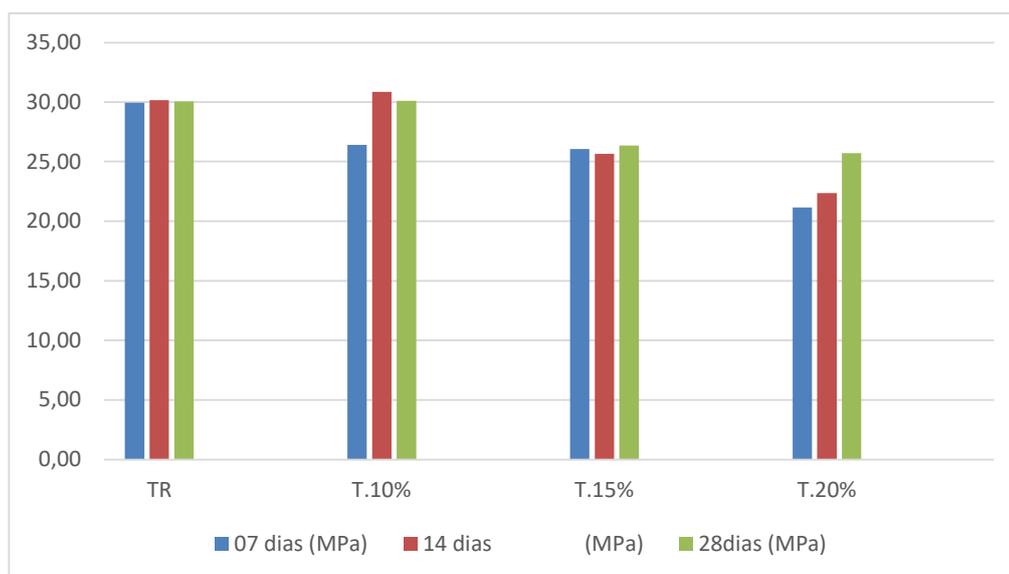
**Tabela 15: Variação da média das resistências em relação ao traço referência.**

CP	07 dias (MPa)	Variação	14 dias (MPa)	Variação	28 dias (MPa)	Variação
		(%)		(%)		(%)
TR	29,95	-	30,15	-	31,05	-
T.10%	26,40	11,85	30,85	2,32	30,10	3,05
T.15%	26,05	13,02	25,66	13,10	26,35	13,60
T.20%	21,15	29,38	22,35	23,10	25,70	17,23

Fonte: Autor

Em relação ao traço com 10% de substituição do agregado graúdo natural (T10), nota-se que a menor variação de resistência a compressão foi na idade de 14 dias, onde obteve uma variação de 2,32% maior que o traço referência (TR), uma variação de 62,70% maior que o T20 de Pereira (2016), e a maior taxa foi na idade de 7 dias, com 13,02% menor que o traço referência. No traço com 15% de substituição a menor variação de resistência a compressão foi na idade de 7 dias, com 13,02% menor que O (TR), mantendo uma variação semelhante nas demais idades de 14 e 28 dias.

Em relação ao traço com 20% de substituição do agregado graúdo natural (T20), observou-se uma variação de 29,38 % na idade de 7 dias, 22,35% com 14 dias e 17,23% com 28 dias em relação ao TR, já em relação ao trabalho de Pereira (2016), obteve-se uma variação de - 19,08%, esta perda de resistência pode estar associado a má execução durante moldagem do corpo de prova.

**Gráfico 4: Resistência em função da idade dos corpos-de-prova**

**Fonte: Autor**

No gráfico 4, observou-se que a resistência a compressão dos traços com 10,15 e 20% do agregado graúdo por vidro moído em comparação ao traço referência, foram diminuindo de acordo com o aumento de vidro e conforme a idade.

De acordo com Polley (1998), a redução da resistência a compressão do concreto está ligada diretamente com o aumento do vidro adicionado, pois está associada a diferença na força de ligação entre pasta e agregado, em razão da superfície lisa.

#### 4.3.2 Resistência à tração por compressão diametral

Os ensaios a tração diametral foram realizados por meio de corpos de provas cilíndricos com as dimensões de 15 cm x 30 cm, sendo duas unidades para cada traço, com idade de 28 dias, conforme solicitado pela NBR 7222/2011. Os resultados obtidos nestes ensaios se encontram na tabela 16 abaixo:

**Tabela 16: Resistência à tração por compressão diametral.**

CP	28 dias (Mpa)	Media 28 Dias (Mpa)
T. Ref.	3.18	3.12
	3.06	
T. 10%	3.14	3.13
	3.12	

T. 15%	3.04	2.99
	2.93	
T. 20%	2.78	2.72
	2.65	

Fonte: Autor

Na tabela 14 nota-se que as resistências encontradas ficaram dentro dos 10% comparado com a média da resistência a compressão axial. Observa-se que o TR e T10 obtiveram resultados estatisticamente iguais, levando a entender que a substituição do agregado graúdo não influenciou na resistência a tração. Os demais traços (T15 E T20) sofreram uma perda de resistência comparado ao traço referência de acordo com o aumento de massa substituída.

#### 4.3.3 Ensaio de absorção de água

Na tabela 17 abaixo, encontram-se os resultados obtidos no ensaio de absorção de água e massa específica seca e saturada conforme NBR-9778 ABNT 2005, em função da substituição do agregado graúdo

**Tabela 17: Resultados dos ensaios de absorção.**

Traço	Absorção de água (%)	Massa específica seca g/cm <sup>3</sup>	Massa específica saturada g/cm <sup>3</sup>
Ref.	5,24	2,42	2,49
T. 10%	5,13	2,39	2,47
T. 15%	5,13	2,37	2,46
T. 20%	4,94	2,35	2,44

Fonte: Autor

A primeira análise trata-se da absorção de água, onde o traço referência apresentou a maior absorção, no entanto, a taxa de absorção dos demais traços regrediram de acordo com o crescimento de massa substituída, saindo de 5,24 % (TR), e reduzindo para 4,94 % (T20).

Sendo notório que as absorções do concreto com substituição do agregado por vidro triturado, aumenta a evasão de água, fazendo a entender que quanto maior a presença de vidro moído, maior a facilidade de liberação de água do interior do concreto, reduzindo sua resistência conforme analisado nos ensaios acima.

Pode-se analisar também que, de acordo com ao aumento de massa substituída houve uma variação de massa específica, deixando claro que ao substituir o agregado graúdo natural

por vidro temperado diminui o peso do concreto, pois o vidro possui massa específica inferior ao do agregado natural.

## 5. CONCLUSÃO

O presente trabalho apresenta os resultados do estudo do concreto comum, com substituição parcial do agregado graúdo reciclado de vidro, coletado na cidade de Palmas-TO, para a fabricação de peça pré-moldadas, no intuito de apresentar uma alternativa complementar do uso do vidro com destinação incorreta.

Os traços produzidos com a substituição parcial do agregado graúdo por vidro âmbar triturado obtiveram bons resultados, mesmo que seu uso não seja recomendado para fins estruturais, apesar das resistências obtidas serem altas e em alguns casos iguais ao traço referência e superior a 20 Mpa, a sua indicação é para uso arquitetônico, pois possui aspectos diferentes do concreto convencional.

Com todos os resultados obtidos nesta pesquisa foi possível concluir que:

O traço com 10% de substituição do agregado graúdo natural por vidro triturado obteve uma resistência a tração diametral e compressão axial similar ao traço referência, tendo como vantagem um menor peso específico, redução de absorção de água e dos índices de vazios. Entretanto, os traços com percentual de substituição de 15 e 20%, tiveram uma redução nas resistências a tração e compressão. Segundo Polley (1998), a redução da resistência a compressão do concreto está ligada diretamente com o aumento do vidro adicionado, pois está associada a diferença na força de ligação entre pasta e agregado, em razão da superfície lisa.

De acordo com as informações obtidas nesta pesquisa e segundo Pereira (2016), a utilização do concreto com estas substituições se daria também na produção de pavers e calçadas, pois seria fácil dosar um concreto com que as resistências necessárias sejam atendidas, além de estar usando um material reciclado, evitando a degradação do meio ambiente, por meio da exploração de materiais naturais, influenciando também na obtenção de certificados ambientais, como por exemplo o selo verde, que possui grande procura, pois valoriza o imóvel construído.

Embora não tenha atingido o  $f_{ck}$  o concreto pode ser aceito visto que atende o cck de projeto, portanto, concluindo assim que substituição do agregado graúdo por vidro triturado foi satisfatória, pois no teor de 10 % manteve a resistência a tração e compressão encontrada no traço referência na idade de 28 dias, e na de 14 dias superou o TR. Mesmo os traços com teores de 15% e 20% terem perdido parte da resistência, ainda se encontram com resistência superior a 20 Mpa, sendo assim indicado para uso arquitetônico.

## 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Apesar das vantagens técnicas e econômicas apresentadas acima, o presente trabalho é um dos poucos trabalhos onde o agregado graúdo é o material reciclado. Tendo em vista que a pesquisa de Pereira (2016), foi uma das únicas encontradas, sugere-se os seguintes estudos que podem ser realizados a partir da resultados aqui expostos:

- Análise da reação álcali-silica no concreto com substituição agregado graúdo por vidro triturado.
- Analise da influencias de outras granulometrias na substituição parcial do agregado graúdo por vidro triturado.

## 7. REFERÊNCIAS

AÏTCIN, P. C.; NEVILLE, A. **High-performance concrete demystified**. New York: Concrete International, 1993.

AKERMAN, Mauro. **Natureza, Estrutura e Propriedades do Vidro**. Centro técnico de elaboração do vidro, nov 2000.

AMBIENTE BRASIL. **Reciclagem de Vidro**. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=residuos/index.php3&conteudo=./residuos/reciclagem/vidro.html>>. Acesso em 27 mar. 2020.

ANDRIOLO, F.R. Documentação sobre o panorama brasileiro.: **SIMPOSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO- 1997**. Relatório Final - Panorama Brasileiro e Relato Técnico do Simposio - Parte I. Goiânia, 1999. 9-59.

ÂNGULO, C, A. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**, 2000.172p. Dissertação (Mestrado em engenharia de construção civil e urbana), Escola politécnica da universidade de São Paulo, 2000.

ARMELIN, H.; ISAIA, G. C. **Influência dos aditivos na hidratação das pastas de cimento Portland**. In: Seminário apresentado ao curso de pós-graduação em engenharia da construção civil. São Paulo: [s.n.], 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **A mitigação das emissões de CO2 na fabricação do cimento: uso de adições**. São Paulo, 2019. Disponível em: <[http://www.abcp.org.br/basico\\_sobre\\_cimento/adicoes.shtml](http://www.abcp.org.br/basico_sobre_cimento/adicoes.shtml)>. Acesso em: 29 mar. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP): **Guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo, Boletim Técnico BT-106, 2002, 27 p.

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 7211: **Agregados para concreto - especificações**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2009. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR-12653: **Materiais pozolânicos - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2014. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10004: **Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro-RJ, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13956-1: **Sílica ativa para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta**. –Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2012. 06 p.

AZEREDO, Hélio Alves. **O edifício e seu acabamento**. São Paulo, Blucher, 2004.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5a. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, v. I, 2005.

BAUER, Falcão Luiz Alfredo. **Materiais de Construção 2: Novos Materiais para Construção Civil**. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos. S.A, 1994.

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.

BERGAMO, Ana Paula Rodrigues Horita; MOTTER, Camila Belim. **A ORIGEM DO VIDRO E SEU USO NA ARQUITETURA**. 12º Encontro Científico Cultural Interinstitucional, Cascavel- Pr, p.1-7, 15 out. 2014.

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

CEBRACE. **Cebrace vidros.** Disponível em: < HYPERLINK "https://www.cebrace.com.br/" https://www.cebrace.com.br/> Acesso em: 28 mar. 2020.

CEMPRE. **Compromisso Empresarial Para Reciclagem.** Disponível em:< http://www.cempre.org.br/> Acesso em: 20 mar. 2020.

DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em Estruturas de Concreto Armado: Análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul.** 1988. 220 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

YAZIGI, Walid. **A técnica de edificar.** 10ª Ed. São Paulo, PINI, 2009.

GEYER, A. **Utilização do concreto auto adensável em estruturas de edifícios com custos.**

GOMES, P.C.C.; BARROS, A.R. **Métodos de dosagem de concreto auto adensável.** 1 ed. São Paulo: PINI, 2009, pg. 165.

GIOVANNI, Mariacher. **O vidro: os estilos na arte.** São Paulo, Martins Fontes, 1992.

ISAIA, Geraldo C. **Concreto: Ensino pesquisa e realizações.** São Paulo: IBRACON, 2005.

1v. 792 p. NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto.** 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 448 p.

KLEIN, N.S. **Influência da substituição de areia natural por areia de britagem no comportamento do concreto auto adensavel.** 2008. 180p. Dissertação ( Pós Graduação Engenharia de Edificações e saneamento), Universidade Estadual de Londrina, 2008.

KLOSS, C.L. **Materiais para Construção Civil.** Curitiba: CEFET-PR, 1991.

LINO, Hélio F.C. **A indústria de reciclagem e a questão ambiental**. 2011. 291 f. Tese (Doutorado em História Econômica) - Programa de Pós Graduação em História do Departamento da Faculdade Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: . Acesso em: 25 mar. 2020, 23:56.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto. Microestrutura, propriedades e materiais**. 2ª ed. São Paulo: IBRACON, 2014. 751 p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto. Microestrutura, propriedades e materiais**. 3ª Edição. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

NEVILLE A. M.; BROOKS J. J. **Tecnologia do Concreto**. 2. Ed. São Paulo: bookman, 2010.

NITA, C.; JOHN, V. M. **Materiais Pozolânicos: o metacaulim e a sílica ativa**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, EPUSP, São Paulo, n. 451, p. 13, 2007.

OLIVEIRA, M. P.; BARBOSA, N. P. **Potencialidades de um caulim calcinado como material de substituição parcial do cimento Portland em argamassas**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 10, n. 2. 2006. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662006000200034&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662006000200034&script=sci_arttext)>. Acesso em: 28 mar. 2020.

PEREIRA, Artur Henrique. **AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE VIDRO COMUM COMO POZOLANA E AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE SUCATA DE VIDRO TEMPERADO COMO AGREGADO GRAÚDO EM CONCRETOS**. 2016. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

RYU, J. S. **An experimental study on the effect of recycled aggregate on concrete properties**. Magazine of Concrete Research, Vol. 54, N. 1, p. 7-12, 2002a.

SALATA, Robinson. **Programa de incentivo à destinação correta do vidro**. 2008. 334 f.

Tese (Doutorado - Área de Concentração: Design e Arquitetura) -Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: . Acesso em: 25 mar. 2020, 22:34.

SANTOS, A. R. Produção. In: \_\_\_\_. **Vidro**. 1998. Trabalho de Iniciação Científica – Departamento de Construção Civil, Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/vidro.htm>>. Acesso em: 27 mar. 2020.

SPGO. **Slump Test do Concreto, Como Fazer na Obra**. Disponível em: "<https://gestao-obra.engwhere.com.br/internet/slump-test-do-concreto-como-fazer-obra/>". Acesso em 10 maio. 2020.

TESTMAT ENGENHARIA INDUSTRIAL LTDA. Disponível em: "<https://www.minasjr.com.br/caracterizacao-de-materiais/>"

VALDUGA, Laila. **Reação álcali-agregado mapeamento de agregados reativos do Estado de São Paulo**. 2002. 213 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.