



# **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

**DIOGO GONZAGA MOREIRA**

## **ESTUDO DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS VÍTREOS COMO FINO EM BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO**

Palmas – TO

2019

DIOGO GONZAGA MOREIRA  
ESTUDO DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS VÍTREOS COMO FINO EM BLOCOS  
INTERTRAVADOS DE CONCRETO

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. MSc Fernando Moreno Suarte Júnior

Palmas – TO

2019

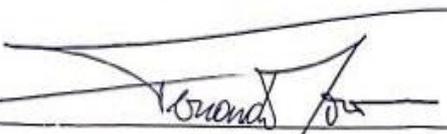
DIOGO GONZAGA MOREIRA  
ESTUDO DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS VÍTREOS COMO FINO EM BLOCOS  
INTERTRAVADOS DE CONCRETO

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

Orientador: Prof. Msc. Fernando Moreno Suarte Júnior

Aprovado em: 23 / 05 / 2019

BANCA EXAMINADORA

  
Msc. Fernando Moreno Suarte Júnior  
Orientador  
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

  
Dr. Angela Ruriko Sakamoto  
Centro Universitário Luterano de Palmas - CEULP

  
Msc. Daniel Iglesias  
Centro Universitário Luterano de Palmas - CEULP

Palmas – TO

2019

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por me capacitar e me renovar a cada dia para realizar tal feito, posteriormente dedico aos meus pais, eternos guerreiros que estiveram ao meu lado me dando apoio e dicas sempre que possível.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pela saúde, providência e presença constante. Aos meus pais pelo zelo, amor e carinho sempre postos a mim. Desde o primeiro dia da pré-escola até o término do ensino superior cuidando e se interessando sobre meus estudos.

À minha querida namorada Rafaela, sempre compreensiva e apoiadora.

Meus agradecimentos ao Prof. Fernando Moreno, pelo apoio e contribuição para realização deste trabalho.

Aos professores de Engenharia Civil do CEULP/ULBRA por contribuírem na minha formação.

*“Minha energia é o desafio, minha motivação é o impossível,  
e é por isso que eu preciso ser, à força e a esmo, inabalável.”*

Augusto Branco

## RESUMO

GONZAGA, Diogo. **Estudo da adição de resíduos vítreos como fino em blocos intertravados de concreto**. 2019, 94f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA, 2019.

O presente trabalho discute sobre a adição de vidro em seu estado fino no concreto, com intuito de avaliar suas características após o incremento. A utilização de pó de vidro como aditivo fino ao concreto é uma alternativa proposta para minimizar as limitações do material. Para tanto, foram feitos testes, através da confecção de corpos de prova, estes sendo dosado conforme dita o método ABCP/ACI com intuito de alcançar-se um fck de 35 MPa. Os blocos foram testados quanto a resistência à compressão, tal como foram feitas análises visuais, dimensionais e testes de absorção de água nos *pavers*. O primeiro tratamento foi o do traço referência (TR), ou seja, aquele que não continha adição de pó de vidro. O restante dos tratamentos (outros três), foram fabricados com adição de 5, 10 e 20% de fino em relação a massa do cimento. Os corpos de prova foram moldados tendo em sua composição cimento, areia média, brita 01, água e aditivo superplastificante, tendo também nos segundos, terceiros e quartos testes a adição de pó de vidro. Os testes realizados nos blocos foram nos períodos de 3, 7, 14 e 28 dias após a sua fabricação. Absorção de água, inspeção visual e análise dimensional foram feitos somente aos 28 dias, já os testes de compressão axial foram feitos aos 3, 7, 14 e 28 dias, todos eles embasados na norma que regulamenta as peças de pavimento intertravado a ABNT NBR 9781:2013. Constatou-se que as análises visuais e dimensionais foram de acordo com o rege a norma citada anteriormente. Quanto a absorção dos pavimentos, conclui-se que se teve resultados satisfatórios, todos atendendo a norma de absorção máxima que é de 7% para pavimentos não drenantes. Já os testes de compressão axial no bloco intertravado foram variados. No geral, não sendo unanimidade, os blocos ganharam resistência com a adição de pó de vidro em sua composição. Têm-se também que os blocos com 20% de adição de vidro aos 28 dias de cura foram aprovados nos testes de acordo com o que diz a norma ABNT NBR 9781:2013, onde para veículos leves a resistência a compressão axial dos blocos intertravados de concreto devem serem iguais ou superiores a 35 MPa aos 28 dias de cura ou mais.

**Palavras-chave:** Pó de vidro, resistência à compressão, absorção de água, blocos intertravados, concreto.

## ABSTRACT

GONZAGA, Diogo. **Study of the addition of vitreous residues as thin in interlocked concrete blocks.** 2019, 94f. Course Completion Work (Civil Engineering) - Lutheran University Center of Palmas - CEULP / ULBRA, 2019.

The present work discusses the addition of glass in its fine state in the concrete, in order to evaluate its characteristics after the increase. The use of glass powder as a fine additive to concrete is a proposed alternative to minimize material limitations. For this purpose, tests were done, through the preparation of test pieces, being dosed according to the ABCP / ACI method in order to achieve a fck of 35 MPa. The blocks were tested for compressive strength, as were visual, dimensional and water absorption tests on the pavers. The first treatment was that of the reference trace (TR), that is, that which did not contain addition of glass powder. The remainder of the treatments (three others) were made with 5, 10 and 20% fine addition to the mass of the cement. The specimens were molded with cement, medium sand, gravel 01, water and superplasticizer additive, and also in the second, third and fourth tests the addition of glass powder. The tests performed on the blocks were in the periods of 3, 7, 14 and 28 days after their manufacture. Water absorption, visual inspection and dimensional analysis were done only at 28 days, and axial compression tests were done at 3, 7, 14 and 28 days, all of them based on the standard that regulates the interlocking pavement parts ABNT NBR 9781 2013. It was found that the visual and dimensional analyzes were in accordance with the rules mentioned above. Regarding the absorption of the floors, it was concluded that satisfactory results were obtained, all meeting the maximum absorption standard of 7% for non-draining floors. The tests of axial compression in the interlocking block were varied. In general, not being unanimous, the blocks gained resistance with the addition of powdered glass in their composition. The blocks with 20% glass addition at 28 days of cure were also tested in accordance with ABNT NBR 9781: 2013, where for light vehicles the axial compression strength of the interlocking blocks of concrete must be equal to or greater than 35 MPa at 28 days of cure or more.

**Key-words:** Glass powder, compressive strength, water absorption, interlocking blocks, concrete.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Reciclagem do vidro
- Figura 2 – Garrafas de vidro descartadas
- Figura 3 – Resistência a compressão
- Figura 4 – Média de absorção de água
- Figura 5 – Processo de obtenção da areia
- Figura 6 – Movimento de deslocamento das peças
- Figura 7 – Formato dos blocos intertravados
- Figura 8 – Moldagem de blocos intertravados em uma vibroprensa semi-automática
- Figura 9 – Estrutura típica de um pavimento intertravado
- Figura 10 – Distribuição de carga normal vertical nas camadas de um pavimento intertravado
- Figura 11 – Fluxograma das atividades a serem executadas
- Figura 12 - Fluxograma do vidro
- Figura 13 – Ábaco para obtenção do fator água/cimento
- Figura 14 – Moinho de bola
- Figura 15 – Agregado miúdo sendo caracterizado
- Figura 16 – Curva granulométrica agregado miúdo
- Figura 17 – Curva granulométrica agregado graúdo
- Figura 18 – Teste massa unitária agregado graúdo
- Figura 19 – Vidro descartado
- Figura 20 – Moagem do pó de vidro
- Figura 21 – Pó de vidro utilizado
- Figura 22 – Picnômetro com pó de vidro
- Figura 23 – Concreto sem ajuste com 20% de adição
- Figura 24 – Fôrmas para os *pavers*
- Figura 25 – Cura traço referência
- Figura 26 – Tolerância dimensional *pavers*
- Figura 27 – Análise dimensional
- Figura 28 – Inspeção visual nos corpos de prova
- Figura 29 – Gráfico absorção média geral
- Figura 30 – Prensa EMIC
- Figura 31 – Gráfico geral de compressão
- Figura 32 – Gráfico comparativo traço referência

Figura 33 – Gráfico traço referência

Figura 34 – Gráfico comparativo TR +5%

Figura 35 – Gráfico traço referência TR +5%

Figura 36 – Gráfico comparativo TR +10%

Figura 37 – Gráfico traço referência TR +10%

Figura 38 – Gráfico comparativo TR +20%

Figura 39 – Gráfico traço referência TR +20%

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
ADN	Ácido Desoxirribonucleico
ARN	Ácido Ribonucleico
SiO <sub>2</sub>	Dióxido de Sílico
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Carbonato de Sódio
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UniPampa	Universidade Federal do Pampa
Fck	Feature Compression Know
Fcj	Resistencia a compressão do concreto
t	Toneladas
R\$	Rais
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
Mpa	Mega Pascoal
mm	Milímetro
CR	Concreto Referência
TR	Traço Referencia
Va	Volume absoluto de areia
C	Consumo de cimento
Cb	Consumo de brita
Cw	Consumo de água
$\rho_c$	Massa específica do cimento
$\rho_b$	Massa específica da brita
Sd	Desvio Padrão

## **LISTA DE QUADRO**

Quadro 1 – Formas de destinação de resíduos sólidos

Quadro 2 – Recomendações segundo a ABNT NBR 9781 para *pavers*

Quadro 3 – Determinação do desvio padrão

Quadro 4 – Cronograma de serviços

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Composição química de diversos tipos de vidros (% , massa)
- Tabela 2 – Limites granulométricos do agregado graúdo
- Tabela 3 – Alguns problemas que podem ser encontrados no concreto fresco
- Tabela 4 – Definição do abatimento
- Tabela 5 – Definição do consumo aproximado de água
- Tabela 6 – Volume de agregado graúdo por m<sup>3</sup> de concreto
- Tabela 7 – Quadro geral de caracterização
- Tabela 8 - Massa específica agregado miúdo
- Tabela 9 - Granulometria agregado miúdo
- Tabela 10 – Massa unitária agregado miúdo
- Tabela 11 – Tabela geral agregado miúdo
- Tabela 12 – Massa específica agregado graúdo
- Tabela 13 – Composição granulométrica brita
- Tabela 14 – Massa unitária agregado graúdo
- Tabela 15 – Tabela geral agregado graúdo
- Tabela 16 - Início e fim de pega cimento
- Tabela 17 - Granulometria Vidro
- Tabela 18 - Massa específica Vidro
- Tabela 19 - Dosagem do concreto
- Tabela 20 - Abatimentos utilizados
- Tabela 21- Absorções gerais
- Tabela 22 - Absorção traço referência
- Tabela 23 - Absorção traço referencia +5%
- Tabela 24 - Absorção traço referencia +10%
- Tabela 25 - Absorção traço referencia +20%
- Tabela 26 - Quadro geral resistência à compressão
- Tabela 27 - Compressão axial traço referência
- Tabela 28 - Compressão axial TR +5%
- Tabela 29 - Compressão axial TR+10%
- Tabela 30 - Compressão axial TR +20%

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.3 OBJETIVOS.....	18
1.3.1 Objetivo Geral.....	18
1.3.2 Objetivos Específicos.....	19
1.4 JUSTIFICATIVA.....	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS.....	21
2.1.1 Definição e caracterização de resíduos sólidos.....	21
2.1.2 Impactos ambientais dos resíduos.....	22
2.1.3 Destinação final dos resíduos sólidos.....	23
2.2 VIDRO.....	24
2.2.1 Definição.....	24
2.2.2 Composição.....	25
2.2.3 Reciclagem.....	25
2.2.4 Pó de vidro.....	27
2.2.5 Aplicação do pó de vidro.....	28
2.3 CONCRETO.....	30
2.3.1 Cimento.....	30
2.3.2 Agregado Graúdo.....	31
2.3.3 Agregado Miúdo.....	32
2.3.4 Aditivos.....	34
2.4 BLOCOS INTERTRAVADOS.....	36
2.4.1 O sistema de intertravamento.....	36
2.4.2 Produção de um bloco intertravado.....	38
2.4.3 Características mecânicas do pavimento intertravado.....	39
3 METODOLOGIA.....	42

3.1 APRESENTAÇÃO.....	42
3.2 OBJETO DE ESTUDO .....	42
3.3 ESTRUTURA DA PESQUISA.....	43
3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS .....	44
3.4.1 Cimento .....	44
3.4.2 Agregado Miúdo.....	44
3.4.3 Agregado Graúdo .....	45
3.4.4 Aditivos .....	45
3.4.5 Pó de vidro.....	45
3.5 DOSAGEM DO CONCRETO .....	46
3.5.1 Método ABCP/ACI .....	47
3.6 PRODUÇÃO DOS BLOCOS INTERTRAVADOS.....	50
3.7 TRATAMENTO DO VIDRO .....	51
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS .....	53
4.1.1 Agregado Miúdo.....	53
4.1.2 Agregado Graúdo .....	56
4.1.3 Cimento .....	58
4.1.4 Vidro.....	58
4.2 DOSAGEM DO CONCRETO .....	61
4.2.1 Propriedades do concreto fresco.....	63
4.3 CONFECÇÃO DOS <i>PAVERS</i> .....	63
4.4 CRONOGRAMA DE AÇÕES .....	64
4.5 ESTUDO DIMENSIONAL.....	66
4.6 INSPEÇÃO VISUAL .....	67
4.7 ANÁLISE DA DETERMINAÇÃO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA .....	68
4.7.1 Absorção geral.....	69

4.7.2 Absorção traço referência.....	70
4.7.3 Absorção traço referência +5% .....	70
4.7.3 Absorção traço referência +10% .....	71
4.7.4 Absorção traço referência +20% .....	71
4.8 ANÁLISE DA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO .....	72
4.8.1 Ensaio de Compressão axial do traço referência .....	74
4.8.2 Ensaio de Compressão axial do traço referência +5% .....	76
4.8.3 Ensaio de Compressão axial do traço referência +10% .....	78
4.8.4 Ensaio de Compressão axial do traço referência +20% .....	80
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	83
APÊNDICES .....	84
APÊNDICE A .....	85
REFERÊNCIAS .....	87

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente o concreto de cimento Portland é o objeto de construção ou material de construção mais importante e mais usado nas obras. Esse pode ser considerado uma das invenções mais interessantes e utilizadas da história da evolução e do desenvolvimento da humanidade, mesmo tendo sido descoberto há tão pouco tempo. Sua utilização e importância tem ganhado destaque no ramo do desenvolvimento, com isso, estudiosos têm pesquisado e apresentado novas pesquisas e estudos sobre características do cimento, além de buscas por melhorias e novas tecnologias de aproveitamento eficaz do concreto (HELENE E ANDRADE, 2010).

Como diz CEMPRE (2013), o Brasil produz em média 980 mil toneladas por ano de embalagens de vidro. No ano de 2011, menos da metade das embalagens de vidro foram recicladas (47%). Uma das qualidades do vidro é que o mesmo pode ser reutilizado diversas vezes, todavia, “volta e meia” é utilizado na composição de asfalto, pavimentações, sistemas de drenagens e concreto para construção civil, sendo assim um método que ajuda a reduzir certos insumos dos materiais utilizados em tais obras e contribui com o meio ambiente.

A carência de recursos naturais, juntamente com a aflição em questão da preservação do meio ambiente faz com que o âmbito de desenvolvimento busque métodos, materiais e técnicas que contribuam para que o desenvolvimento ande “de mãos dadas” com a sustentabilidade. A reciclagem de resíduos sólidos tem funções primordiais nesse setor, tendo em vista que a construção civil além de utilizar bastante recursos advindos da natureza, produz diversos tipos diferentes de resíduos sólidos (ROSÁRIO; TORRESCANA, 2011 *apud* LODI *et al.* 2014)

A exploração de materiais da natureza em prol da utilização dos mesmos na construção civil tem sido gigantesca, fazendo com que cada vez mais haja degradação ambiental na retirada desses materiais. Tendo em vista essa problemática, a busca de agregados para compor estruturas de construção tem sido intensificada nos últimos anos. E uma alternativa para isso é a reciclagem de materiais vítreos, usando o mesmo como adição ou como substituição de certo material (MARINHO *et al.* 2012).

De acordo com estudo realizado por Vaz (2015), um bloco de concreto intertravado quando adicionado fibra de vidro em sua composição tem sua resistência à tração na flexão e à compressão aumentada. Como diz a autora, é vantajoso adicionar fibra de vidro em *pavers*, tendo em vista que terá aumento nas resistências finais, e os mesmos poderão ser usados em obras de pavimentação e apresentar ganhos e economias expressivas, tendo em vista que a vantagem imposta quando há a adição do mesmo é refletida no custo final da obra e preservação

do meio ambiente. Foram testados também os blocos quanto à resistência à abrasão e absorção de água e ambos tiveram respostas positivas.

Este estudo tem como objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos blocos intertravados de concreto feitos à base de cimento Portland quando se adiciona resíduos vítreos em sua composição. Assim por meio desse estudo, será verificado se quando adicionado certas porcentagens de pó de vidro, o concreto atingirá a resistência a compressão de 35 Mpa aos 28 dias de cura.

A reciclagem aliada ao desenvolvimento urbano são temas de grande valia neste estudo, pois são assuntos rotineiros e importantíssimos no quesito crescimento na atualidade. Nesta pesquisa, o foco da reciclagem é o vidro, pois é um material bastante utilizado no dia-a-dia dos cidadãos brasileiros, é um material que se descartam de maneira errônea com muita frequência, porém, também é objeto de fácil reciclagem. Na construção civil, mais especificamente no ramo da pavimentação, os blocos intertravados de concreto estão sendo bastantes utilizados, pois o mesmo é um material de fácil manutenção e instalação, absorve facilmente a água proveniente das chuvas, e ainda pode-se fazer diferentes designers com os *pavers*, deixando-o com um aspecto visual muito bom.

O presente trabalho será realizado em Palmas – TO, todos materiais que serão utilizados na pesquisa serão adquiridos na mesma cidade na zona sul da cidade. Quanto ao vidro utilizado foi adquirido em dois restaurantes da zona sul da capital. As experiências laboratoriais, testes e ensaios serão realizados no laboratório de pesquisa do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

A utilização de resíduos sólidos no concreto traz diversos benefícios, seja ele ao meio ambiente, através de reciclagem e reaproveitamento de materiais que seriam destinados ao lixo, seja através do benefício trazido ao concreto como cita alguns autores. E será essa temática que esta pesquisa demonstrará, todos os dois aspectos serão demonstrados através de ensaios laboratoriais e de pesquisas já feitas anteriormente.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

Avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos blocos intertravados de concreto com adição de resíduos vítreos.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudar as propriedades dos agregados e definir traço referência para atingir uma resistência de compressão de 35Mpa aos 28 dias de cura;
- Desenvolver blocos intertravados com adição de pó de vidro com diferentes teores;
- Inspeccionar visualmente os lotes dos blocos produzidos;
- Realizar estudo dimensional dos blocos produzidos;
- Avaliar as propriedades de resistência a compressão e absorção dos blocos produzidos;
- Comparar os resultados obtidos dos blocos convencionais com os blocos com aditivos vítreos.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

Segundo Fioriti (2007) *apud* Lodi *et al.* (2014), o uso de acessórios de concreto teve um crescente nos últimos anos no planeta, principalmente no Brasil. Nesta pesquisa o foco principal no quesito reciclagem é o vidro, devido ser um material bastante utilizado rotineiramente e por ter um período de decomposição bastante elevado. Um engenheiro civil em seu exercício de cargo, normalmente visa a elaboração e a execução de um projeto economicamente viável tendo como ponto forte a segurança da edificação, resumindo, a obra tem que ter um custo aceitável e ao mesmo tempo se adequar as normas de segurança pertinentes. Todavia, em alguns casos a preocupação com meio ambiente é deixada de lado, falta-se a consciência ecológica ou muitas vezes as normas e leis vigentes não são tão rígidas sobre esse assunto. A presente pesquisa pretende apresentar um bloco de concreto com adição de resíduo de vidro, este sendo um material que é bastante descartado na natureza. De acordo com a GeTech (2018) o vidro é um material que não é biodegradável e pode permanecer no meio ambiente por até dez mil anos, por isso, o descarte deste em locais inapropriados e a não reciclagem do mesmo pode ser bastante prejudicial a qualidade de vida dos cidadãos e ao meio ambiente.

O uso de materiais recicláveis na engenharia civil vem ganhando força, pois em específicas vezes pode-se aumentar a resistência de materiais e até realizar economias na substituição de outros materiais, sem contar no benefício ao meio ambiente. Como demonstra a tese de mestrado de Vaz (2015), o uso de pó de vidro em *pavers* pode sim ser viável em relação à economia de cimento na fabricação do intertravado e quanto á sua resistência, tendo

em vista que a o bloco tem aumento de resistência de acordo com a porcentagem de pó de vidro que é adicionado no componente.

A produção científica ajuda o autor a se aprofundar e ampliar seus conhecimentos sobre áreas específicas. Como a engenharia civil é um curso bastante amplo dividido em cinco grandes áreas, a necessidade de se buscar especialização e aprofundamento sobre determinado tema é essencial. Blocos intertravados estão inseridos na área de pavimentação dentro da engenharia civil, sente esse uma área promissora para o futuro, porém nos últimos anos houve ligeira queda devido à crise enfrentada no país. Neste contexto, a produção e execução de estudos e conteúdos sobre pavimentação pode-se iniciar um processo de transformação que se origina na faculdade e estende seus reflexos para a realidade social em que estamos inseridos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

#### 2.1.1 Definição e caracterização de resíduos sólidos

Segundo Valle *et.al.* (2013) a produção desenfreada de resíduos sólidos se dá por conta do crescimento populacional assim como a crescente mudança no padrão de consumo da população. O mesmo afirma que a falta de interesse e sensibilidade da população em questão dos cuidados com o meio ambiente também influenciam para o crescimento constante da produção de RSU.

De acordo com ABNT NBR 10.004:2004:

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

Conforme a norma ABNT NBR 10.004:2004, para se classificar os resíduos sólidos é necessário conhecer primeiramente sua origem, conhecer o processo em que ele foi produzido, tal como a sua composição e características. Para poder classificar os resíduos sólidos é primordial conhecer sua produção e criação, pois a separação é de acordo com a periculosidade do material e para isso é necessário conhecer seus componentes.

Ainda de acordo com a mesma norma anterior, os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) gerados podem ser classificados e subdivididos da seguinte forma:

- a) Resíduos classe I – perigosos: São aqueles resíduos que em função das suas composições físicas, químicas ou infecto-contagiosas podem apresentar risco à saúde pública na qual pode provar mortes ou graves doenças ou aqueles que podem provocar risco ao meio ambiente, causando algum tipo de devastação ou trazendo malefício à natureza quando gerenciado de forma errônea. Resíduos classe I também pode ser classificado de acordo com sua patogenicidade (de acordo com a norma ABNT NBR 10007:2004 um resíduo é considerado como patogênico se uma amostra representativa contiver microorganismos patógenos, proteínas virais ou ADN e ARN), inflamabilidade (é caracterizado como inflamável quando um resíduo de acordo com a ABNT NBR 10007:2004, ser – entre várias – líquida e ter ponto de fulgor de 60°, ser um oxidante definido como substância que pode liberar oxigênio, ser um gás comprimido inflamável, entre outras.

b) Resíduos Classe II – Não perigosos: São resíduos que não há risco à saúde da população ou do meio ambiente, resíduos que não queimam com certa facilidade ou produz algum tipo de substância maléfica a algo ou alguém. São exemplos: resíduos de restaurantes (resto de alimentos), borracha, bagaço da cana, resíduo de madeira, resíduo de materiais têxtil, plásticos polimerizados e entre outros. Essa classe é subdividida em duas outras classes:

- Resíduos Classe II A – Não inertes: São aqueles resíduos que não se enquadram na classe I nem na classe II B, estes podem ter propriedades específicas, tais como: combustibilidade ou solubilidade em água e biodegradabilidade;
- Resíduos Classe II B – Inertes: Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007:2004, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006:2004, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

### **2.1.2 Impactos ambientais dos resíduos**

Independente da classe que habita o morador urbano deseja sempre viver em um ambiente em que lhe é agradável e saudável e que apresente as melhores condições de vida ou que possa favorecer uma boa qualidade de vida. O ser humano anseia por ar puro sem poluição, água potável em abundância. Todavia, observar cidades e ambientes urbanos nos fazer perceber que o uso, as crenças e hábitos do morador citadino, mesmo que indiretamente, promove modificações no meio ambiente e causa impactos ambientais significativos no ecossistema local. Essa situação entende-se como crise e sugere uma imediata reforma ecológica. (MUCELIN; BELLINI, 2008).

Segundo Mucelin *et.al* (2008), a cultura de um povo caracteriza a forma de uso do ambiente, os costumes e hábitos, formas de consumir todos os produtos industrializados e a água. E esses costumes influenciam e afetam diretamente na produção de lixo nos grandes centros urbanos. Porém, o grande problema não é a quantidade de lixo produzida, mas sim a destinação correta desses resíduos. A problemática ambiental que o lixo gera é de árdua solução, sem contar que a maioria das cidades brasileiras apresenta um serviço de coleta que não prevê a segregação dos resíduos na fonte. Nesses grandes centros é normal observarmos a população se dispondo do lixo de forma equivocada. É comum encontrarmos materiais inúteis amontoados

indiscriminada e desordenadamente, e na maioria das vezes é em locais indevidos, como terrenos baldios, margens de estradas e/ou até rodovias e encostas de rios e lagos.

### 2.1.3 Destinação final dos resíduos sólidos

Como explica França e Ruaro (2009), o destino tomado pelo lixo após sua coleta tem primordial função na degradação do meio ambiente ou a sua conservação, pois o local que esses resíduos são levados demasiadas vezes são para lugares inadequados (encostas de rios, margens de rodovias, terrenos baldios, lixões irregulares). O Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil aponta que apenas 39% dos municípios brasileiros destinam e tratam adequadamente os seus resíduos sólidos produzidos, situação alarmante tomando por base países europeus. Os catadores de lixo têm vital importância na segregação do lixo, seja ela nas ruas, vazadouros ou nos próprios aterros, este é o ponto mais visível na relação lixo/sociedade.

Mesmo com programas de soluções de disposição final do lixo, toda essa problemática ambiental que é ocasionado pelas escórias sólidas é de complicada resposta, visto que 82% das cidades do Brasil não contém um programa de coleta que antevê a apartação dos resíduos na fonte (RIBEIRO, 2012 *apud* LODI *et al.* 2014).

De acordo com França e Ruaro (2009) no Brasil, as formas e destinos mais comuns para o lixo são:

- Lixões
- Reciclagem
- Aterro Sanitário
- Incineração

O Quadro 1 a seguir apresenta detalhadamente três dos principais destinos para o lixo.

Quadro 1 – Formas de destinação dos resíduos sólidos.

<b>Destinação dos resíduos sólidos</b>	<b>Descrição</b>
Lixões	Trata-se do método mais utilizado, onde não existe separação dos resíduos sólidos, o acondicionamento é precário, tendo em vista que é despejado a céu aberto, contaminando o ambiente, e normalmente conta com a presença de pessoas e animais no local.
Aterro controlado	É a área na qual é implementada pelo menos uma medida mínima de controle ambiental, como o isolamento, acesso restrito, cobertura dos resíduos com terra, controle de entrada de resíduos, dentre outras.
Aterro sanitário	É a disposição controlada de resíduos sólidos no solo e sua posterior cobertura diária. Uma vez depositados, os resíduos sólidos se degradam naturalmente por via biológica até a mineração da matéria biodegradável, em condição fundamental anaeróbia.

Fonte: França e Ruaro (2009)

## 2.2 VIDRO

### 2.2.1 Definição

O aprendizado sobre o vidro evoluiu mais nos últimos 30 anos que durante toda a história precedente da tecnologia. Nos dias atuais o vidro tem suma importância no dia-a-dia da população: o mesmo é usado em casa, nas indústrias, nas obras de arte, e há também uma utilidade bem-intencionada para ele, que é no concreto (AKERMAN, 2000).

Figura 1 – Garrafas de vidro descartadas



Fonte: BrothersArt (2011)

De acordo com Akerman (2000) alguns tipos de embalagens nos trazem segurança, algumas podem ser recicladas, outras são reutilizadas. Todo tipo de embalagem tem suas características específicas, em certas embalagens podemos encontrar isoladamente a pureza, versatilidade e impermeabilidade como ponto forte característico. Entretanto, de acordo com estudos aprofundados de especialistas e designers, o vidro está sendo o único material que aglomera todas as qualidades citadas á cima. A tecnologia usada no vidro concebeu vantagens inovadoras quando comparado com outros tipos de materiais. O peso do mesmo foi reduzido e ao mesmo tempo conseguiu-se o tornar mais resistente. Quando se fala de embalagem, o vidro faz parte de uma rara galeria onde compõe materiais que se adequam as características das embalagens modernas: protege o meio ambiente, tomando por base que o vidro é totalmente reciclável, e também protege o consumidor, pois esse não contamina o produto embalado, na qual não necessita de aditivos para proteger a si mesma.

Como explica Valt (2004), o vidro é uma substância amorfa, ou seja, que não tem forma pré-definida, é também inorgânica (substância que não tem o carbono como principal elemento) e é fisicamente homogênea. Para se obter o vidro, uma das maneiras ideais é através do resfriamento de massa em fusão, que com o passar do tempo ela fica rígida devido ao crescimento contínuo da viscosidade, e isso ocorre até atingir a condição de rigidez, sem que sofra cristalização. Vale ressaltar que o vidro não é um componente que é destruído por agente biológico, ou seja, não é biodegradável. O ponto de fusão deste material é a 1200°C e transforma-se em cinzas em temperaturas superiores a essa.

### 2.2.2 Composição

A sílica,  $\text{SiO}_2$ , é o componente em maior porcentagem que compõe o vidro, é aproximadamente 72% da massa total vítrea, já na produção do vidro *float*, o mesmo apresenta uma pureza bastante elevada, é 99.7% de sílica em sua composição. E a fonte do  $\text{SiO}_2$  é a areia, e ela é beneficiada com finalidade de se adequar á condição de pureza citada á cima. (TOQUETTO, 2016)

A barrilha é o principal fundente (aquele que facilita o processo de fusão), na qual seu nome químico é carbonato de sódio ou simplesmente  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , e tem como função rebaixar a temperatura de fusão nas misturas de vidro para aproximadamente 1600°C. Na produção de vidro, esse material produz o  $\text{Na}_2\text{O}$  e que contém 14% da composição total. Além do carbonato de sódio há também o carbonato de cálcio  $\text{CaCO}_3$ , mais conhecido como calcário,  $\text{CaO}$ , na qual trabalha como fundente e representa 9,0% da composição total vítrea (TOQUETTO, 2016).

Tabela 1 – Composição química de diversos tipos de vidro (% , massa)

TIPO	$\text{SiO}_2$	$\text{B}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{As}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{SO}_3$
Vidro de Janela	69,4	-	3,5	1,6	-	8,2	-	17,3	-	-
Vidro laminado	72,8	-	0,8	0,8	-	12,7	0,2	12,7	-	-
Chapa polida	72,7	-	0,7	0,1	-	12,9	-	13,2	-	0,4
Cristal	74,2	0,4	-	-	0,2	4,3	3,2	17,7	-	-
Vidro de Óculos	69,3	0,3	-	-	-	12,4	-	6,2	11,8	-
Vidro de Garrafa	70,5	-	1,5	-	-	13	1	14	-	-

Fonte: SHREVE,1997

### 2.2.3 Reciclagem

Segundo a ACREPOM (2009), a palavra reciclagem é usada, mesmo que genericamente, quando queremos nos referir a reaproveitamento de materiais descartado e sua

transformação em um novo produto. A maior vantagem da reciclagem é a redução da utilização de fontes naturais, muitas vezes não renováveis. Com a reciclagem podemos utilizar um produto já utilizado e descartado anteriormente, com isso economizaremos com a fabricação de outros produtos que iria ter o mesmo caminho, economizando assim matéria-prima. O conceito de reciclagem se difere do termo reutilização. Esse conceito utilizamos apenas para materiais que têm a capacidade de voltar ao seu estado primário e ser transformado em um produto totalmente semelhante e com as mesmas características que a anterior.

Todavia, ainda segundo ACREPOM (2009), o conceito anterior citado não se enquadra para o vidro, pois mesmo que todo material vítreo seja “derretido”, nunca terá as mesmas características tais como cor e dureza, pode ser semelhante, mas nunca igual, pois na primeira vez que foi fabricado o material foi formulado através da areia, o que não se repete logo após.

Ainda segundo Valt (2004), a reciclagem é subdividido em três etapas: separação, revalorização e a transformação do material coletado. A primeira juntamente com a coleta são as ações iniciais de triagem, como madeira, lixo orgânico, plástico, papel. Quanto a etapa de revalorização, que é um estágio intermediário na qual prepara os materiais que já foram previamente separados e os leva para o ciclo de transformação, que é responsável pelo processamento industrial dos materiais para o desenvolvimento de novos produtos.

Figura 2 – Reciclagem do vidro



Fonte: Ricardo Richinni (2015)

Por muito tempo a reciclagem se destaca dentro do setor de vidraria, e graças aos investimentos feitos com finalidade de estimular o reuso das embalagens de vidro, esse âmbito

ganhou forças. Com as novas tecnologias, dois quilogramas de vidro usado e/ou dilacerado, pode-se fazer outros dois quilogramas de vidro, sem nenhuma eliminação e destruição a natureza. Os componentes de vidro são totalmente reaproveitáveis, seja quando utilizado em reaproveitamento de garrafas seja pela reciclagem e re-fabricação. Quando há reciclagem, há também a economia de matéria-prima natural, como barrilha, areia e calcário (ABVIDRO,2014 *apud* LODI *et al.* 2014).

#### **2.2.4 Pó de vidro**

De acordo com CEMPRE (2009), em média o nosso país produz cerca de 980 mil toneladas de embalagens de vidro por ano, e destes, 45% da matéria-prima são usadas em forma de cacos. Os mesmos – cacos – são concebidos em parte de refugo nas fábricas e outra parte na coleta seletiva das cidades. O principal comprador de vidros usados são as vidrarias, pois eles compram os materiais dos sucateiros na forma de cacos ou recebem continuamente das campanhas de reciclagem.

Para evitar o desperdício contínuo e procurar uma melhor solução para os resíduos vítreos jogado ao meio ambiente, foi-se descobrindo maneiras de adicionar vidro no concreto, não só em sua parte inteira, mas como também em pó. Shao *et al.* (2000) *apud* Righi *et al.*, (2012) pesquisaram sobre a viabilidade de adição de vidro finamente moídas no concreto, e este tinha a função de substituir o cimento e assim seria analisada a sua resistência á compressão e seria avaliada a atividade pozolânica do vidro moído após a substituição de 30% de concreto por pó de vidro. Os resultados obtidos na pesquisa demonstraram que o tamanho das partículas de vidro adicionadas no concreto modifica o efeito produzido sobre a peça, e que os resultados são bastantes significativos. De acordo com os mesmos, concreto fabricado com tamanho das partículas de vidro menores do que 75µm demonstraram um ganho de resistência a compressão e houve uma baixa expansão quando comparado com o concreto convencional e o traço padrão. De acordo com os autores, essas modificações físicas encontradas no concreto incitada pela reação álcali-sílica relacionado ao efeito das dimensões das partículas são um forte indicativo de atividade pozolânica no material.

Segundo Santos (2015), a Austrália é o país que mais utiliza o vidro moído em construções, este vidro é proveniente da reciclagem e é utilizado como agregado. Em certas ocasiões o material chega a ser usado numa proporção de 10 a 20%, como substituto da areia, sendo este empregado em construções de vigas, pilares, lajes e ocasionalmente em elementos não estruturais, podendo aumentar a proporção de pó de vidro em até 50%.

De acordo com Santos (2015) em 2012 a UFSM e a UniPampa atuaram associadamente em uma pesquisa para avaliar a degradação térmica de concretos com adição de vidro moído e passavam por situação de incêndio. Os autores e coautores da pesquisa substituíram agregado miúdo (areia) por vidro moído em diversas proporções: 0%, 5%, 10%, 15%, 20% e 100% e o vidro utilizado nos ensaios era advindo da reciclagem de 220 garrafas *long-neck*. A pesquisa foi baseada nas normas técnicas para produção de concreto além das especificações granulométricas de agregados. Os responsáveis concluíram:

“As resistências dos diferentes traços analisados à temperatura ambiente foram compatíveis com as resistências de dosagem usualmente especificadas na produção de concretos, sendo possível afirmar que o teor de substituição mais adequado nesta pesquisa foi de 20%, pois atingiu-se um patamar de resistência equivalente ao concreto sem substituição. No caso da substituição de 100% da areia por vidro, apesar de atingir-se uma resistência superior, a trabalhabilidade foi altamente prejudicada, inviabilizando a moldagem manual dos corpos-de-prova.” (SANTOS, 2015).

O pó de vidro é um material residual inerte, mas quando levado aos rios pode aumentar o pH e a turbidez da água, prejudicando a bacia hídrica (LUZ; RIBEIRO, 2008).

Como diz Dias (2011) devido as propriedades do vidro pode-se reciclar de diversas maneiras, dado que após partido e aquecido, o vidro antigo pode-se criar um novo material, gastando apenas energia e pouca matéria-prima. A reutilização do vidro nas construções tem sido uma oportunidade com variados benefícios, sabendo que há um problema gerado na fabricação do vidro que é a abusiva extração da areia. Quando se recicla o vidro, reduzimos a quantidade de produto encaminhada para deposição final. Esse processo é popularmente chamado de dividendo duplo, pois ganha a economia, o meio ambiente e as pessoas.

### **2.2.5 Aplicação do pó de vidro**

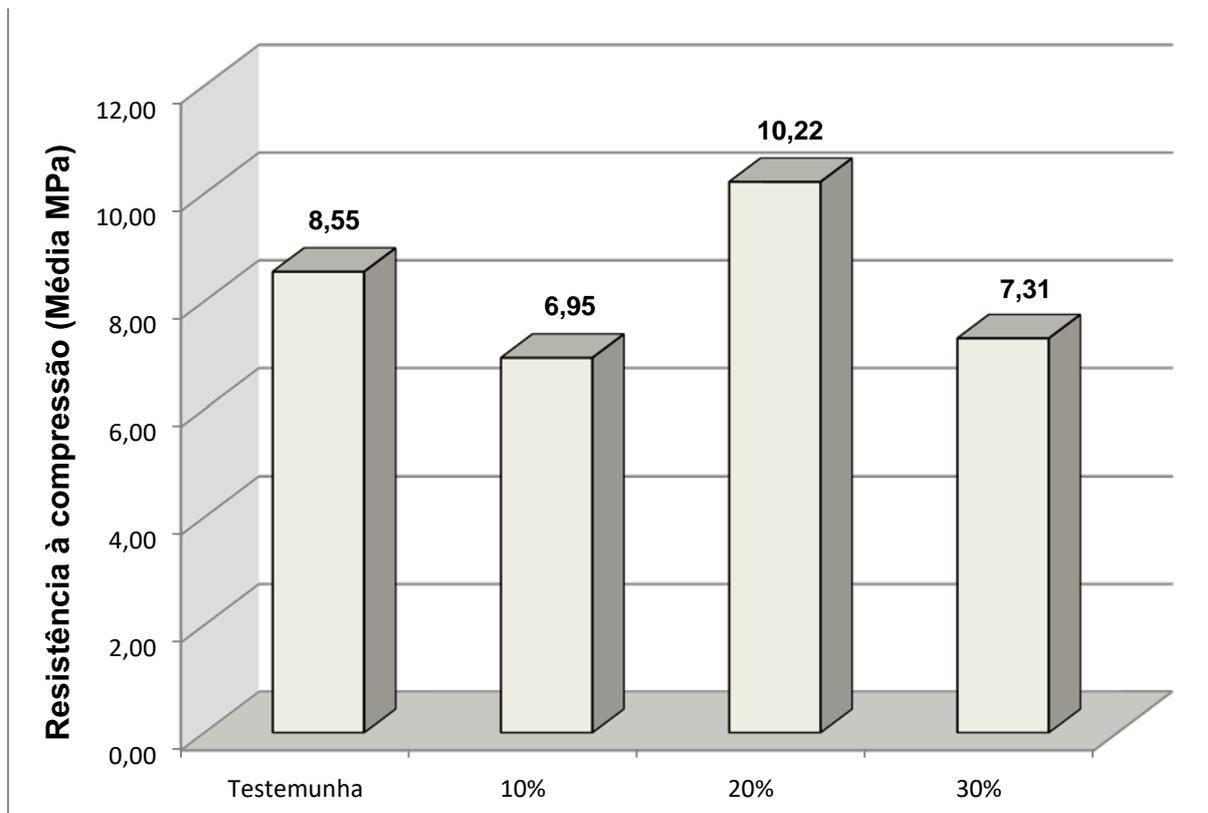
Luz e Ribeiro (2008) substituíram o feldspato sódico por pó de vidro em produtos cerâmicos para fazer sua análise. A substituição foi feita devida a similaridade dos materiais e por apresentar um bom potencial como fundente, fazendo com que obtivesse uma fase vítrea no decorrer da queima do grês porcelanato. Com o decorrer da pesquisa, eles concluíram que o pó de vidro não é indicado para tal função pois pode gerar um produto não-conforme e também acelerar o processo de densificação durante a queima. No entanto, quando se substitui parcialmente o feldspato por pó de vidro, pode-se proporcionar uma contribuição econômica e ecológica no processo.

Em seu trabalho, Santos (2009) *apud*. Galvão (2014) pesquisou sobre a viabilidade do uso de resíduos de vidro na produção de materiais compósitos e chegou a conclusão, no seu trabalho focado em sinterização de PV (pó de vidro), que de acordo com que o tamanho médio

das partículas era reduzido (98,6  $\mu\text{m}$ ; 30,7  $\mu\text{m}$ ; 14,9  $\mu\text{m}$ ), maior a reatividade química do produto devido ao aumento da energia superficial. Analisando isso ele concluiu que havia ligações entre a temperatura inicial de retração e ao tamanho do pó de vidro, e viu que eram diretamente proporcionais. Fazendo assim, com que diminuísse o consumo de energia e impacto ambiental causado pela geração de gases.

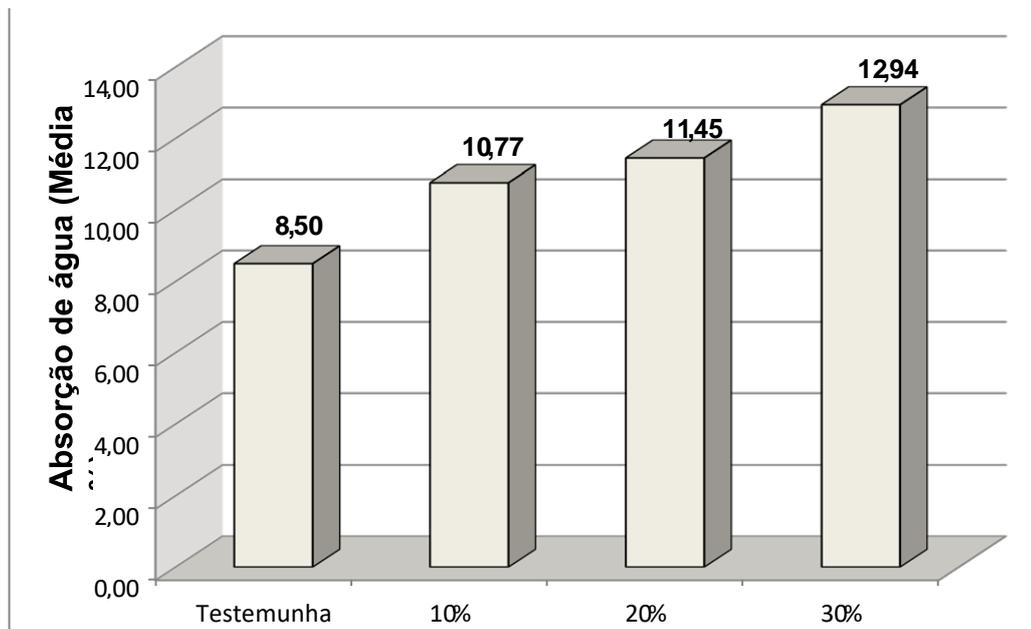
Lodi *et al.* (2014) avaliou a viabilidade da adição de resíduos vítreos na fabricação de *pavers*. Os autores fabricaram diversos blocos intertravados e adicionaram uma quantidade específica de pó de vidro em sua composição. Eles fizeram blocos de 6x10x20cm, sendo altura, largura e comprimento, respectivamente. Foi feito quatro diferentes blocos, com 0% de adição de pó de vidro, no caso seria um bloco intertravado convencional, e outros com 10%, 20% e 30% em relação a massa de cimento. O intuito é avaliar a viabilidade quanto á resistência a compressão e quanto a absorção de água do mesmo. Conclui-se que quanto a absorção de água, quanto maior aumentava a porcentagem de pó de vidro, mais leve o bloco ficava quando úmido. Já quanto a resistência á compressão, o bloco com 20% de pó de vidro foi o que teve maior resistência, com um aumento de 8,53% em relação ao bloco convencional.

Figura 3 – Resistência a compressão



Fonte: Lodi *et al.* (2014)

Figura 4 – Média de absorção de água



Fonte: Lodi *et al.* (2014)

## 2.3 CONCRETO

### 2.3.1 Cimento

De acordo com a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) o cimento é um pó fino com características e propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que enrijece quando adicionado a água e a mesma agir sobre o cimento. Quando o cimento se transforma em concreto, vira-se uma pedra artificial, que pode ter várias formas, pesos e volumes. O concreto é o segundo material mais utilizado pelo homem atualmente, perdendo apenas para a água.

Como diz a ABCP (2002) *apud* Ribeiro (2015) para se produzir o cimento são necessários vários materiais equipamentos e matéria-prima. A baixo é apresentado as matérias-primas do cimento, na qual cada um tem sua especificação e função diferente dentro do cimento:

- Clínquer: Este material tem como matérias-primas o calcário e argila. O clínquer é o componente do concreto mais complexo de todos, pois é o que tem o custo mais elevado na fabricação do cimento Portland. Dois dos componentes clínquer é o Silicato Tricalcico e Silicato Dicálcico e este dão as características de ligante hidráulico e resistência após a hidratação do cimento;
- Gesso: Normalmente tem adição de aproximadamente 3% em função da massa do Clínquer, e seu dever é regular o tempo de início de cura do cimento;

- Calcário:  $\text{CaCO}_3$ , é usado na produção do clínquer e as vezes utilizado como aditivo do concreto. Sua função é melhorar a trabalhabilidade do concreto;
- Escória Siderúrgica: É um sub-produto do alto forno. Tem funções muito parecidas com o clínquer, mas tem maior durabilidade e apresenta maior resistência final;
- Pozolanas: Rochas de origem vulcânicas que reage com hidróxido de cálcio e apresenta propriedade de ligante hidráulico.

Segundo a ABNT NBR 11578:1991 há condições exigidas dos cimentos Portland Compostos (CP II-E, CP II-Z e CP II-F) para se receber o produto em obra. Este cimento é um aglomerante hidráulico que é obtido através do Clínquer Portland quando adicionado, se necessário, sulfato de cálcio. O CP II é dividido em três diferentes tipos de cimento: o CP II-E que é o Cimento Portland Composto com escória; CP II-F na qual é o Cimento Portland Composto com fíler e o CP II-Z este é o Cimento Portland Composto com Pozolana. Vale ressaltar ainda que existe as sub-classes dos cimentos, que são 25, 32, 40, estes que representam, respectivamente, a resistência á compressão aos 28 dias de idade em MPa.

### **2.3.2 Agregado Graúdo**

De acordo com a norma ABNT NBR 7211:2005, agregado graúdo é o agregado cujo os grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm. Para haver aceitação de lote, o agregado tem que ser aprovado em alguns requisitos impostos por norma anterior, tal como as ABNT NBR NM 27 e ABNT NBR NM 26. A seguir será demonstrado os requisitos necessários para aprovação de lote:

- Quanto à distribuição granulométrica: Têm que haver o peneiramento dos agregados e baseado na quantidade de material, têm-se uma porcentagem de divisão de peneiras de acordo com a ABNT NBR NM 248. Uma certa quantidade deve ficar retidas em diferentes peneiras, os agregados não podem ser totalmente uniformes;
- Quanto à forma dos grãos: O índice de forma dos grãos do agregado não deve ser superior a 3, quando determinado de acordo com a ABNT NBR NM 7809;
- Quanto ao desgaste: Segundo a ABNT NBR NM 51, o índice de desgaste por abrasão deve ser inferior a 50% em massa do material (ABNT NBR 7211:2005).

Tabela 2 – Limites granulométricos do agregado graúdo

PENEIRAS (mm)	PORCENTAGENS RETIDAS ACUMULADAS				
	CLASSIFICAÇÃO (GRADUAÇÃO)				
	0	1	2	3	4
76	-	-	-	-	0
63	-	-	-	-	0-30
50	-	-	-	0	75-100
38	-	-	-	0-30	90-100
32	-	-	0	75-100	95-100
25	-	0	0-25	87-100	-
18	-	0-10	75-100	95-100	-
12,5	0	-	90-100	-	-
9,5	0-10	80-100	95-100	-	-
6,3	-	92-100	-	-	-
4,8	80-100	95-100	-	-	-
2,4	95-100	-	-	-	-

Fonte: ABNT NBR 7211:2005

Segundo MEHTA e MONTEIRO (1994) *apud* ALHADAS (2008), as diferentes granulometrias do agregado poderá afetar na resistência á compressão no artefato de concreto, contando que as peças tenham a mesma relação água cimento. Agregados que não apresentam nenhuma deficiência, quebra ou o lote não ter muita diferença de tamanho entre os agregados, esses produzem misturas de concreto com mais trabalhabilidade e são, todavia, mais econômicos. Quando se têm partículas maiores, estes tendem a ocasionar uma quantidade maior de microfissuras na zona de transição entre o agregado graúdo e a pasta de cimento.

NEVILLE (1997) *apud* ALHADAS (2008) enfatiza que além de se analisar fisicamente os agregados, não se deve esquecer o aspecto econômico do artefato, resumindo, o concreto deve ser fabricado com materiais que lhe geram economia e/ou possa ser produzido com baixo custo. Neville diz que os principais coeficientes que indicam a viabilidade econômica do agregado são: a área superficial do agregado, dito que este influencia na quantidade de água á ser usada na molhagem dos sólidos, o volume relativo que o agregado ocupa, a trabalhabilidade do composto e sobre a tendência de segregação.

### 2.3.3 Agregado Miúdo

Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75mm e se retém na peneira cuja abertura de malha é de 150 µm (ABNT NBR 7211:2005).

O agregado miúdo fica na segunda posição no quesito utilização na confecção do concreto, perde apenas para o agregado graúdo, e o mesmo contribui incomensuravelmente para

a disposição final ideal do concreto, pois o mesmo afeta na resistência a compressão, durabilidade, trabalhabilidade, retração e entre outras.

De acordo com Bauer (2011) *apud* Azevedo *et al.* (2017), os agregados têm uma função primordial no concreto e contribuem em cerca de 80% do peso total do artefato e 20% do custo final do concreto estrutural, sem adicionar aditivos e um *fck* de 15Mpa. Os agregados têm bastantes diferenças em lotes, podem ser de dimensões, de resistência, de textura, fazendo assim com que eles sejam constantemente estudados e testados, seja antes da obra seja durante ela.

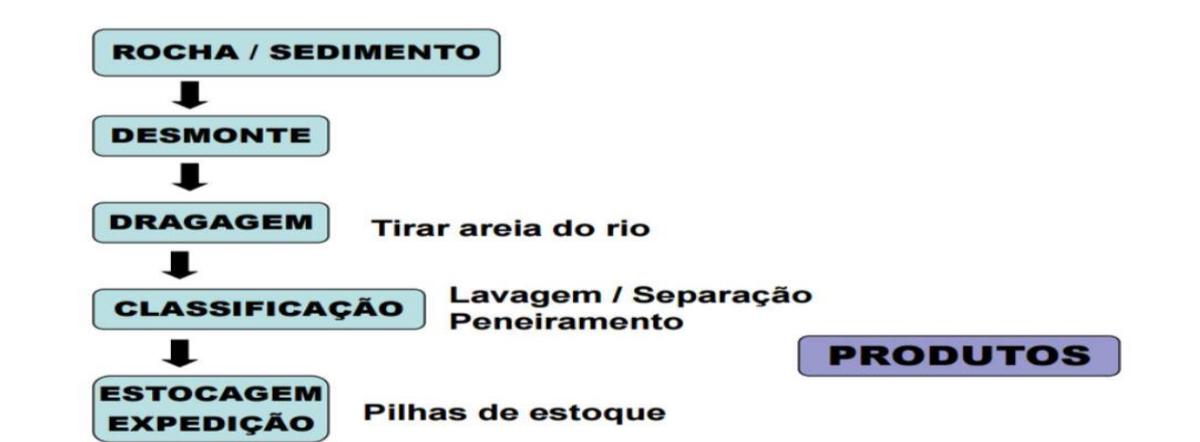
Para se ter um concreto de qualidade, primeiramente é necessário verificar a qualidade dos materiais que englobam o concreto, portanto é primordial conhecer as características, qualidades e defeitos de cada material, e para isso são necessárias uma gama de ensaios laboratoriais que envolvem tal ação (AZEVEDO *et al.* 2017).

O Anuário Mineral Brasileiro (2010) divulgou os dados e valores da quantidade e produção mineral, respectivamente, que foram comercializadas pelo Brasil no ano de 2009. Os valores do agregado miúdo (areia) foram: total bruto comercializado/valor = 255.807.957 t / R\$ 2.960.589.715, e total beneficiado comercializado/valor = 9.576.649,00 t / R\$ 136.665.653 (Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, 2010 *apud* Azevedo 2017)

Em sua pesquisa, Azevedo (2017) concluiu:

“[...] os agregados miúdos possuem grande variedade de características que influenciam e muito na qualidade do concreto produzido. Logo, quando não são conhecidas tais características, o risco de problemas em estruturas concretadas é grande, podendo a médio e longo prazo, provocar a deterioração precoce ou a ruína da estrutura. Portanto, recomenda-se que os agregados miúdos sejam submetidos aos ensaios, para obtenção de suas propriedades, para que sejam tomadas as medidas cabíveis para a confecção do concreto a ser utilizado. Porém, não basta apenas o controle tecnológico do agregado miúdo, recomenda-se ainda que todos os materiais usados no traço tenham o mesmo rigor no seu controle, bem como na confecção do concreto.”

Figura 5 – Processo de obtenção da areia



Fonte: Bauer (2000) adaptada pelo autor (2018)

### 2.3.4 Aditivos

Segundo Freitas (2013), aditivos são produtos que quando empregados no concreto ou argamassa de cimento, modificam propriedades específicas das mesmas, seja ele no estado fresco ou endurecido. Em países de primeiro mundo, de 70 á 80% dos concretos contêm algum tipo de aditivo. Ainda de acordo com o autor, os aditivos têm como principais funções:

- Aumentar a trabalhabilidade ou plasticidade do concreto;
- Reduzir o consumo de cimento, interferindo diretamente no custo final do concreto;
- Alterar o prazo de pega, acelerando-a ou retardando-a;
- Reduzir a retração;
- Aumentar a durabilidade.

Este último tópico contém quatro maneiras diferentes de atuação do aditivo no concreto. O aditivo pode aumentar a durabilidade inibindo a corrosão das armaduras ou neutralizando as reações álcali-agregado, reduzindo o efeito do ataque por sulfatos ou até diminuindo a permeabilidade. (FREITAS, 2013).

De acordo com a ABNT NBR 11768:2011 os aditivos são produtos que são adicionados no processo de fabricação do concreto, em quantidades menores que 5% da massa do material cimentício contida no concreto, e tem como característica e função modificar algumas funções do concreto.

Contudo, de acordo com a concentração de aditivo no concreto a efetividade do aditivo imposto no artefato pode variar. O que também pode fazer modificar a efetividade é o tipo de material cimentício ali usado, a temperatura do local a produção da peça, os materiais que estão incluídos no concreto além dos aditivos e energia necessária para mistura. Portanto são vários fatores atuando na efetividade do aditivo. (INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO, 2014).

A norma ABNT NBR 11768:2011 classifica os aditivos como:

- Redutor de água/plastificante;
- Alta redução de água/superplastificante;
- Incorporador de ar;
- Acelerador de pega;
- Acelerador de resistência;
- Retardador de pega;
- Polifuncional/multifuncional;
- Hiperplastificantes.

Como já dito anteriormente, os aditivos contribuem significativamente para a melhoria das características do concreto. E esse fator concreto/aditivo dependem das interações que acontecem entre o aditivo adicionado e os materiais que compõe o concreto, tal como agregados, cimento e água. A tipologia e tempo de duração das interações entre aditivos e esses materiais, pode influenciar nas propriedades químicas e físicas do concreto como por exemplo: velocidade que se leva para hidratar o concreto, demanda da quantidade de água necessária, tempo de início e fim de pega assim como resistência mecânica da peça e durabilidade da mesma (INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO, 2014).

Todavia, mesmo que os aditivos estejam em adequados perfeitamente dentro das especificações, problemas de incompatibilidade podem ocorrer com a peça de concreto quando se utiliza o aditivo em uma mistura. Estes problemas acontecem devido as interações que ocorrem entre os aditivos e todos os materiais que compõem o concreto, com destaque para cimento e adições. Assim, esses problemas podem acarretar em perda veloz de trabalhabilidade, aceleração ou retardo de pega em abundancia, incorporação em excesso de ar na peça, perda de resistência mecânica e entre outras (INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO, 2014).

Tabela 3 – Alguns problemas que podem ser encontrados no concreto fresco

	Menor redução de água que o esperado	Perda acelerada de abatimento	Menor tempo de pega que o esperado	Maior tempo de pega que o esperado	Excessiva incorporação de ar	Segregação
Varição na composição química do cimento	x	x	x	x	x	
Aumento da finura do cimento	x	x	x			
Varição das características dos agregados	x	x			x	x
Varição na proporção dos agregados	x	x			x	x
Quantidade insuficiente de aditivo	x	x	x			
Excesso de aditivo				x	x	x

Fonte: Adaptado de Instituto Brasileiro de Impermeabilização (2014)

## **2.4 BLOCOS INTERTRAVADOS**

### **2.4.1 O sistema de intertravamento**

De acordo com a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), um pavimento intertravado é composto por variadas peças de concreto, que são assentadas sobre uma camada de areia e travadas entre si por contenção lateral. O sistema de intertravamento é a capacidade que os blocos de concreto adquirem que fazem eles resistirem a movimentos de deslocamento único, podendo este ser horizontalmente, verticalmente ou movimento de rotação em relação ao bloco vizinho. Contudo, para que se consiga realizar o intertravamento é indispensável o que se execute a contenção lateral e preencher as juntas com areia.

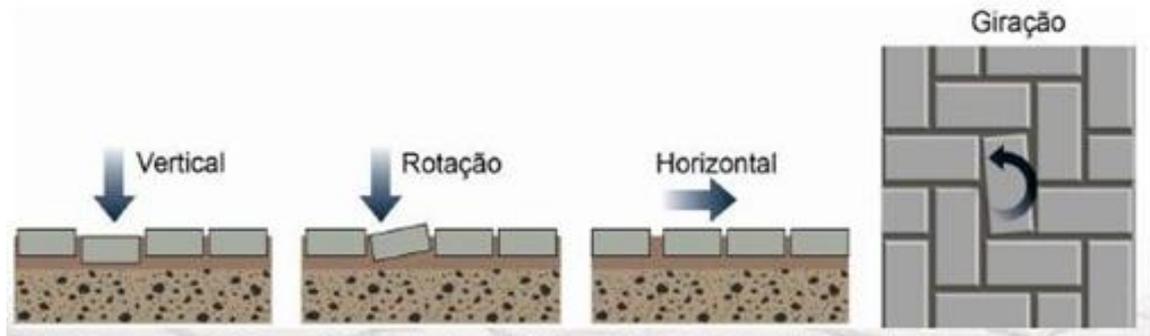
Nos dias atuais a utilização de pavimentos com blocos pré-moldados de concreto cresceu consideravelmente e vem sendo bastante utilizado. Além da facilidade de montagem, modelagem, execução e fixação, o bloco pré-moldado oferece materiais alternativos cuja primordial preocupação é o equilíbrio entre os âmbitos ambientais, financeiro e tecnológico (FIORITI *et al.* 2006).

Segundo Fioriti (2006), esse sistema de pavimentação teve início na Europa e chegou ao Brasil em meados da década de 70. As opções de formato, padrões e cores que o bloco intertravado possibilita, afetando diretamente na estética da pavimentação, aliada com a fácil fabricação e fácil montagem, faz com que esse tipo de pavimentação tenha êxito absoluto em construções como: pisos de parques, praças, jardins, galpões industriais e entre outros.

Como diz a ABNT NBR 9781:2013 pavimento intertravado é um pavimento flexível cuja sua composição é uma camada de base (ou base e sub-base), posteriormente vêm camada de revestimento constituída pelas peças de concreto justapostas em uma camada de assentamento e suas juntas entre um bloco e outro deve conter material de rejunte, assim o sistema de intertravamento é proporcionado pela contenção lateral posteriormente colocadas.

Sobre os deslocamentos possíveis em um bloco intertravado, a ABCP diz que um deslocamento vertical acontece quando um conjunto de blocos de um piso é imposto uma carga (força) no centro dos blocos, assim a tendência dele é afundar, deslocando-o verticalmente. Já um deslocamento horizontal acontece quando há esforço horizontal, por exemplo numa frenagem, os blocos tendem a se deslocar lateralmente. E a giração é quando uma carga é aplicada em uma extremidade do bloco, a peça assim tende a rotacionar. Portanto o intertravamento têm como objetivo combater todos esses esforços e assegurar a longevidade e segurança do pavimento.

Figura 6 – Movimento de deslocamento das peças



Fonte: ABCP (2013)

São definidos quatro tipos básicos de formatos de blocos de acordo com a ABCP:

- Blocos retangulares, o mais comum dos blocos, apresenta uma grande facilidade na produção e na colocação, facilitando a mão de obra, e é muito usual quando se quer detalhar os pavimentos, através de pinturas, ou colocação intercalada como espinha de peixe. Dimensões usuais: 20 cm de comprimento por 10 cm de largura;
- Bloco tipo “I”, mais complexo e só pode ser montada em fileiras travadas. Normalmente as suas dimensões são as mesmas que a dos blocos retangulares;
- O último bloco tem formato de chave, e pelo seu peso e dimensão não pode ser apanhado com só uma das mãos, dimensões de pelo menos 20 x 20 cm;
- Blocos sextavados. São blocos com seis lados (hexagonais), são maiores, mais pesados e mais densos. Normalmente utilizado em calçadas para pedestres e em pavimentos de postos de gasolina.

Figura 7 – Formato dos blocos intertravados

	<p>A. Peças de concreto segmentadas ou retangulares, com relação comprimento / largura igual a dois (usualmente 200 mm de comprimento por 100 mm de largura), que entrelaçam entre si nos quatro lados, capazes de serem assentadas em fileiras ou em “espinha-de-peixe” e podem ser carregados facilmente com apenas uma mão.</p>
	<p>B. Peças de concreto com tamanhos e proporções similares aos da categoria A, mas que entrelaçam entre si somente em dois lados, e que só podem ser assentadas em fileiras. Podem ser carregados com apenas uma mão e genericamente têm o formato em “I”.</p>
	<p>C. Peças de concreto com tamanhos maiores do que as anteriores, que pelo seu peso e tamanho não podem ser carregados com apenas uma mão, com formatos geométricos característicos (trapézios, hexágonos, triedros etc.), assentadas seguindo-se sempre um mesmo padrão, que nem sempre conforma fileiras facilmente identificáveis.</p>

Fonte: Hallack (1998) *apud* Wiebbelling (2015)

### 2.4.2 Produção de um bloco intertravado

As peças de concreto ou os blocos intertravados, usualmente, são produzidos industrialmente em vibroprensas que propiciam uma alta compactação as peças, aumentando assim sua resistência mecânica e durabilidade. Após moldar o bloco nas prensas, as peças de concreto são deixadas em uma câmara para serem curadas, estas câmaras mantêm a umidade relativa a cima de 95%, garantindo assim a hidratação do cimento e faz com que a peça absorva menos água, absorção tal que deve se manter inferior ou igual à 6%. O período em que a peça leva para curar na câmara está em torno de 24 horas, e a cura final para atingir a resistência necessária é feita em um local aberto e depende de algumas condições industriais, mas gira entre 7 e 28 dias (ABCP, 2010).

Como diz Holanda (2000) *apud* Fioriti *et al.* (2006):

“O mecanismo de vibração das vibro-prensas é um dos principais responsáveis pela qualidade dos componentes que são moldados. Esta vibração governa as operações de moldagem e colabora diretamente para a prensagem dos *pavers*. De modo geral, a melhor vibração é aquela que permite obter, num tempo mínimo, *pavers* de qualidade homogênea em todos os pontos da fôrma, provocando assim uma última compactação. Os seguintes parâmetros caracterizam a vibração: direção, fôrma, frequência, amplitude, velocidade, aceleração e duração.”

Figura 8 – Moldagem de blocos intertravados em uma vibroprensa semi-automática



Fonte: Akemi *et al.* (2006)

Antunes *et al.* (2011) *apud* Lodi *et al.* (2014) falam que há pelo menos três processos e/ou métodos de fabricação de blocos intertravados. O que é mais utilizado é o já citado anteriormente através de vibroprensas. O segundo método é o chamado processo dormido, em que o bloco é dispensado em fôrmas e permanece nelas por volta de 24 horas. Este é um processo mais demorado, com pouca produtividade, porém tem um acabamento melhor. Já o terceiro processo é o chamado “processo virado” ou “concreto virado”, a sua mistura é mais seca que as demais. Coloca-se o concreto nas fôrmas, molda-se e retira-se o concreto da forma e em seguida deposita-se sobre uma superfície horizontal para esperar o tempo de cura.

Mehta e Monteiro (2008) *apud* Lodi *et al.* (2014) afirmam que são necessários pelo menos 7 dias para a cura ao ar livre de uma mistura de concreto contendo cimento *Portland* comum, e normalmente, dependendo da tipologia do cimento e/ou os aditivos nele adicionado, são necessários mais dias para a cura total do concreto.

A vida útil de um pavimento intertravado pode ser de até 25 anos, isso tudo dependendo do projeto de base e sub-base bem planejado e bem executados. Sem contar na boa qualidade do concreto e da boa fixação dos blocos no pavimento (FIORITI *et al.* 2006).

### **2.4.3 Características mecânicas do pavimento intertravado**

Normalmente, um pavimento intertravado tem suas seções tipos, que são, em ordem: sub-leito, base, camada de assentamento e camada de revestimento. As peças de concreto têm que ter dimensões uniformes, ser feita uma boa compactação de todo o conjunto e ter juntas estreitas entre as peças e preenchidas com areia fina. Se houve peças desiguais não será possível ter um assentamento eficaz. As juntas devem ter abertura que gira próximo a 3 mm e frisando, sempre estar preenchida com areia (ABCP, 2010).

O sub-leito é constituído de solo natural ou em certas vezes advindas de empréstimos e deve ser compactada em camadas de 15 cm, dependendo das condições do solo. A base é composta por material granular com espessura mínima de 10 cm e também deve haver compactação após o assentamento da mesma. Assim como a base, a camada de assentamento também é composta por material granular, porém este há uma distribuição granulométrica pré-definida e tem como função acomodar as peças de concreto que vêm posteriormente. Lembrando que nunca se deve usar a areia de assentamento para corrigir falha das na base. Por último vêm a camada de revestimento, que são os próprios blocos, e deve haver areia em suas aberturas, pois são elas que garantiram a fixação do material (ABCP, 2010). A seguir será demonstrado através de uma figura as camadas que compõe o sistema estrutural de um pavimento intertravado:

Figura 9 – Estrutura típica de um pavimento intertravado



Fonte: ABCP (2010)

O quadro abaixo demonstrará algumas características mínimas ou necessárias para pavimento intertravado, tal como formato necessário, espessuras mínimas que têm que ser maior ou igual a 60 mm e superior deve ser divisível por 20, as dimensões toleráveis, tais como a resistência mecânica a compressão de acordo com o tráfego que o pavimento será imposto tal como também a absorção de água máxima que a peça deve apresentar, de acordo com a ABNT NBR 9781:2013:

Quadro 2 – Recomendações segundo a ABNT NBR 9781:2013 para *pavers*

Requisitos exigidos pela norma	Descrição
Formato	As peças podem ser produzidas em diversos formatos.
Espessura	As peças são padronizadas quanto à espessura em 60, 80 e 100 mm.
Dimensões	Quanto as tolerâncias dimensionais das peças de concreto, são permitidas variações inferiores a 3 mm.
Resistência à compressão	A resistência a compressão deve ser maior ou igual a 35 MPa para tráfego de veículos comerciais de linha e maior ou igual a 50 MPa para tráfego de veículos especiais ou solicitações capazes de produzir acentuados defeitos de abrasão.
Absorção de água	Quanto a absorção de água as peças devem apresentar valor menor ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7%.

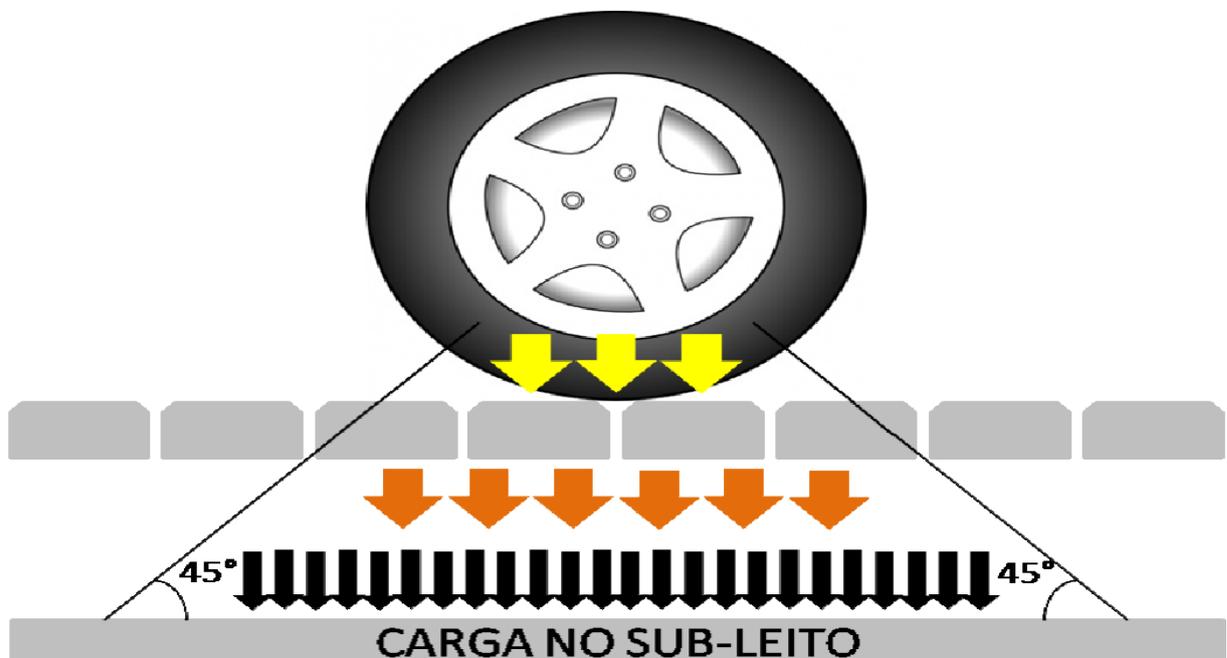
FONTE: ABNT NBR 9781:2013

Como foi explícito no quadro, a resistência a compressão para tráfego de pedestres, veículos leves e comerciais de linha devem ser maiores ou iguais a 35 Mpa nos primeiros 28 dias. Já para o tráfego de veículos pesados (especiais) e/ou solicitações capazes de produzir defeitos de abrasão acentuados a resistência deve ser de no mínimo 50 Mpa.

É certo dizer que as camadas que constituem um pavimento intertravado tem como função de distribuir a tensão normal nela aplicada de tal forma que o subleito receba uma parte minoritária desta tensão, caracterizando assim um pavimento flexível (GODINHO, 2009).

Para se impedir os deslocamentos e movimentos laterais das peças de concreto, é necessária que se crie uma contenção lateral, que são como vigas. A areia de rejuntamento serve para transferir os esforços entre os blocos, permitindo que eles trabalhem harmoniosamente e suportem as cargas impostas na superfície. Contenção e areia de rejunte são indispensáveis para o intertravamento do pavimento, fazendo com que os blocos resistam aos esforços verticais, horizontais e de rotação em relação aos seus vizinhos (ABCP, 2010).

Figura 10 – Distribuição de carga normal vertical nas camadas de um pavimento intertravado



Fonte: Vaz (2015)

Além de conforto térmico, facilidade de drenagem, facilidade de execução, o pavimento intertravado também apresenta a capacidade de economizar energia elétrica. Por causa da coloração clareada dos blocos de concreto, o pavimento aumenta a reflexão da luz e ganha em torno de 30%, se comparado com pavimento flexível das ruas. Em termos práticos, essa coloração faz que se gere economia de iluminação pública (MARCHIONI, 2011 *apud* MARTINS, 2014).

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 APRESENTAÇÃO**

Este trabalho visa realizar um estudo comparativo/qualitativo de específicos blocos de concreto para uso em pavimento intertravado. A utilização de resíduos sólidos em concreto, tem sido, atualmente bastante realizada, pois este é um método de aproveitamento de materiais que anteriormente iriam para aterros sanitários e/ou diversas vezes teriam uma destinação errônea, fazendo com que nosso meio ambiente se contamine.

A área em que esse estudo está voltado é para a pavimentação. Estes blocos podem ser usados para vias urbanas onde há tráfego leve/moderado de veículos ou para passeio, onde há tráfego exclusivamente de pedestres.

Este estudo foi realizado na cidade de Palmas – TO e todos seus experimentos laboratoriais foram realizados no laboratório de pesquisa do Centro Universitário Luterno de Palmas.

#### **3.2 OBJETO DE ESTUDO**

Para conseguir atingir o objetivo geral e os objetivos específicos desse trabalho, foram necessários os desenvolvimentos de programas experimentais que auxiliem na avaliação das características físicas e mecânicas do concreto intertravado com adição de pó de vidro. Tal programa foi dividido em quatro partes primordiais: a) estudo físico dos materiais; b) produção e ensaio do CR (concreto referência) utilizando o TR (traço referência); c) produção e ensaio do concreto com adição de pó de vidro; d) estudo qualitativo das peças.

O intuito deste trabalho é avaliar e comparar as propriedades do pavimento intertravado quando adicionado 5%, 10% e 20% de pó de vidro em sua composição e também realizar a mesma avaliação em blocos de concreto referência.

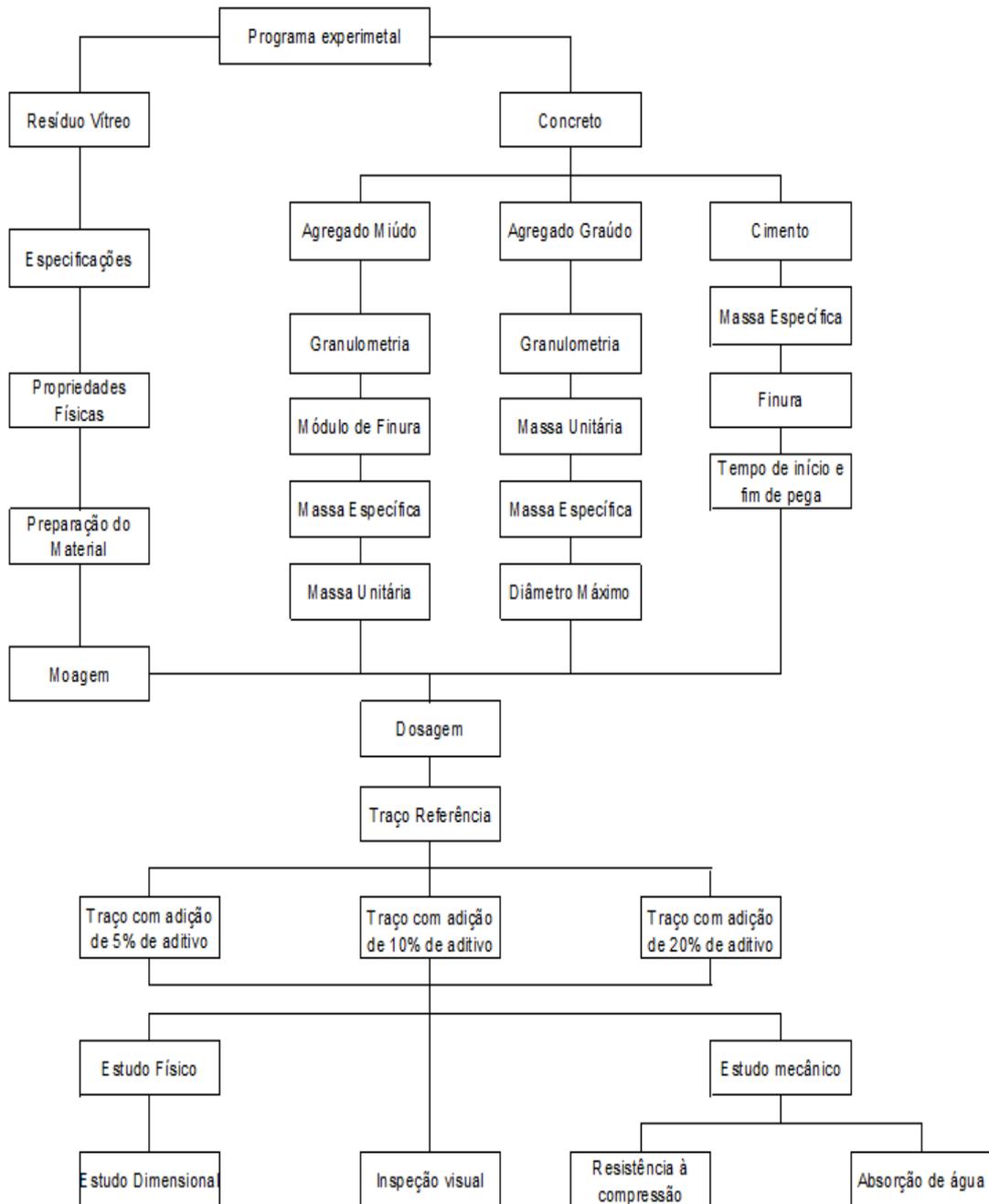
Para a produção do concreto com pó de vidro e do concreto referência, ou seja, aquele que não há adição de pó de vidro na mistura, foram moldados, para cada modelo de concreto: 6 peças de pavimento intertravado (10x20x6cm) para ensaio de resistência à compressão, seguindo a ABNT NBR 9781:2013. 3 peças de pavimento intertravado (10x20x6cm) para ensaio de absorção de água, seguindo a ABNT NBR 9781:2013. Para realizar o estudo dimensional das peças e a inspeção visual, foram utilizados os mesmos *pavers* dos blocos destinados ao ensaio de resistência a compressão, e foram analisados 3 blocos para estes dois ensaios. Os blocos de concreto para o teste de resistência à compressão foram testados com 3 dias, 7 dias, 14 dias e 28 dias de cura. Já os de absorção foram avaliados somente com 28 dias

e os testes dimensionais e inspeção visual foram usados os mesmos blocos destinados ao teste de absorção de água.

### 3.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

Este tópico apresenta detalhadamente o programa experimental que foi desenvolvido neste trabalho.

Figura 11 – Fluxograma das atividades à serem executadas



### **3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS**

Todos os ensaios necessários para caracterização dos materiais constituintes do estudo foram realizados de acordo com as especificações técnicas das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Todos os ensaios de caracterização foram realizados no laboratório de materiais do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

#### **3.4.1 Cimento**

Foi escolhido, para realização do estudo o Cimento Portland CP II F-40, na qual este cimento tem uma resistência final maior. A compra do material pode ser feita em qualquer loja de materiais de construção.

Para sabermos as características do cimento, foram necessárias a idealização de 3 tipos de ensaios, que são eles:

- Ensaio de massa específica: Foi utilizado a ABNT NBR NM 23:2001 – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica;
- Ensaio de finura: Foi utilizado a ABNT NBR 11579:1991 – Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75  $\mu\text{m}$  (nº200);
- Ensaio tempo de início e fim de pega: na qual foi utilizado a ABNT NBR NM 65:2003 – Cimento Portland – Determinação do tempo de pega.

#### **3.4.2 Agregado Miúdo**

Quanto ao agregado miúdo (areia) utilizada, foi utilizado areia média, foram feitos 4 tipos de ensaios para caracterização do mesmo. O agregado utilizado foi adquirido em loja de material de construção na zona sul de Palmas – TO. Os ensaios feitos foram:

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

### 3.4.3 Agregado Graúdo

O agregado graúdo utilizado foi a brita 1, ou seja, aquela que tem diâmetro entre 9,5mm e 19mm. Esse material pode ser achado na maioria das casas de construção da cidade, no caso deste trabalho o agregado é derivado de uma loja de material de construção da zona sul de Palmas – TO. Os ensaios feitos nesse tópico foram:

- Determinação da composição granulométrica: Foi seguida a norma da ABNT NBR NM 248:2003 – Agregados – Determinação da composição granulométrica;
- Determinação da massa unitária: Foi seguida a norma da ABNT NBR NM 45:2006 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios;
- Determinação da massa específica: Foi seguida a norma da ABNT NBR NM 53:2009 – Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água;
- Determinação do diâmetro máximo: Corresponde ao número da peneira da série normal na qual a porcentagem acumulada é inferior ou igual a 5%, desde que essa porcentagem seja superior a 5% na peneira imediatamente abaixo. Segue a mesma norma da composição granulométrica.

### 3.4.4 Aditivos

Como aditivo foi usado o aditivo superplastificante Sika ViscoCrete 3535 CB, que este pode reduzir o consumo de água em até 40%, otimizando assim na trabalhabilidade do concreto e redução da quantidade de cimento. Esse material foi encontrado em uma loja especializada na zona sul de Palmas – TO.

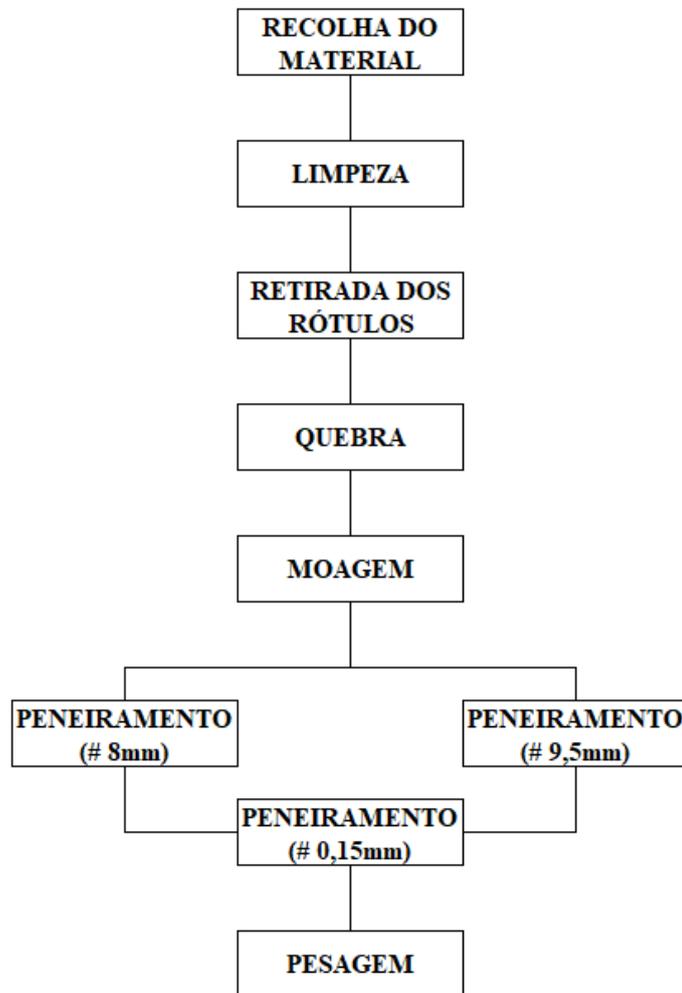
A norma utilizada para realização deste ensaio foi a ABNT NBR 11768:2011 – Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos.

### 3.4.5 Pó de vidro

O material utilizado para adicionar ao concreto foi escolhido através de estudo de casos e concepções. Foi escolhido resíduos de vidro comum, especificamente de garrafas *long-neck*. O local da coleta foi em dois restaurantes da cidade de Palmas, onde os objetos foram doados. A escolha deste material se deu ao enorme descarte no ambiente e teoricamente é um material fácil de se encontrar, sabendo que há bastantes descarte devido ao enorme consumo do mesmo e a disposição final errônea.

A seguir têm-se a sequência de serviços realizados para tratamento do vidro:

Figura 12 – Fluxograma do vidro



Fonte: Autor (2019)

### 3.5 DOSAGEM DO CONCRETO

As dosagens utilizadas para a fabricação dos corpos-de-prova foram atribuídas com intuito de se atingir a resistência mínima à compressão de 35 Mpa nos 28 dias. O traço utilizado neste estudo foi definido através do método ABCP/ACI. Este método ABCP é adaptado do método ACI (American Concrete Institute) para agregados brasileiros.

Para cada passo é necessário ter-se informações preliminares dos agregados e do cimento, tais como massa específica dos agregados, massa unitária, módulo de finura, diâmetro máximo dos agregados, abatimento do concreto (*slump test*) e desvio padrão ( $S_n$ ) da resistência. A seguir será demonstrado minuciosamente cada etapa para definição do traço de referência adequado para esse estudo.

### 3.5.1 Método ABCP/ACI

O primeiro passo a ser dado para a definição dos traços é definir as características dos componentes do concreto – características, essas, citadas anteriormente -. Tendo todos esses valores em mãos, poderá dar partida aos cálculos. O primeiro cálculo é a determinação da resistência de dosagem, segundo a ABNT NBR 6118:2014, nele será utilizado o  $f_{ck}$  do concreto, que é 35 Mpa (resistência mínima para blocos intertravados), utilizará também uma constante de 1,65 e este será multiplicado pelo desvio padrão das amostras, valor que será definido através da tabela a seguir:

$$1) f_{cj28} = f_{ck} + 1,65 \times Sd$$

Quadro 3 – Determinação do desvio padrão

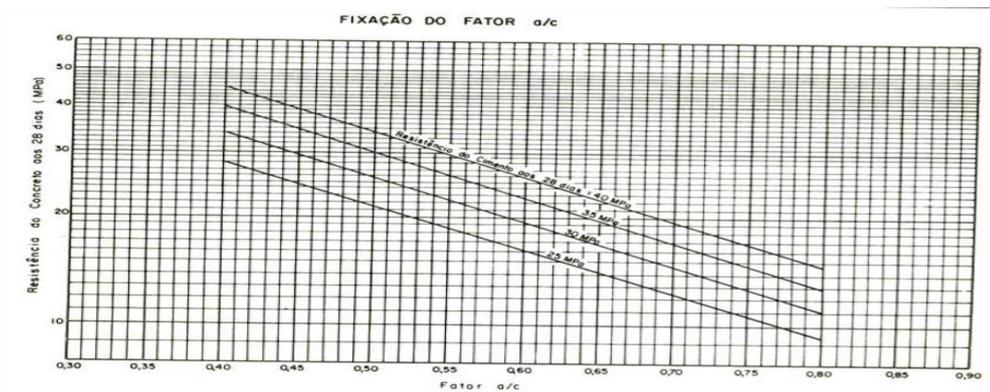
Sd	Condição	Classe	Tipo de Concreto
4,0	A	C10 a C80	Quando todos os materiais foram medidos em peso e houver medidor de água, corrigindo-se as quantidades de agregado miúdo e água em função de determinações frequentes e precisas de teor de umidade dos agregados, e houver garantia de manutenção, no decorrer da obra, da homogeneidade dos materiais a serem empregados
5,5	B	C10 a C25	Quando o cimento for medido em peso e os agregados em volume, e houver medidor de água, com correção do volume do agregado miúdo e da quantidade de água em função de determinações frequentes e precisas do teor de umidade dos agregados
7,0	C	C10 a C15	Quando o cimento for medido em peso e os agregados em volume, e houver medidor de água, corrigindo-se a quantidade de água em função da umidade dos agregados simplesmente estimadas.

Fonte: Castro (2014), adaptado pelo autor (2018)

No caso deste trabalho, o  $Sd$  utilizado será o 4,0, tendo em vista que este valor foi o que encaixava com a proposta do trabalho.

Chegou-se então a um  $f_{cj28}$  41,6 MPa, tendo em vista que se foi usado um  $f_{ck}$  de 35 MPa, e um  $Sd$  de 4,0. Após ser calculado o valor do  $f_{cj28}$ , deve-se fixar o valor do fator água/cimento, este será obtido através do ábaco exposto na figura abaixo.

Figura 13 – Abáco para obtenção do fator água/cimento



Fonte: Castro (2014)

Faz-se assim a ligação entre a resistência do concreto aos 28 dias (35Mpa), e a reta inclinada correspondente aos 35 MPa, traça-se uma reta na vertical para baixo, o valor encontrado será o fator água/cimento que será utilizado no traço referência.

O próximo passo é apurar a água estimada por metro cúbico ( $m^3$ ) de concreto ( $C_w$ ). Para isso será necessário ter-se consigo o valor do diâmetro máximo do agregado graúdo em mm, e o abatimento estimado do tronco de cone, também em mm. Quanto ao abatimento, foi-se estimado o seu valor de acordo a tabela a seguir.

Tabela 4 – Definição do abatimento

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

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

Fonte: ACI 211 (1991)

Como o estudo é feito para pavimentos intertravados, e pode-se ser aumentada em até 25mm de acordo com o uso, foi escolhido um abatimento de  $100\text{mm} \pm 20$  para efeitos de cálculos e estudos.

Contendo então o abatimento e o diâmetro máximo do agregado, usa-se também uma tabela para se ter o consumo aproximado de água. Segue a tabela:

Tabela 5 – Definição do consumo aproximado de água

Abatimento do tronco de cone, em mm	Dimensão máxima característica do agregado graúdo, em mm			
	9,5	19,0	25,0	32,0
40 a 60	215	185	180	175
60 a 80	220	190	185	180
80 a 100	225	195	190	185

Fonte: Castro (2014)

Como o abatimento utilizado máximo será de  $100\text{mm} \pm 20$ , então usaremos a terceira linha que tem um abatimento de 80 a 100mm e de acordo com diâmetro máximo do agregado graúdo chegaremos a um  $C_w$  (consumo de água).

Logo em seguida será encontrado o consumo de cimento, que é a relação do  $C_w$  (consumo de cimento), com o fator água/cimento ( $a/c$ ), o consumo de cimento é dado pela abreviação  $C_c$ .

Após ser encontrado o consumo de cimento, terá de ser achado através de outra tabela o consumo de agregado graúdo ( $C_b$ ). Este em volume de concreto ( $\text{m}^3$ ), é dada pela função da dimensão máxima característica do agregado graúdo com o módulo de finura encontrado através de ensaios feitos inicialmente. A tabela 6 a seguir demonstrará a logística de cálculo para se encontrar o  $C_b$ .

Tabela 6 – Volume de agregado graúdo por  $\text{m}^3$  de concreto

Módulo de finura	Dimensões máximas características do agregado graúdo ( $D_{\text{máx}}$ ), em mm.			
	9,5	19,0	25,0	32,0
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660

Fonte: Castro (2014), adaptada pelo autor (2018)

Então, de acordo com o diâmetro máximo característico do agregado graúdo e do módulo de finura da areia, será achada o consumo de agregado graúdo. Logo em seguida será necessário utilizar de todos os valores encontrados anteriormente para se chegar a um volume absoluto de areia ( $V_a$ ). Segue a fórmula necessária para a obtenção do mesmo:

$$V_a = 1 - \left( \frac{C}{\rho_c} + \frac{C_b}{\rho_b} + C_w \right)$$

Onde:

Va - Volume absoluto de areia

C – Consumo de cimento

Cb – Consumo de brita

Cw – Consumo de água

$\rho_c$  – Massa específica do cimento

$\rho_b$  – Massa específica da brita

Portanto, o consumo de areia (Ca) é:  $Ca = Va \times \rho_a$

Onde:

$\rho_a$  – Massa específica da areia

Os cálculos realizados para o traço seguem conforme apêndice A.

### 3.6 PRODUÇÃO DOS BLOCOS INTERTRAVADOS

Para confecção dos corpos de prova, foram necessários o uso dos materiais pré-caracterizados e dosados como será mostrado no tópico 4.1, como também o uso de uma betoneira para rodagem dos produtos, além dos materiais necessários para realização do *Slump-Test*, que são o Cone de Abrams, uma placa metálica, uma haste para adensamento e régua para medir o abatimento do concreto. A sequência de colocação do material na betoneira seguiu a seguinte ordem:

1. Adição do agregado graúdo
2. Adição de parte da água
3. Adição do cimento
4. Adição do agregado miúdo
5. Rodagem da betoneira por aproximadamente 1 minuto
6. Adição do restante da água
7. Adição do aditivo superplastificante
8. Rodagem da betoneira por aproximadamente 7 minutos

O tempo de rodagem na betoneira foi de aproximadamente 8 minutos, em seguida foi feito o teste de abatimento para a conferência da consistência, se atingido o proposto (80 +- 20mm), desligava-se a betoneira e partiria para a moldagem do corpo de prova através das fôrmas para pavimento intertravado e em seguida seria feita a devida vibração. Antes de colocar o concreto dentro das fôrmas, eram necessários untar as fôrmas com óleo lubrificante para

facilitar a “desfôrma”. Os moldes com o concreto eram vibrados aproximadamente 3 a 5 minutos, utilizando a haste de vibração, em seguida era regularizado a parte superior das fôrmas. Restando apenas esperar o tempo de “desfôrma” que era aproximadamente 24 +-4 horas.

Após esperar-se aproximadamente 24 horas para tirar os *pavers* das fôrmas, próximo passo foi escrever sua respectiva composição na parte superior do bloco e colocá-las na câmara úmida, onde os mesmos iriam ficar submersos na água durante os dias de cura propostos (3, 7, 14 e 28 dias).

Segundo Bresolin (2016), fazer o processo de cura do concreto através de câmara úmida com o concreto submerso em água auxilia no ganho de desempenho (resistência) do concreto. Pensando nisto, todos os 96 blocos fabricado para utilização desta pesquisa foram curados submersamente, locado nas câmaras úmidas.

### **3.7 TRATAMENTO DO VIDRO**

A caracterização do vidro foi umas das partes mais complexas do presente trabalho. Para fazer a caracterização foi necessária toda uma gama de preparação do material, desde a lavagem até o peneiramento final para obtenção do pó. Para obtenção de um pó de vidro de qualidade para ser usado como aditivo, foi necessário fazer a moagem do mesmo diversas vezes e em seguida passar por uma série de peneiras. Primeiramente, o pó foi lavado para retirada de qualquer tipo de substância anormal e sujeiras. Depois houve a quebra do material, foi utilizado uma marreta para realizar tal ação. Logo em seguida houve a moagem, na qual foi usado a máquina moinho de bola, localizado no Laboratório de Minas na CEULP/ULBRA. O mesmo funciona de uma forma eficiente. É colocado aproximadamente 8kg do material quebrado, juntamente com bolas de ferro (elas que realizam a moagem do material) e liga-se a máquina. Ela trabalhará por volta de 20 minutos, o seu movimento faz-se com que as bolas e o vidro entre em choque, moendo assim, o material.

Antes da quebra e da moagem, o material foi colado em uma caixa de papelão para fazer-se a pesagem. Foi pesado ao todo 25,75kg de vidro. Então esta foi a disposição de vidro para realizar esta pesquisa.

Figura 14 – Moinho de bola



Fonte: Autor (2019)

Foram necessárias, ao todo, 13 passagens do vidro no moinho de bola. Valor alto devido a necessidade de se moer a mesma leva de material várias vezes para obter um maior aproveitamento. Primeiramente foi passado os primeiros 8kg de material na máquina, esperado aproximadamente 20 minutos e depois retirado da máquina. Foi feita essa primeira moagem com todos os 25,75kg de material. Após ter passado todo o material, foi feito o peneiramento, primeiramente em uma peneira intermediária, do tipo convencional para areia de malha 8 (segundo fabricante), para separar o que já virou pó (pré-preparado e já pronto) de pedaços de vidro ainda não moído totalmente. Depois da separação, repetir o procedimento. Com isso, a cada moída ia-se aumentando o número de materiais finos e diminuindo o de materiais grossos. Foram necessários 13 moídas ao todo para ter-se uma quantidade considerável de pó de vidro.

Notou-se que os fundos das garrafas não são moídos, devido a sua espessura ser maior que as suas laterais. Portanto, ficou-se uma mistura com várias granulometrias diferentes, contendo materiais de variadas formas e tamanhos. Então primeiramente foi passado todo o material na peneira de 9,5mm, que é uma peneira mais grossa para separar esses vidros fundo de garrafa e descartá-los. Em seguida foi passado na peneira de 150 *microns* (0,15mm) para separar o pó utilizado no concreto do pó mais grosso que foi guardado para eventuais necessidades posteriores.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A caracterização dos materiais serviu como base para realização da dosagem do concreto. Para realizar o traço, foi-se necessário achar uma gama de valores, como por exemplo: massa específica dos agregados, massa unitária, diâmetro máximo do agregado graúdo e assim por diante. Para tal, foi-se necessário estudar os agregados para achar tais valores.

A seguir tem-se uma tabela geral de massas e valores encontrados caracterizando os materiais utilizados nesse trabalho.

Tabela 7 – Quadro geral de caracterização

DESCRIÇÃO	MASSA UNITÁRIA (kg/m <sup>3</sup> )	MASSA ESPECÍFICA (g/cm <sup>3</sup> )	MÓDULO DE FINURA	Ø <sub>máx</sub> (mm)	RETIDO PENEIRA #150 (Kg)	INÍCIO DE PEGA	FIM DE PEGA
AREIA	1658,15	2,65	2,40	-	-	-	-
BRITA	1473,5	2,67	-	25	-	-	-
PÓ DE VIDRO	-	2,51	-	-	6,80	-	-
CIMENTO	-	3,01	2,1	-	-	2h50min	3h35min

Fonte: Autor (2019)

#### 4.1.1 Agregado Miúdo

O estudo do agregado miúdo (areia) foi composto por três partes:

- Compra do material;
- Secagem;
- Aplicação das normas para a as devidas caracterizações.

Portanto, para fazer os testes citados no capítulo 3.4.2, foram necessárias preparações prévias.

Segue o quadro com os resultados e caracterizações:

Tabela 8 – Massa específica agregado miúdo

MASSA ESPECÍFICA - ABNT NBR 6508:1984			
Picnômetro N°	#	1	2
Massa Picnômetro+Brita+Água, T°C de Ensaio	(g)	1328,30	1328,40
Massa Picnômetro Cheio de Água	(g)	1203,80	1203,80
Temperatura de Ensaio	(°C)	24	24
Massa Material Seco	(g)	200,00	200,00
Massa Específica da Água, T°C de Ensaio	(g/cm <sup>3</sup> )	0,9981	0,9981
Massa Específica	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,65</b>	<b>2,65</b>
Massa Específica Média	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,65</b>	

Fonte: Autor (2019)

Chegou-se então a massa específica da areia que foi de 2,65 g/cm<sup>3</sup>.

Figura 15 – Agregado miúdo sendo caracterizado



Fonte: Autor (2019)

Quanto á granulometria, foi seguido a norma pertinente citada no capítulo 3.4.2. A partir dos valores encontrados neste teste foi extraído os valores do módulo de finura, diâmetro máximo, tal como a curva granulométrica do agregado. A seguir há o quadro com os resultados:

Tabela 9 – Granulometria agregado miúdo

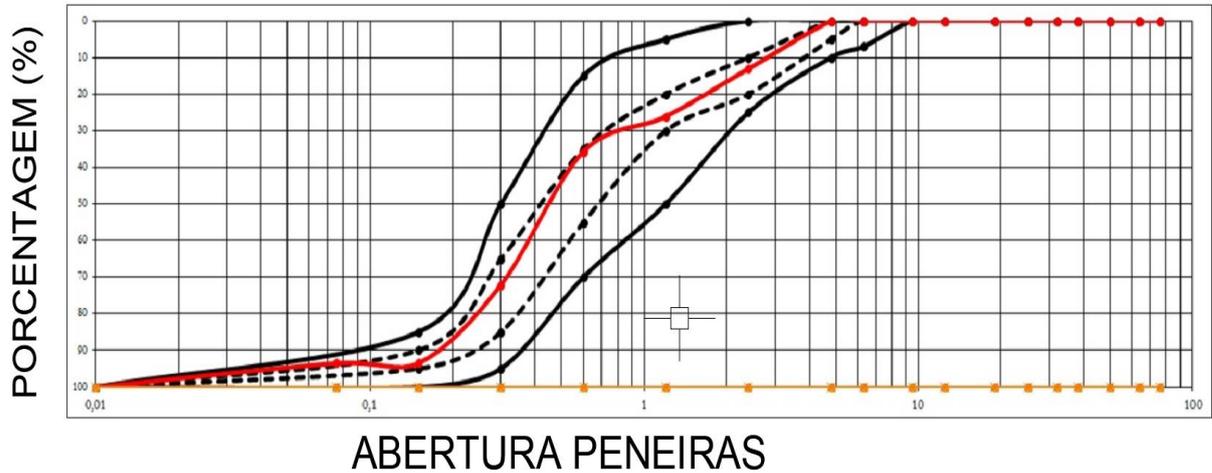
<b>Composição Granulométrica da Areia Natural</b>						
1º Amostra			2º Amostra		% Retida	% Retida
Peneiras	Massa Retida (g)	% Retido	Massa Retida (kg)	% Retido	Média	Acumulado
4,8	0,40	0,08	0,40	0,08	0,08	0,07
2,4	64,90	12,98	64,80	12,96	12,97	13,04
1,2	65,20	13,04	65,50	13,10	13,07	26,11
0,6	48,00	9,60	47,90	9,58	9,59	35,70
0,3	182,10	36,42	181,80	36,36	36,39	72,09
0,15	107,20	21,44	106,40	21,28	21,36	93,45
Fundo	32,20	6,44	33,20	6,64	6,54	99,99
TOTAL	500,00	100	500,00	100	100	
Diâmetro Máximo	<b>4,8 mm</b>		Módulo de finura		<b>2,40</b>	

Fonte: Autor (2019)

Com esses valores, logo após de ter passado 500g de agregado miúdo seco nas peneiras de 4,8mm; 2,4mm; 1,2mm; 0,6mm; 0,3mm; 0,15mm e fundo, obtivemos a curva

granulométrica que representa tal material. Foi usado tais valores para realizar a dosagem do concreto seguindo o método ABCP/ACI.

Figura 16 – Curva granulométrica agregado miúdo



Fonte: Autor (2019)

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

Tabela 10 – Massa unitária agregado miúdo

Areia (kg)	Volume Padiola (m <sup>3</sup> )	Massa Unitária	Unidade
1,6584	0,001	1658,4	kg/m <sup>3</sup>
1,6579	0,001	1657,9	kg/m <sup>3</sup>
<b>MÉDIA</b>		<b>1658,15</b>	kg/m <sup>3</sup>

Fonte: Autor (2019)

A seguir será demonstrado a tabela geral, onde contém valores de todos os ensaios de caracterização do material realizados:

Tabela 11 – Tabela geral agregado miúdo

ENSAIOS	RESULTADOS
M. Específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,65
M. Unitária (kg/m <sup>3</sup> )	1658,15
Mód. Finura	2,4
Diâmetro máximo (mm)	-

Fonte: Autor (2019)

#### 4.1.2 Agregado Graúdo

Quanto ao agregado graúdo foi escolhido brita 01, ou seja, aquela com diâmetro entre 9,5 e 19mm. Para as caracterizações foram usadas as normas conforme o capítulo 3.4.3. A seguir os resultados:

Tabela 12 – Massa específica agregado graúdo

<b>MASSA ESPECÍFICA AGREGADO GRAÚDO</b>			
<b>Picnômetro N°</b>	<b>#</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Massa Picnômetro + Brita + Água, T° C de Ensaio</b>	<b>(g)</b>	1326,00	1326,00
<b>Massa Picnômetro Cheio de Água</b>	<b>(g)</b>	1201,00	1201,00
<b>Temperatura de Ensaio</b>	<b>(°C)</b>	24	24
<b>Massa Material Seco</b>	<b>(g)</b>	200,00	200,00
<b>Massa Específica da Água, T° C de Ensaio</b>	<b>(g/cm³)</b>	0,9981	0,9981
<b>Massa Específica</b>	<b>(g/cm³)</b>	<b>2,67</b>	<b>2,67</b>
<b>Massa Específica Média</b>	<b>(g/cm³)</b>	<b>2,67</b>	

Fonte: Autor (2019)

Foi obtido uma massa específica do agregado graúdo de 2,67g/cm³, este será usado para a dosagem do concreto conforme especificações no capítulo 3.5.1.

Na granulometria, foi usado diferentes peneiras, com específicas aberturas: 25mm; 19mm; 12,5mm; 9,5mm; 6,3mm; 4,8mm; 2,36mm; 1,16mm; 0,6mm e o fundo. Através da análise granulométrica foi-se possível obter o módulo de finura e o diâmetro máximo característico.

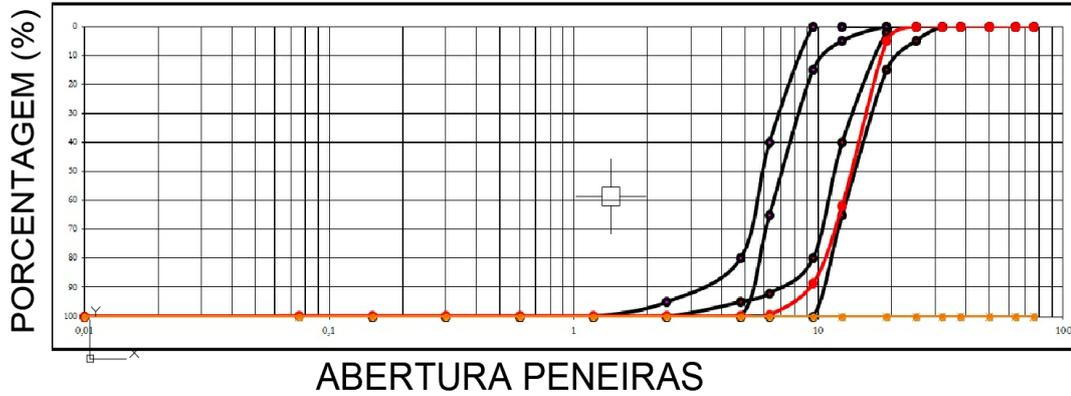
Tabela 13 – Composição granulométrica brita

<b>Composição Granulométrica Agregado Graúdo - Brita</b>						
	<b>1º Amostra</b>		<b>2º Amostra</b>		<b>% Retida</b>	<b>% Retida</b>
<b>Peneiras</b>	<b>Massa Retida (g)</b>	<b>% Retido</b>	<b>Massa Retida (g)</b>	<b>% Retido</b>	<b>Média</b>	<b>Acumulado</b>
25	2,0	<b>0,04</b>	2,0	<b>0,04</b>	0,00	0
19	255,0	<b>5,10</b>	253,0	<b>5,06</b>	5,08	5,08
12,5	2833,0	<b>56,65</b>	2835,0	<b>56,7</b>	56,67	61,75
9,5	1341,0	<b>26,81</b>	1340,0	<b>26,8</b>	26,81	88,56
6,3	541,0	<b>10,82</b>	544,0	<b>10,88</b>	10,85	99,41
4,8	23,0	<b>0,46</b>	21,0	<b>0,42</b>	0,44	99,85
2,36	2,0	<b>0,04</b>	2,0	<b>0,04</b>	0,04	99,89
1,16	0,0	<b>0,00</b>	0,0	<b>0</b>	0,00	99,89
600	0,0	<b>0,00</b>	0,0	<b>0</b>	0,00	99,89
fundo	4,00	<b>0,08</b>	3,00	<b>0,06</b>	0,07	99,96
<b>TOTAL</b>	<b>5.001,00</b>	<b>100</b>	<b>5.000,00</b>	<b>100</b>	<b>100,00</b>	
<b>Diâmetro Máximo</b>	<b>25 mm</b>		<b>Módulo de finura</b>			<b>6,54</b>

Fonte: Autor (2019)

Chegou-se aos resultados: Diâmetro máximo característico 25mm, módulo de finura 6,54, além da curva granulométrica exposta a seguir.

Figura 17 – Curva granulométrica agregado graúdo



Fonte: Autor (2019)

Seguindo o mesmo roteiro da massa unitária do agregado miúdo, foi feito também a massa unitária do agregado graúdo, na qual foi feita uma relação do peso com o volume do agregado em uma padiola.

Tabela 14 – Massa unitária agregado graúdo

Brita (kg)	Volume Padiola (m <sup>3</sup> )	Massa Unitária	Unidade
1,475	0,001	1475	kg/m <sup>3</sup>
1,472	0,001	1472	kg/m <sup>3</sup>
MÉDIA		<b>1473,5</b>	kg/m <sup>3</sup>

Fonte: Autor (2019)

Figura 18 – Teste massa unitária agregado graúdo



Fonte: Autor (2019)

A seguir será demonstrada a tabela geral, onde contém valores de todos os ensaios de caracterização do material realizados:

Tabela 15 – Tabela geral agregado graúdo

ENSAIOS	RESULTADOS
M. Específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,67
M. Unitária (kg/m <sup>3</sup> )	1473,5
Mód. Finura	-
Diâmetro máximo (mm)	25

Fonte: Autor (2019)

#### 4.1.3 Cimento

O cimento utilizado foi o cimento Goiás CP II F-40. Cimento este que teve boa avaliação de alguns profissionais de Palmas e apresentava-se em um preço acessível. Os testes realizados foram o de Início e Fim de pega, o módulo de finura e a massa específica. Todos estes conforme as normas apresentadas no capítulo 3.4.1.

A massa específica, seguindo a ABNT NBR NM 23:2001, foi de 3009 kg/m<sup>3</sup>. Já o início e fim de pega, de acordo com a ABNT NBR NM 65:2003 será exposto a seguir:

Tabela 16 – Início e fim de pega cimento

ABNT NBR NM 65 - TEMPO DE PEGA	RESULTADOS
MASSA H <sub>2</sub> O	120g
INÍCIO	2h50min
FIM	3h35min

Fonte: Autor (2019)

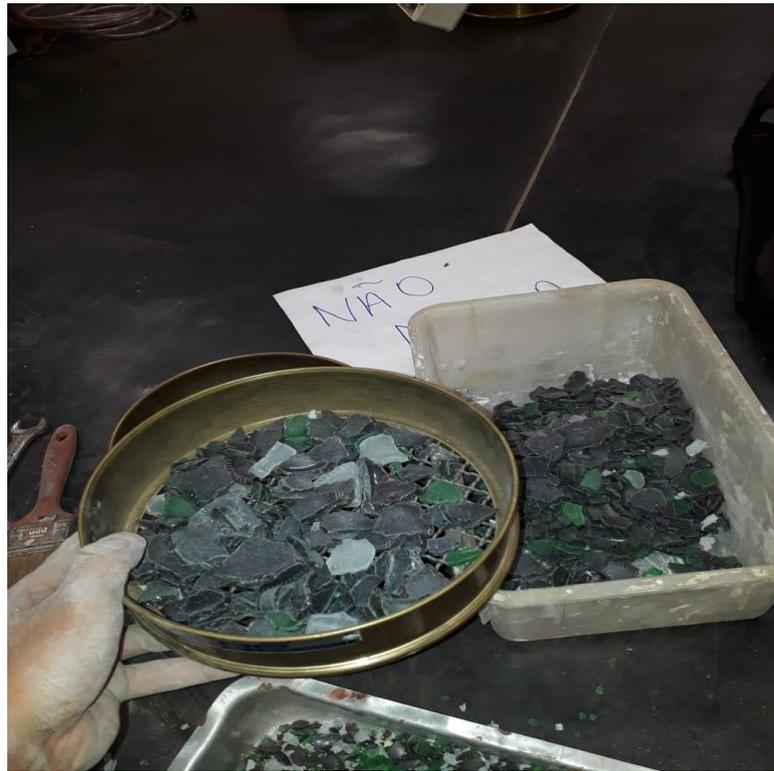
Foi obtido também o módulo de finura do cimento, de acordo com ABNT NBR NM 11579:1991, na qual foi chegado ao resultado de 2,1 (valor este que é adimensional).

#### 4.1.4 Vidro

Quanto os resultados obtidos no tratamento do vidro foram só o peso total deles, já demonstrado no tópico 3.7, além do peneiramento feito, que serve como um tipo de granulometria do material, tal como foi realizado a massa específica do pó de vidro pronto.

A seguir serão demonstradas fotos do vidro pré e pós moagem:

Figura 19 – Vidro descartado



Fonte: Autor (2019)

Na figura á cima têm-se o vidro descartado pós moagem. Esses pedaços maiores de vidro são do fundo das garrafas, partes que não são moídas facilmente, portanto, foram descartadas.

Figura 20 – Moagem do pó de vidro

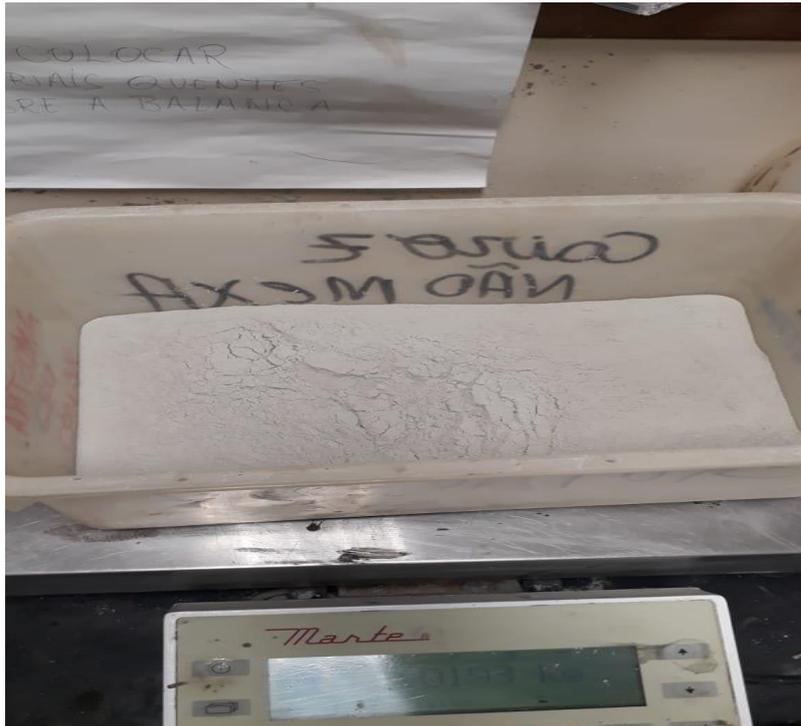


Fonte: Autor (2019)

A figura 20 mostra o vidro sendo moído no moinho de bolas, após esse procedimento faz o peneiramento e se necessário realiza-se outra moagem para não houver tanto desperdício de material.

O resultado do peneiramento será demonstrado a seguir. O material utilizado é o material passante na peneira 0,15 mm.

Figura 21 – Pó de vidro utilizado



Fonte: Autor (2019)

A seguir será demonstrado as medidas encontradas após o peneiramento do material.

Tabela 17 – Granulometria Vidro

<b>Granulometria Vidro</b>	
Peneira Nº	MATERIAL RETIDO (kg)
9,5	3,13
0,15	15,82
Fundo 0,15	<b>6,80</b>

Fonte: Autor (2019)

Ao todo, no final da moagem e peneiramento, obteve-se 6,80kg de pó passante da peneira 0,15mm que seria utilizado para objeto de estudo nos *pavers*. Material este que trabalhou como fino e foi adicionado na composição do concreto.

Para estudo do vidro foi feito a massa específica do mesmo, utilizando a mesma metodologia do agregado miúdo. A seguir mostra-se a tabela correspondente a massa específica do aditivo.

Tabela 18 – Massa específica Vidro

<b>MASSA ESPECÍFICA</b>			
<b>Picnômetro N°</b>	<b>#</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Massa Picnômetro+Brita+Água, T°C de Ensaio</b>	<b>(g)</b>	657,20	657,30
<b>Massa Picnômetro Cheio de Água</b>	<b>(g)</b>	627,20	627,20
<b>Temperatura de Ensaio</b>	<b>(°C)</b>	24	24
<b>Massa Material Seco</b>	<b>(g)</b>	50,00	50,00
<b>Massa Específica da Água, T°C de Ensaio</b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	0,9981	0,9981
<b>Massa Específica</b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2,50</b>	<b>2,51</b>
<b>Massa Específica Média</b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2,51</b>	

Fonte: Autor (2019)

A realização deste ensaio foi-se necessária para ter-se as configurações do vidro, e poder ter, assim, um maior conhecimento sobre o material. A massa específica do vidro foi feita através da utilização do picnômetro, ou seja, utilizou-se o mesmo ensaio do agregado miúdo.

Figura 22 – Picnômetro com pó de vidro



Fonte: Autor (2019)

Como a etapa de preparação do material foi uma das mais complexas desta pesquisa, a seguir será demonstrado um fluxograma que demonstra a sequência de tratamentos que foram feitos no vidro.

## 4.2 DOSAGEM DO CONCRETO

A dosagem do concreto seguiu o proposto no capítulo 3.5 e os cálculos realizados seguem conforme o apêndice A. A seguir será demonstrado a tabela realizada com a dosagem

para cada tratamento (5,10 e 20% de adição) e suas respectivas correções. Lembrando que foram utilizados para dosagem um fck de 35 Mpa e fcj28 de 41,6 MPa.

Tabela 19 – Dosagem do concreto

	CIMENTO	AREIA	BRITA	PÓ DE VIDRO	ÁGUA	ADITIVO	ABATIMENTO
<b>Ref (kg/m<sup>3</sup>)</b>	355,66	1000,24	921,20	0,00	145,00	<b>0,43%</b>	100 mm
<b>Unitário</b>	<b>1,00</b>	<b>2,83</b>	<b>2,60</b>	<b>0,00</b>	<b>0,41</b>		
<b>5% (kg/m<sup>3</sup>)</b>	390,24	928,27	921,20	19,51	160,00	<b>0,63%</b>	80mm
<b>Unitário</b>	<b>1,00</b>	<b>2,38</b>	<b>2,36</b>	<b>0,05</b>	<b>0,41</b>		
<b>10% (kg/m<sup>3</sup>)</b>	402,44	904,28	921,20	40,24	165,00	<b>0,63%</b>	80mm
<b>Unitário</b>	<b>1,00</b>	<b>2,25</b>	<b>2,29</b>	<b>0,10</b>	<b>0,41</b>	<b>0,63%</b>	80mm
<b>20% (kg/m<sup>3</sup>)</b>	402,44	904,28	921,20	80,49	165,00	<b>2%</b>	82mm
<b>Unitário</b>	<b>1,00</b>	<b>2,25</b>	<b>2,29</b>	<b>0,20</b>	<b>0,41</b>		

Fonte: Autor (2019)

Além do traço referência, foram feitos os traços com adições de pó de vidro, e para obter-se o abatimento de  $10 \pm 2$  cm, foi-se necessário fazer correções no traço, devido a quantidade de finos adicionado e a não “mesclagem” do concreto na betoneira.

Foi-se necessário fazer a correção do traço referência, devido ao *slump* máximo não ser adequado. Então, através do traço referência corrigido que se fez os traços com adições vítreas. A baixo tem-se a figura do concreto com 20% de adição de pó de vidro sem a correção necessária.

Figura 23 – Concreto sem ajuste com 20% de adição



Fonte: Autor (2019)

Notou-se que utilizando o traço referência adicionando-se 20% de pó de vidro não havia concreto, pois, o agregado graúdo não grudava na pasta de concreto. Portanto, foi necessário a realização do ajuste de traço. Foi modificado então a quantidade de água, lembrando sempre de

manter constante o fator água/cimento e aumentado a quantidade de aditivo superplastificante para podermos obter um valor aceitável de abatimento.

#### 4.2.1 Propriedades do concreto fresco

Neste trabalho foi feito o estudo do concreto fresco quanto seu abatimento (*Slump Test*). Nesta pesquisa foi fixado um abatimento de 100 +-20mm. Que de acordo com Tennis *et.al.* (2004) é um valor aceitável para o tipo de concreto e sua utilização.

Tabela 20 – Abatimentos utilizados

	REF	REF +5%	REF + 10%	REF + 20%
ABATIMENTO	100mm	80mm	80mm	82mm

Fonte: Autor (2019)

Tendo então os traços prontos e seus devidos ajustes, restou a confecção dos corpos de prova.

#### 4.3 CONFECÇÃO DOS PAVERS

A confecção dos blocos seguiu como dito no tópico 3.6. Para isto, foram necessárias a utilização de fôrmas untadas com óleo para a moldagem dos *pavers*. Foram utilizadas 6 fôrmas por vez, e cada uma poderia moldar 4 blocos por vez, ou seja, os blocos foram produzidos de 24 em 24 blocos, número este, compatível com a quantidade de blocos produzidos por porcentagem, levando em consideração que eram feitos 4 blocos para cada idade e porcentagem, ou seja, para o TR eram feitos 24 blocos (6 para 3 dias, 6 para 7, 6 para 14 e 6 para 28 dias), e assim por diante.

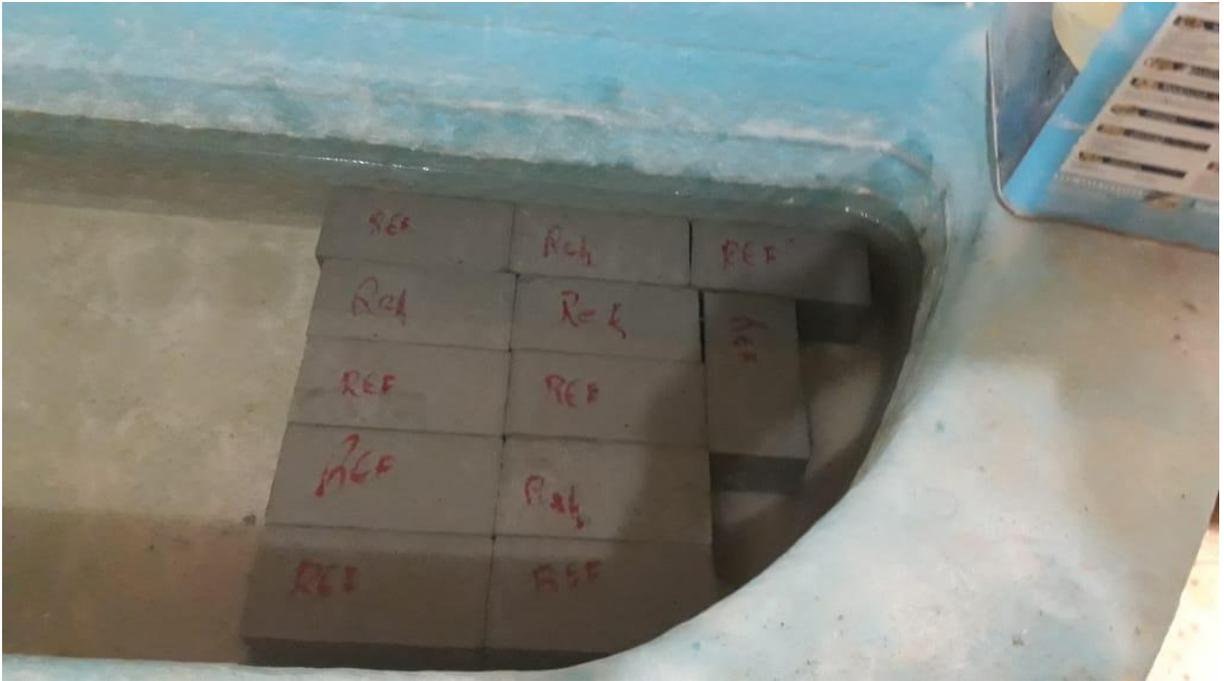
Figura 24 – Fôrmas para os *pavers*



Fonte: Autor (2019)

A seguir mostra-se o processo de cura dos *pavers* produzido na qual não há adição de pó de vidro (TR – Traço Referência).

Figura 25 – Cura traço referência



Fonte: Autor (2019)

Realizado então a fabricação do concreto, a moldagem, “desfôrma” e cura, foram estudadas as características do concreto com e sem adição de pó de vidro, conforme explicitado nos objetivos desta pesquisa.

#### 4.4 CRONOGRAMA DE AÇÕES

Para a realização das ações necessárias para que atingisse os objetivos propostos no trabalho, foram necessárias a realização de cronograma e planejamento, pois como são vários *pavers* a serem fabricados com variados tipos de tratamento, foram necessários organização para realização dos mesmo para serem realizados nos devidos tempos e cronogramas pré-planejados. Seguiu-se a seguinte ordem para cada tratamento:

- 1° Rodagem
- 2° Desforma
- 3° Ensaio de compressão 3 dias
- 4° Ensaio de compressão 7 dias
- 5° Ensaio de compressão 14 dias
- 6° Ensaio de compressão 28 dias / Inspeção Visual / Estudo dimensional

Assim, obteve-se o seguinte cronograma:

Quadro 4 – Cronograma de serviços

<b>CRONOGRAMA SERVIÇOS</b>				
<b>DATAS</b>	<b>TRAÇO REFERÊNCIA</b>	<b>TR + 5%</b>	<b>TR +10%</b>	<b>TR +20%</b>
13/fev	Rodagem			
14/fev	Desforma			
15/fev				Rodagem
16/fev	Comp. 3 dias	Rodagem		Desforma
18/fev		Desforma	Rodagem	Comp. 3 dias
19/fev		Comp. 3 dias	Desforma	
20/fev	Comp. 7 dias			
21/fev			Comp. 3 dias	
22/fev				Comp. 7 dias
23/fev		Comp. 7 dias		
25/fev			Comp. 7 dias	
27/fev	Comp. 14 dias			
01/mar				Comp. 14 dias
02/mar		Comp. 14 dias		
04/mar			Comp. 14 dias	
14/mar*	Comp. 28 dias			
15/mar*				Comp. 28 dias
16/mar*		Comp. 28 dias		
18/mar*			Comp. 28 dias	
* - Dias onde também foram feitos os testes de inspeção visual e dimensional.				

Fonte: Autor (2019)

Conclui-se que foram necessários aproximadamente 60 dias para a completa realização da parte prática deste trabalho, desde a primeira rodagem do concreto até o último ensaio.

#### 4.5 ESTUDO DIMENSIONAL

Foi feito o estudo dimensional das peças de concreto intertravado, tanto o traço referência, quanto os demais traços. Estudo feito para poder-se saber se as dimensões estão de acordo com o proposto no trabalho e não haver erros na hora da realização do ensaio de compressão.

De acordo com proposto de trabalho, os *pavers* teriam dimensões de 10cm de largura por 6cm de altura por 20cm de comprimento, valores estes bastantes utilizados em pavimentação com intertravados. Foi seguido a norma ABNT NBR 9781:2013 para realização dos ensaios de estudo dimensionais, na qual a norma dita uma tolerância de apenas 3mm para mais ou para menos das medidas dos blocos de concreto intertravado propostas previamente tanto em estudos quanto em vendas.

Figura 26 – Tolerância dimensional *pavers*

Dimensões em milímetros

Comprimento	Largura	Espessura
±3	±3	±3

Fonte: ABNT NBR 9178:2013

Para todos os tratamentos e todas as idades obteve-se resultados satisfatórios, seguindo a ABNT NBR 9178:2013, houve em alguns blocos, como por exemplo nos blocos de 3 (três) com porcentagem de 10 e 20% e nos blocos de 14 dias do traço referência, em que houve leve diferença das medidas reais – 100mm, 200mm e 60mm – largura, comprimento e espessura respectivamente, mas todos dentro do limite da norma. Então, pode-se concluir, que não há diferenciação de dimensões quando se fala nas porcentagens de adição de pó de vidro no concreto, tendo em vista que todos os blocos serão padrões devido as dimensões da fôrma usada para confecção dos blocos.

A seguir têm-se na figura 27 uma demonstração de como foram feitas as medidas para determinação de tal tópico. O modelo utilizado seguiu essa norma para todas as dimensões (comprimento, espessura e largura), com isso, foi possível ter-se a conclusão deste tópico.

Figura 27 – Análise dimensional



Fonte: Autor (2019)

#### 4.6 INSPEÇÃO VISUAL

Ensaio realizado com intuito de identificar defeitos nas peças, na qual, estes defeitos podem afetar no assentamento das peças, dificultando assim o intertravamento. A análise feita foi também para analisar a homogeneidade dos *pavers*, arestas regulares, tal como analisar se os blocos continham rebarbas, se os mesmos tinham ângulos retos ou delaminação e descamação.

Foram separados 6 corpos de prova de cada tratamento (traço referência, 5%, 10% e 20%) para fazer a inspeção visual, seguindo assim a norma pertinente, a ABNT NBR 9718:2013, onde auxilia tal ensaio. Foi feito a análise individual de cada bloco, onde foi visto minuciosamente cada detalhe de possível defeito na peça.

Os resultados foram satisfatórios, onde mostrou-se que independente da adição de pó de vidro feito no concreto, os aspectos físicos mantiveram-se iguais, mas lembrando sempre que foram necessários ajustes no traço para que fosse possível a produção do concreto satisfatório. Não houve rebarbas, delaminação, descamação, e as arestas eram retas e regulares.

Figura 28 – Inspeção visual nos corpos de prova



Fonte: Autor (2019)

#### **4.7 ANÁLISE DA DETERMINAÇÃO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA**

O teste de absorção de água por imersão tem como propósito figurar o comportamento dos *pavers* em contato com a água e apresentados em condições climáticas de precipitações (chuvas), lavagem ou algum outro fator que exponha os mesmos a condições de saturação de água.

Segundo a ABNT NBR 9781:2013, os blocos de concreto intertravado devem apresentar um valor médio de absorção de água menor ou igual a 6,0%, na qual não se admite valor médio individual maior de 7,0%. No caso de ter-se valor médio maior que 7,0% conforme a norma o bloco fica com sua resistência a compressão comprometida, podendo causar assim danos aos usuários.

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

Para tal teste foram produzidos 3 blocos de concreto intertravado, de dimensões já expostas anteriormente, para cada tratamento (TR, 5%, 10%, 20%), totalizando assim 12 blocos produzidos para o ensaio de absorção de água. Os resultados com as absorções médias e individuais de cada tratamento será específica nos quadros e figuras a seguir.

#### 4.7.1 Absorção geral

Na figura 29 e na tabela 21 serão demonstrados em âmbito geral as absorções encontradas nos 12 blocos analisados, contendo massa saturada, massa seca e absorções médias encontradas.

Tabela 21 – Absorções gerais

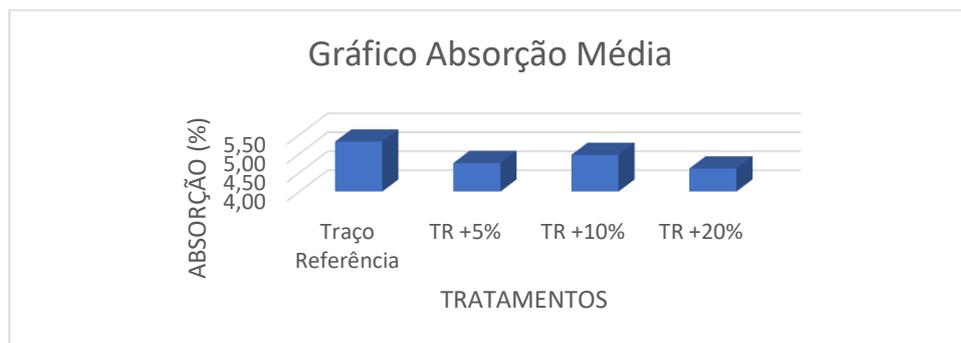
TRATAMENTOS	Nº de Amostras	Peso saturado médio (g)	Peso seco médio (g)	Absorção (%)	Valor recomendado ABNT NBR 9781:2013
Traço Referência	3	2666,90	2532,27	5,32	6%
TR +5%	3	2735,47	2611,40	4,75	
TR +10%	3	2703,00	2575,10	4,97	
TR +20%	3	2701,40	2582,47	4,61	

Fonte: Autor (2019)

Notou-se que a adição de pó de vidro fez com que o concreto fosse menos permeável, ou seja, o pó de vidro fez com que a água penetre menos dentro do bloco, podendo prevenir assim, contra futuras patologia que a água pode trazer para o pavimento intertravado. Como o foco deste trabalho não é pavimento drenante, então, o resultado foi satisfatório, tendo em vista que atendeu o que dita a norma ABNT NBR 9781:2013, na qual o valor recomendado de absorção de blocos de concreto intertravado deve ser inferior ou igual a 7%.

A seguir tem-se o gráfico referente a tabela exposta anteriormente:

Figura 29 – Gráfico absorção média geral



Fonte: Autor (2019)

#### 4.7.2 Absorção traço referência

Será demonstrado a seguir a massa dos três blocos do traço referência utilizados para a determinação da absorção dos mesmos, tais como o desvio padrão, taxa de variação e a absorção dos blocos em porcentagem.

Tabela 22 – Absorção traço referência

	<b>BLOCO 1</b>	<b>BLOCO 2</b>	<b>BLOCO 3</b>	<b>Sd (adm)</b>	<b>Tx. Var. (%)</b>	<b>MÉDIA</b>
MASSA SATURADA (g)	2672,3	2689,5	2638,9	25,73	0,9647	2666,90
MASSA SECA (g)	2540,7	2554,3	2501,8	27,25	1,076	2532,27
RESULTADO ABSORÇÃO (%)	5,18	5,29	5,48	-	-	<b>5,32</b>

Fonte: Autor (2019)

Conclui-se que a absorção do traço referência +5% deram satisfatória, atendendo a norma ABNT NBR 9781:2013. Quanto a taxa de variação, a amostra classifica-se como uma amostra com baixa dispersão de dados, isso significa que os dados coletados/amostras são homogêneos.

#### 4.7.3 Absorção traço referência +5%

Será demonstrado a seguir a massa dos três blocos com adição de 5% de pó de vidro utilizados para a determinação da absorção dos mesmos, tais como o desvio padrão, taxa de variação e a absorção dos blocos em porcentagem.

Tabela 23 – Absorção traço referencia +5%

	<b>BLOCO 1</b>	<b>BLOCO 2</b>	<b>BLOCO 3</b>	<b>Sd (adm)</b>	<b>Tx. Var (%)</b>	<b>MÉDIA</b>
MASSA SATURADA (g)	2759,1	2701,0	2746,3	30,53	1,17	2735,47
MASSA SECA (g)	2634,8	2583,1	2616,3	26,20	1,00	2611,40
RESULTADO ABSORÇÃO (%)	4,72	4,56	4,97	-	-	<b>4,75%</b>

Fonte: Autor (2019)

Conclui-se que a absorção do traço referência +5% deram satisfatória, atendendo a norma ABNT NBR 9781:2013. Quanto a taxa de variação, a amostra classifica-se como uma amostra com baixa dispersão de dados, isso significa que os dados coletados/amostras são homogêneos.

#### 4.7.3 Absorção traço referência +10%

Será demonstrado a seguir a massa dos três blocos com adição de 10% de pó de vidro utilizados para a determinação da absorção dos mesmos, tais como o desvio padrão, taxa de variação e a absorção dos blocos em porcentagem.

Tabela 24 – Absorção traço referencia +10%

	<b>BLOCO 1</b>	<b>BLOCO 2</b>	<b>BLOCO 3</b>	<b>Sd (adm)</b>	<b>Tx. Var (%)</b>	<b>MÉDIA</b>
MASSA SATURADA (g)	2723,3	2719,3	2666,4	31,76	1,18	2703,00
MASSA SECA (g)	2596,5	2592,7	2536,1	33,83	1,31	2575,10
RESULTADO ABSORÇÃO (%)	4,88	4,88	5,14	-	-	<b>4,97%</b>

Fonte: Autor (2019)

Conclui-se que a absorção do traço referência +5% deram satisfatória, atendendo a norma ABNT NBR 9781:2013. Quanto a taxa de variação, a amostra classifica-se como uma amostra com baixa dispersão de dados, isso significa que os dados coletados/amostras são homogêneos.

#### 4.7.4 Absorção traço referência +20%

Será demonstrado a seguir a massa dos três blocos com adição de 20% de pó de vidro utilizados para a determinação da absorção dos mesmos, tais como o desvio padrão, taxa de variação e a absorção dos blocos em porcentagem.

Tabela 25 – Absorção traço referencia +20%

	<b>BLOCO 1</b>	<b>BLOCO 2</b>	<b>BLOCO 3</b>	<b>Sd (adm)</b>	<b>Tx. Var (%)</b>	<b>MÉDIA</b>
MASSA SATURADA (g)	2695,8	2645,6	2762,8	58,80	2,18	2701,40
MASSA SECA (g)	2580,1	2523,5	2643,8	60,18	2,33	2582,47
RESULTADO ABSORÇÃO (%)	4,48	4,84	4,50	-	-	<b>4,61</b>

Fonte: Autor (2019)

Conclui-se que a absorção do traço referência +5% deram satisfatória, atendendo a norma ABNT NBR 9781:2013. Quanto a taxa de variação, a amostra classifica-se como uma amostra com baixa dispersão de dados, isso significa que os dados coletados/amostras são homogêneos.

#### **4.8 ANÁLISE DA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO**

Os ensaios realizados para determinação da resistência à compressão foram feitos com quatro idades distintas, idealizadas assim para analisarmos como trabalha a resistência do concreto com o passar dos dias. As quatro idades foram: 3 dias, 7 dias, 14 dias e 28 dias. Segundo dita a ABNT NBR 9781:2013 para atender o tráfego leve de veículos, o bloco de pavimento intertravado deve atingir a resistência de 35 MPa aos 28 dias. De acordo com que preconiza esta norma, pavers ensaiados com idades superiores a 28 dias devem ser realizados uma simples multiplicação na sua resistência final para serem avaliados como blocos válidos para a realização de tal pavimentação ou não. Deve-se multiplicar o valor da resistência a compressão dito na prensa por 0,8 (80%), se atingido o valor de 35 MPa, aquele bloco é considerado válido para a colocação do mesmo em pavimentos intertravados com finalidade de atender o tráfego leve de veículos.

O ensaio foi realizado no laboratório da CEULP/ULBRA na qual foi utilizado a prensa de compressão EMIC PC 200, como segue a figura 30.

Para a realização de tal ensaio foram fabricados 6 (seis) blocos de pavimento intertravado de concreto para cada tipo de tratamento, totalizando 24 blocos para cada idade e 96 blocos para o teste de compressão axial. Os resultados médios obtidos no estudo serão demonstrados a seguir.

Figura 30 – Prensa EMIC



Fonte: Autor (2019)

A seguir será demonstrado através de gráfico e tabela o resumo das cargas de rupturas e idades dos 96 (noventa e seis) blocos ensaiados. O gráfico é comparativo, onde, através dele, será possível ter uma noção de ganho de resistência conforme as idades, além, claro, de analisar as diferenciações de resistência à compressão conforme o teor de pó de vidro utilizado no concreto.

Tabela 26– Tabela geral resistência à compressão

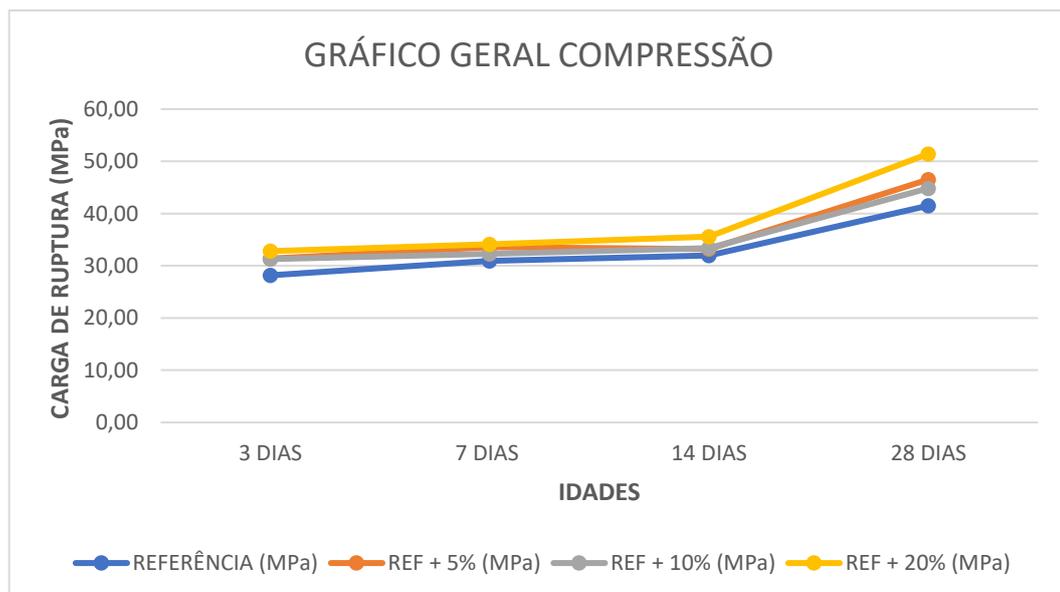
TEORES/IDADES	3 DIAS	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS	RESISTÊNCIA MÍNIMA SEGUNDO A ABNT NBR 9781:2013
REFERÊNCIA (MPa)	28,18	30,95	31,98	41,51	
REF + 5% (MPa)	31,38	33,54	33,17	46,52	
REF + 10% (MPa)	31,28	32,3	33,38	44,84	
REF + 20% (MPa)	32,81	34,09	35,58	51,44	

\* - Valores de 3,7 e 14 dias já multiplicados pelo valor previsto pela norma ABNT NBR 9781:2013 (0,8)

Fonte: Autor (2019)

Percebe-se que, como o cimento utilizado é CP II, o patamar de resistência mais elevada vem ao longo dos dias e não nos primeiros dias de cura como acontece com o cimento CP V ARI.

Figura 31 – Gráfico geral de compressão



Fonte: Autor (2019)

Nota-se através da figura 31 que o teor que ficou mais estático, ou seja, aquele que não houve tanta variação de resistência conforme as idades foi o do traço referência +10%. O que

houve mais disparidade entre a resistência aos 3 dias e resistência aos 28 dias foi o traço referência +5%, com uma diferença de aproximadamente 15 MPa. Lembrando também que os traços ensaiados abaixo de 28 dias de cura, de acordo com a norma ABNT NBR 9781:2013, são necessários multiplicar o valor de resistência à compressão axial encontrada na prensa por 0,8, fator este exigido por norma.

Nos tópicos abaixo serão demonstrados os resultados de cada teor ensaiado (traço referência, 5%, 10% e 20%). Valores apresentados serão:

- Carga de ruptura (MPa);
- N° de amostras ensaiadas;
- Desvio padrão (Sd);
- Coeficiente de variação (%);
- Gráfico representativo;
- Gráfico.

#### 4.8.1 Ensaio de Compressão axial do traço referência

Será demonstrado os ensaios realizados com os blocos sem adição de pó de vidro, tais como serão demonstrados o gráfico de compressão e o gráfico de equação.

Tabela 27 – Compressão axial traço referência

<b>IDADES</b>	<b>N° DE AMOSTRAS</b>	<b>CARGA DE RUPTURA MÉDIA (Mpa)*</b>	<b>DESVIO PADRÃO (Sd)</b>	<b>COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)</b>
3 dias	6	28,18	3,86	10,97
7 dias	6	30,95	4,37	12,23
14 dias	6	31,98	4,18	10,45
28 dias	6	41,51	5,43	13,09

\* - Valores de 3,7 e 14 dias já multiplicados pelo valor previsto pela norma ABNT NBR 9781:2013 (0,8)

Fonte: Autor (2019)

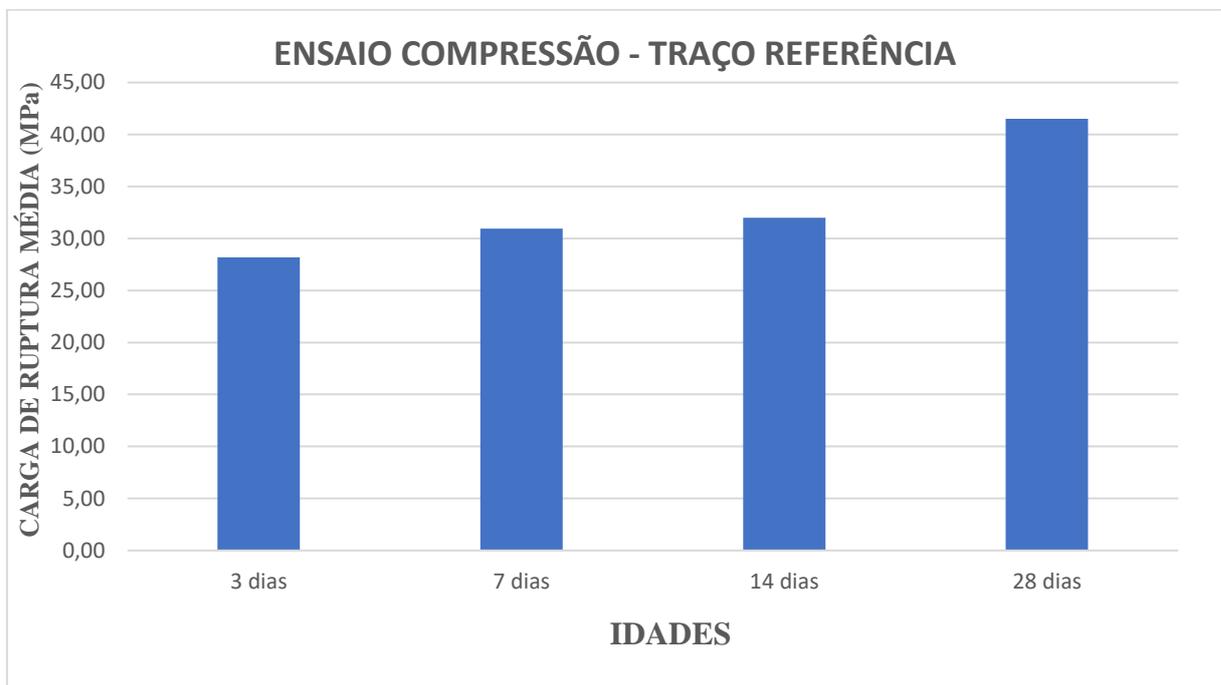
Avalia-se que o coeficiente de variação se manteve abaixo de 15%, ou seja, os dados podem ser considerados homogêneos e de baixa dispersão.

Quanto aos valores de resistência à compressão, como temos que multiplicar o valor das resistências nas idades abaixo de 28 dias por 0,8 – como impõe a ABNT NBR 9781:2013 –, os resultados das mesmas caíram, fazendo com que alguns resultados ficassem abaixo do que impõe a mesma norma quanto ao valor de resistência à compressão axial para tráfego de

veículos leves (35 MPa). Assim podemos concluir que este ensaio foi satisfatório, tendo em vista que a norma dita que para utilizar tais lotes de peças em pavimento intertravado, os mesmos devem ter uma resistência à compressão axial igual ou superior á 35 MPa aos 28 dias, e no objeto deste estudo chegou-se a 41,51 MPa, portanto, os blocos estão de acordo com o que a devida norma dita.

A seguir será demonstrado nas figuras gráficos para melhor visualização dos dados adquiridos, além também de gráfico com equação.

Figura 32 – Gráfico comparativo traço referência

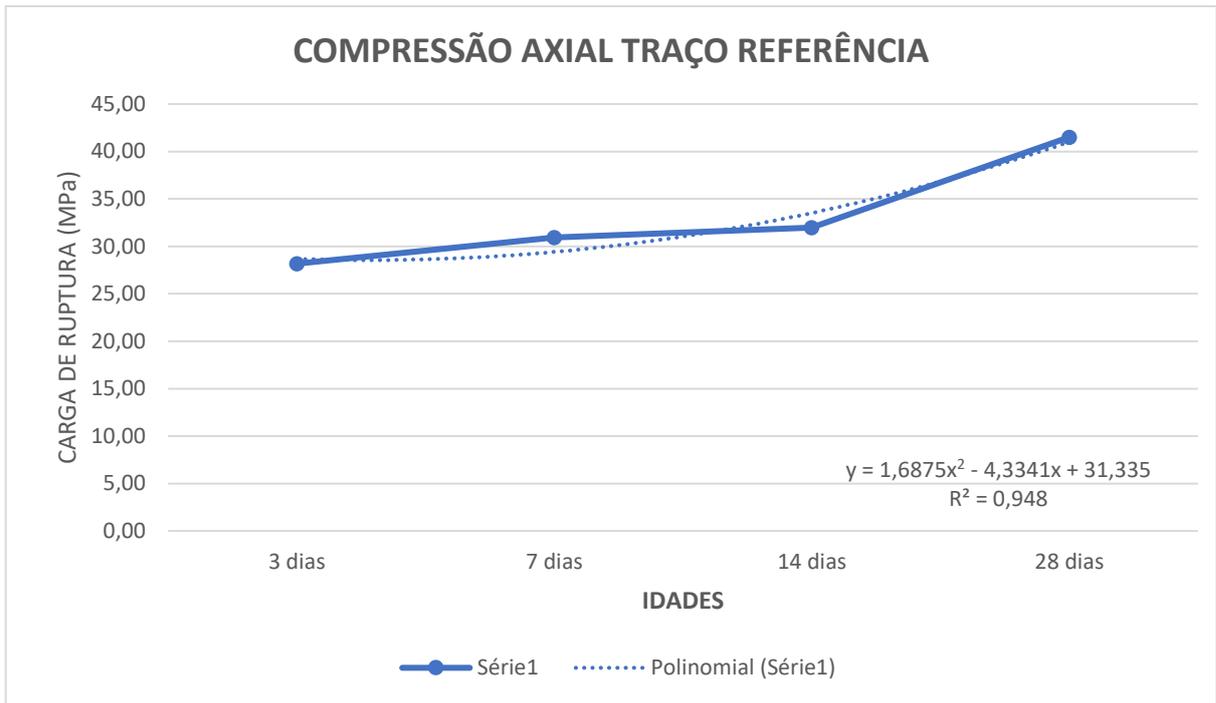


Fonte: Autor (2019)

O gráfico a cima demonstra claramente que com o passar dos dias os *pavers* ganharam resistência, isso deve-se, principalmente a característica do cimento.

A figura a seguir demonstrará a equação polinomial necessária para achar tais valores de resistência conforme a data específica. Estará inscrita nela também, o valor de  $R^2$ , que nele, quanto mais próximo do valor absoluto 1,00 mais confiável é a amostra.

Figura 33 – Gráfico traço referência



Fonte: Autor (2019)

#### 4.8.2 Ensaio de Compressão axial do traço referência +5%

Serão demonstrados a seguir os ensaios realizados com os blocos com adição de 5% pó de vidro, tais como serão demonstrados o gráfico de compressão e o gráfico de equação.

Tabela 28 – Compressão axial tr +5%

IDADEs	Nº DE AMOSTRAS	CARGA DE RUPTURA MÉDIA (Mpa)*	DESVIO PADRÃO (Sd)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
3 dias	6	31,38	3,93	10,01
7 dias	6	33,54	1,16	2,76
14 dias	6	33,17	1,46	3,52
28 dias	6	46,52	5,46	11,73

\* - Valores de 3,7 e 14 dias já multiplicados pelo valor previsto pela norma ABNT NBR 9781:2013 (0,8)

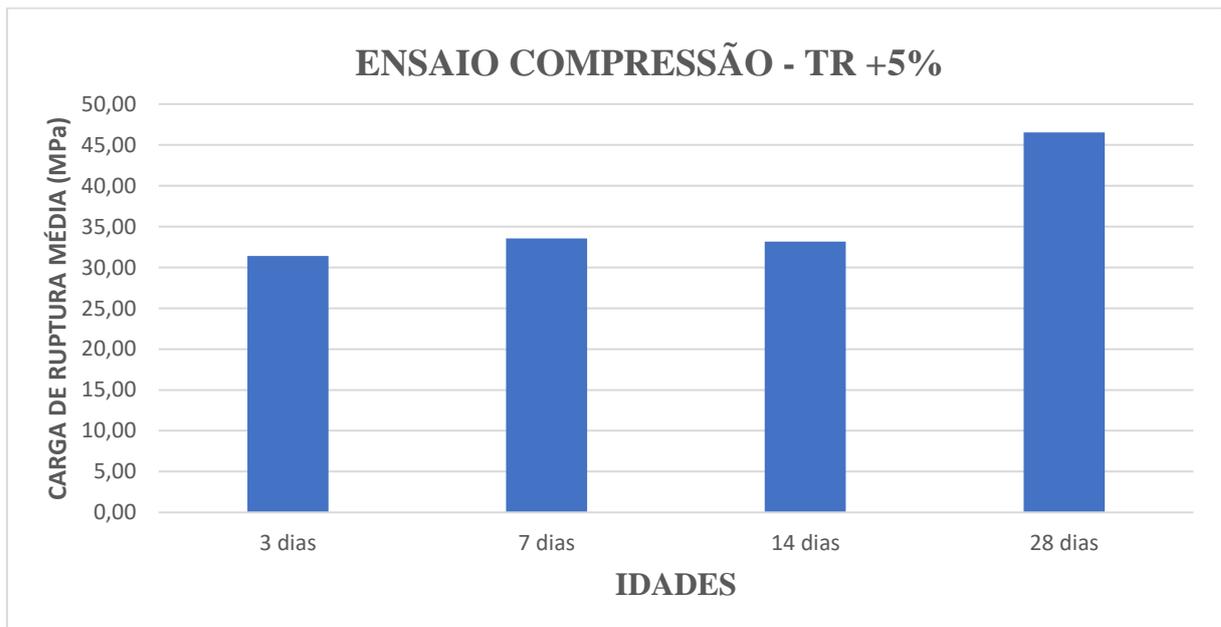
Fonte: Autor (2019)

Avalia-se que o coeficiente de variação se manteve abaixo de 15%, ou seja, os dados podem ser considerados homogêneos e de baixa dispersão.

Quanto aos valores de resistência à compressão, como temos que multiplicar o valor das resistências nas idades abaixo de 28 dias por 0,8 – como impõe a ABNT NBR 9781:2013 –, os resultados das mesmas caíram, fazendo com que alguns resultados ficassem abaixo do que impõe a mesma norma quanto ao valor de resistência à compressão axial para tráfego de veículos leves (35 MPa). Assim podemos concluir que este ensaio foi satisfatório, tendo em vista que a norma dita que para utilizar tais lotes de peças em pavimento intertravado, os mesmos devem ter uma resistência à compressão axial igual ou superior a 35 MPa aos 28 dias, e no objeto deste estudo chegou-se a 46,52 MPa, portanto, os blocos estão de acordo com o que a devida norma dita.

A seguir será demonstrado nas figuras gráficos para melhor visualização dos dados adquiridos, além também de gráfico com equação.

Figura 34 – Gráfico comparativo tr +5%

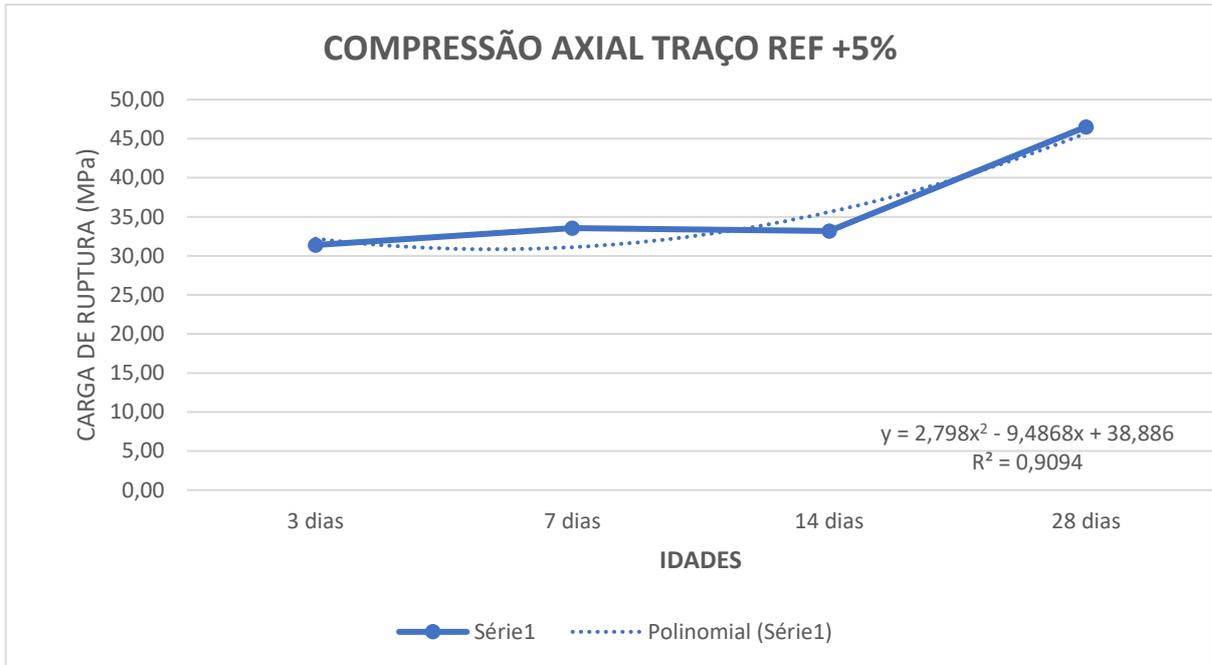


Fonte: Autor (2019)

O gráfico a cima, diferente das amostras do traço referência que com o passar dos dias os blocos foram ganhando resistência gradativamente, demonstra que dos 3 dias aos 7 dias de cura houve um leve ganho de resistência, porém dos 7 dias de cura aos 14 dias houve uma queda de desempenho, todavia o ganho de resistência dos 14 dias de cura aos 28 dias foram muito altos.

A figura a seguir demonstrará a equação polinomial necessária para achar tais valores de resistência conforme a data específica. Estará inscrita nela também, o valor de  $R^2$ , que nele, quanto mais próximo do valor absoluto 1,00 mais confiável é a amostra.

Figura 35 – Gráfico traço referência +5%



Fonte: Autor (2019)

#### 4.8.3 Ensaio de Compressão axial do traço referência +10%

Serão demonstrados a seguir os ensaios realizados com os blocos com adição de 10% pó de vidro, tais como serão demonstrados o gráfico de compressão e o gráfico de equação.

Tabela 29 – Compressão axial tr +10%

IDADE S	Nº DE AMOSTRAS	CARGA DE RUPTURA MÉDIA (Mpa)*	DESVIO PADRÃO (Sd)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
3 dias	6,00	31,28	3,15	8,05
7 dias	6,00	32,30	2,54	6,30
14 dias	6,00	33,38	0,94	2,26
28 dias	6,00	44,84	4,78	10,66

\* - Valores de 3,7 e 14 dias já multiplicados pelo valor previsto pela norma ABNT NBR 9781:2013 (0,8)

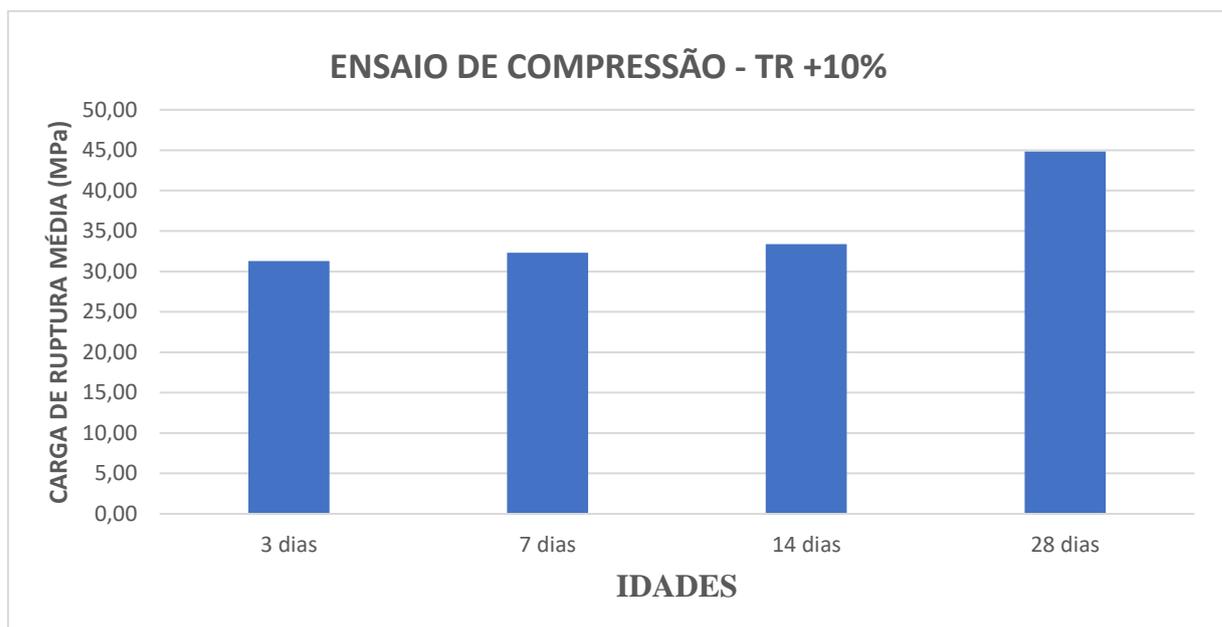
Fonte: Autor (2019)

Avalia-se que o coeficiente de variação se manteve abaixo de 15%, ou seja, os dados podem ser considerados homogêneos e de baixa dispersão.

Quanto aos valores de resistência à compressão, como temos que multiplicar o valor das resistências nas idades abaixo de 28 dias por 0,8 – como impõe a ABNT NBR 9781:2013 –, os resultados das mesmas caíram, fazendo com que alguns resultados ficassem abaixo do que impõe a mesma norma quanto ao valor de resistência à compressão axial para tráfego de veículos leves (35 MPa). Assim podemos concluir que este ensaio foi satisfatório, tendo em vista que a norma dita que para utilizar tais lotes de peças em pavimento intertravado, os mesmos devem ter uma resistência à compressão axial igual ou superior a 35 MPa aos 28 dias, e no objeto deste estudo chegou-se a 44,84 MPa, portanto, os blocos estão de acordo com o que a devida norma dita.

A seguir será demonstrado nas figuras gráficos para melhor visualização dos dados adquiridos, além também de gráfico com equação.

Figura 36 – Gráfico comparativo tr +10%

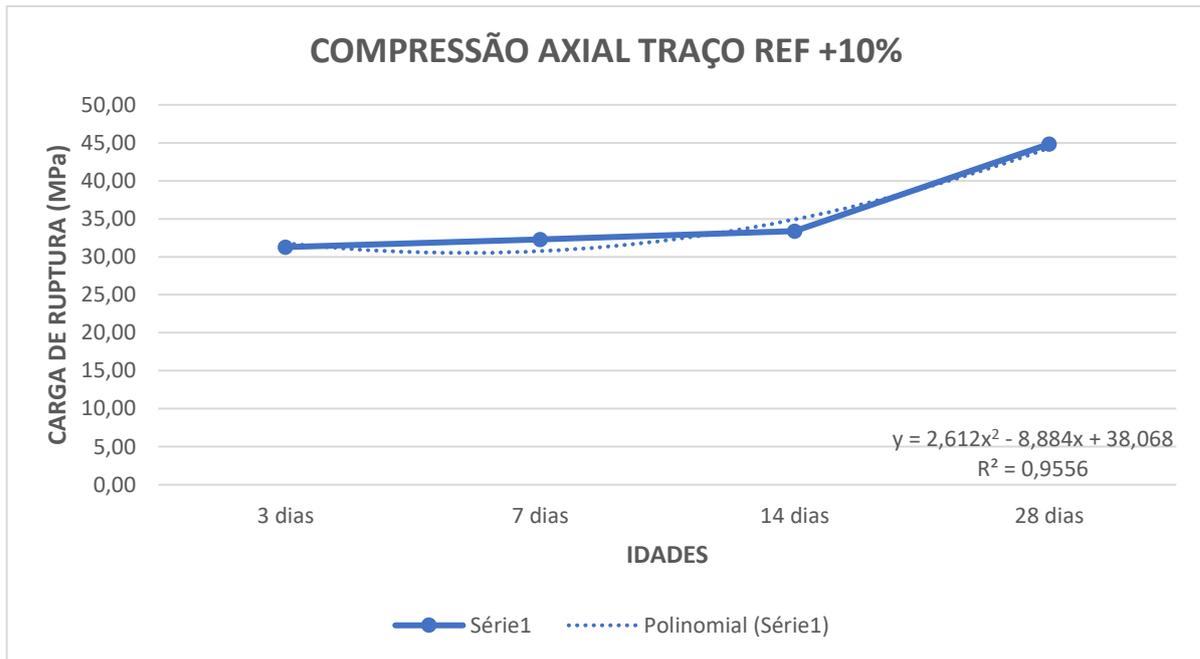


Fonte: Autor (2019)

O gráfico a cima demonstra claramente que com o passar dos dias os *pavers* ganharam resistência, isso deve-se, principalmente a característica do cimento.

A figura a seguir demonstrará a equação polinomial necessária para achar tais valores de resistência conforme a data específica. Estará inscrita nela também, o valor de  $R^2$ , que nele, quanto mais próximo do valor absoluto 1,00 mais confiável é a amostra.

Figura 37 – Gráfico traço referência +10%



Fonte: Autor (2019)

#### 4.8.4 Ensaio de Compressão axial do traço referência +20%

Serão demonstrados a seguir os ensaios realizados com os blocos com adição de 20% pó de vidro, tais como serão demonstrados o gráfico de compressão e o gráfico de equação.

Tabela 30 – Compressão axial tr +20%

IDADES	Nº DE AMOSTRAS	CARGA DE RUPTURA MÉDIA (Mpa)*	DESVIO PADRÃO (Sd)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
3 dias	6	32,81	2,03	4,94
7 dias	6	34,09	1,00	2,35
14 dias	6	35,58	1,75	3,93
28 dias	6	51,44	0,62	1,20

\* - Valores de 3,7 e 14 dias já multiplicados pelo valor previsto pela norma ABNT NBR 9781:2013 (0,8)

Fonte: Autor (2019)

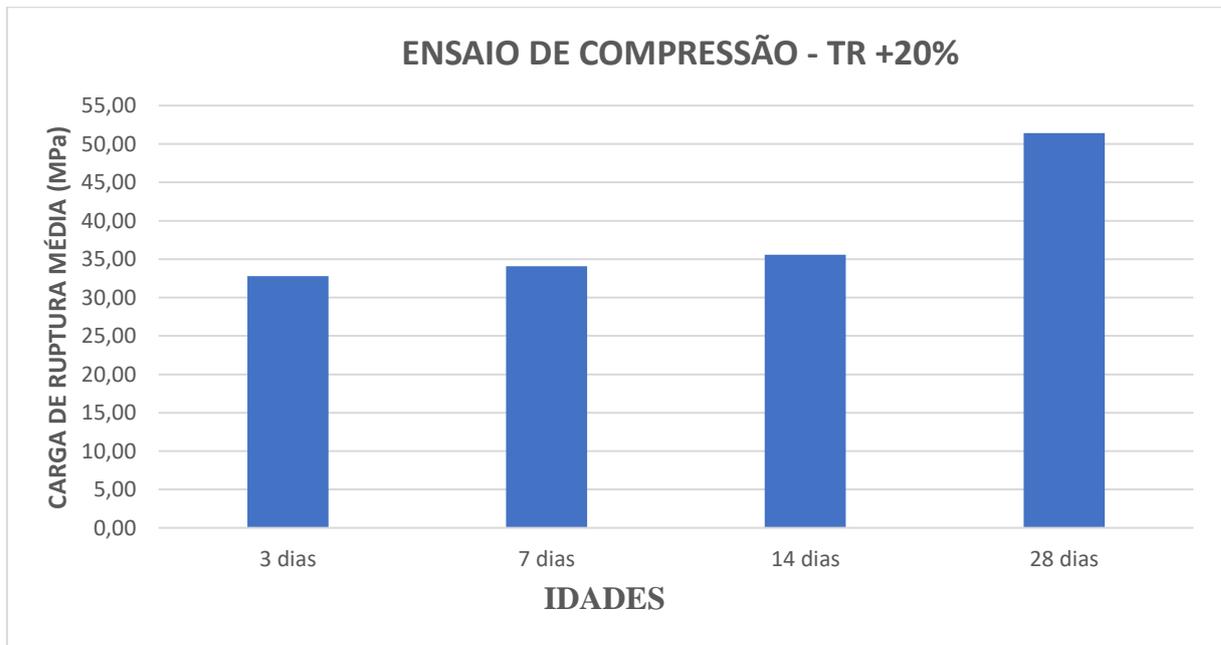
Avalia-se que o coeficiente de variação se manteve abaixo de 15%, ou seja, os dados podem ser considerados homogêneos e de baixa dispersão. Nota-se também que este tratamento foi, de todos, o que houve maior resistência à compressão em todos os seus respectivos dias. Então, no quesito resistência, o traço com 20% de adição de pó de vidro foi o que teve valores mais favoráveis ao desempenho e segurança do pavimento.

Quanto aos valores de resistência à compressão, como temos que multiplicar o valor das

resistências nas idades abaixo de 28 dias por 0,8 – como impõe a ABNT NBR 9781:2013 –, os resultados das mesmas caíram, fazendo com que alguns resultados ficassem abaixo do que impõe a mesma norma quanto ao valor de resistência à compressão axial para tráfego de veículos leves (35 MPa). Assim podemos concluir que este ensaio foi satisfatório, tendo em vista que a norma dita que para utilizar tais lotes de peças em pavimento intertravado, os mesmos devem ter uma resistência à compressão axial igual ou superior a 35 MPa aos 28 dias, e no objeto deste estudo chegou-se a 51,44 MPa, portanto, os blocos estão de acordo com o que a devida norma dita.

A seguir será demonstrado nas figuras gráficos para melhor visualização dos dados adquiridos, além também de gráfico com equação.

Figura 38 – Gráfico comparativo tr +20%

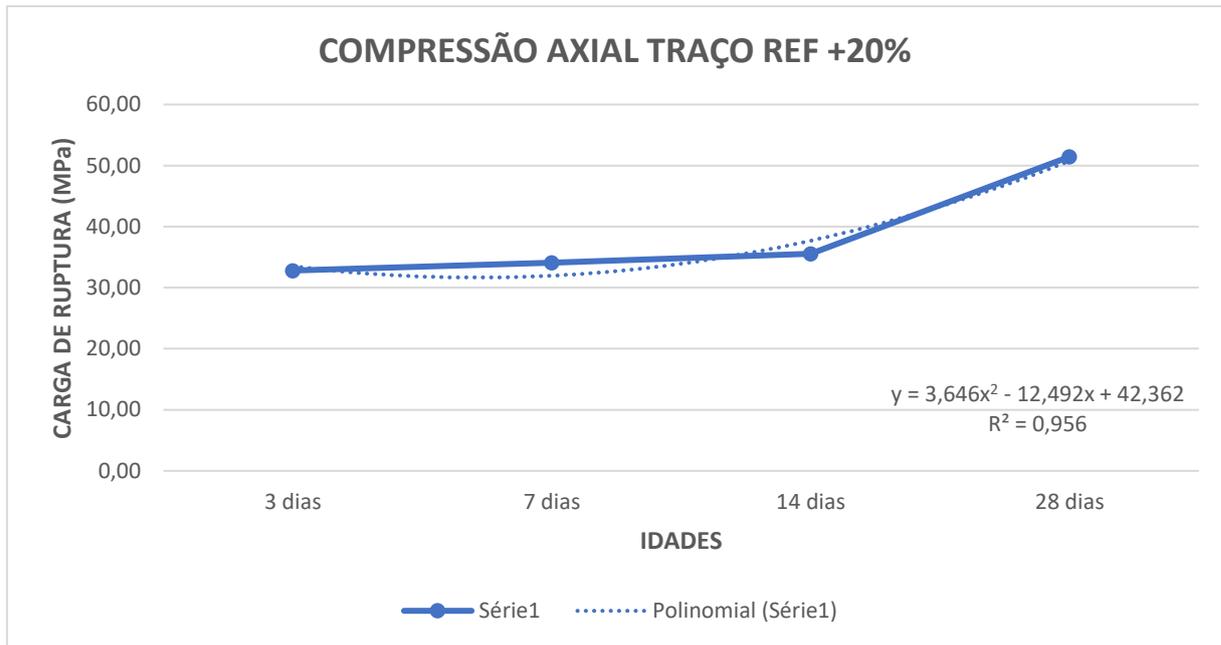


Fonte: Autor (2019)

O gráfico a cima demonstra claramente que com o passar dos dias os *pavers* ganharam resistência, isso deve-se, principalmente a característica do cimento. Nota-se também que houve pouca diferença entre as amostras ensaiadas com 3, 7 e 14 dias de cura.

A figura a seguir demonstrará a equação polinomial necessária para achar tais valores de resistência conforme a data específica. Estará inscrita nela também, o valor de  $R^2$ , que nele, quanto mais próximo do valor absoluto 1,00 mais confiável é a amostra.

Figura 39– Gráfico traço referência +20%



Fonte: Autor (2019)

Analisa-se então, que com o passar das idades o concreto foi ganhando resistência, como de costume para o tipo de cimento utilizado.

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os resultados obtidos seguiram, em suma maioria, conforme as normas vigentes. Para absorção e compressão aos 28 dias os blocos trabalharam conforme a norma ABNT NBR 9718:2013, tendo todos uma absorção igual ou inferior a 7% e resistência à compressão axial maior ou igual a 35 MPa aos 28 dias. Conclui-se que no quesito resistência e absorção o pó de vidro ajuda no ganho de desempenho, tendo em vista que com relação ao traço referência, a absorção do bloco caiu e a compressão axial subiu consideravelmente.

Comparando os blocos ensaiados a compressão axial aos 28 dias contendo 20% de pó de vidro em relação ao cimento, com os blocos com traço referência, também aos 28 dias, houve uma melhora no desempenho do concreto de 23,93%, contudo houve um aumento de 13,79% no consumo de cimento. Com relação a absorção, comparando o traço referência com o traço referência +20%, houve uma queda na absorção de 0,71%, ou seja, houve um decréscimo total de 13,35%. Assim, com a queda na absorção, chega-se a um bloco mais próximo do ideal, onde que com menos absorção, menos patologia poderá ocorrer no futuro.

Quanto as inspeções visuais e análise dimensional teve-se resultados ótimos, tendo em vista que os blocos não continham rebarbas, nem quebras e/ou trincas, e as suas dimensões estavam todas de acordo com a ABNT NBR 9781:2013.

Conclui-se então que a adição de pó de vidro nas peças intertravado de concreto pode ser vantajosa para a resistência à compressão e absorção dos blocos, e considerando os teores adotados nesse trabalho, o teor mais indicado para aplicação da fibra de vidro em *pavers* em pavimentos intertravados de concreto é de 20% de pó de vidro.

Sugere-se então que mais teores possam ser testados e outras dosagens de concreto possam serem feitas para confirmar o teor e traço ideal para a adição de fibra de vidro. Outro ponto que pode ser sugerido é realização de peças de concreto intertravado com adição de outro tipo de vidro à não ser vidros de garrafas *long neck*, como por exemplo vidro quebrado/trincado de para-brisas de veículos, onde utiliza-se vidro laminado.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A - Cálculos e valores da dosagem

Dados:

Modulo de Finura areia: 2,18

Fck: 35MPa

Sd: 4Mpa

$\gamma_c = 3009 \text{ kg/m}^3$

$\gamma_a = 2650 \text{ kg/m}^3$

$\delta_a = 1658 \text{ kg/m}^3$

$\gamma_b = 2670 \text{ kg/m}^3$

$\delta_b = 1316 \text{ kg/m}^3$

$\phi_{\max} = 25 \text{ mm}$

### 1° Passo – Abatimento

$80 \pm 20 \text{ mm}$

### 2° Passo – Diâmetro máximo característico Ag. Graúdo:

$\phi_{\max} = 25 \text{ mm}$

### 3° Passo – Consumo de água e teor de ar

$H_2O = 145,0 \text{ L/m}^3$ ; ar = 1,5%

### 4° Passo – Relação a/c

**$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \times S_d$**

(1)

$\therefore f_{cj} = 41,6 \text{ Mpa} \therefore a/c \approx 0,41$

### 5° Passo – Consumo de Cimento

**$CC = \frac{H_2O}{a/c}$**  (2)

$\therefore CC = 355,66 \text{ Kg/m}^3$

**6° Passo** – Consumo de Agregado Graúdo

$$0,70 \times \delta b \quad (3)$$

$$\therefore M_b = 921,20 \text{ Kg/m}^3$$

**7° Passo** – Teor de Areia

$$1\text{m}^3 \text{ de concreto} = V_c + V_b + V_a + V_{H_2O} \quad (4)$$

$$V_a = 1 - (V_c + V_b + V_{H_2O} + V_{ar}) \therefore M_a = 1000,24 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Teor de Argamassa: } \alpha = \frac{1+a}{1+M}$$

$$\alpha = 52,08 \%$$

**Traço em Massa (REF)**

$$355,66 : 1000,24 : 921,20 : a/c \approx 0,41$$

**Traço Unitário (REF)**

$$1 : 2,828 : 2,605 : a/c \approx 0,41$$

## REFERÊNCIAS

ACREPOM. **O que é reciclagem?** ACREPOM. 2009. Disponível em: <[http://acrepom.com.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=48&Itemid=55](http://acrepom.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=48&Itemid=55)>.

Acesso em: 05 set. 2018.

AKERMAN, M. **Natureza, estrutura e propriedades do vidro**. São Paulo: Centro Técnico de Elaboração do vidro (CETEV), 2000. 37p. Apostilha. Disponível em: <<http://www.ceap.br/material/MAT10052011151508.pdf>>. Acesso em: 04 de set. 2018.

ALHADAS, Miguel. **Estudo da influência do agregado graúdo de diferentes origens mineralógicas nas propriedades mecânicas do concreto**. 2008. 126 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2008. Disponível: <[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ISMS-7RTNGX/estudo\\_da\\_influencia\\_do\\_agregado\\_graudo.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ISMS-7RTNGX/estudo_da_influencia_do_agregado_graudo.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 09 set. 2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de pavimento intertravado**. 2010. 36 p. São Paulo, SP. 1 ed. Disponível em:

<<http://solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2012/08/ManualPavimentoIntertravado.pdf>> Acesso em: 10 set. 2018.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 11579**: Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº200). Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 65**: Cimento Portland – Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52:** Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 23:** Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248:** Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45:** Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR 11578:** Cimento Portland – Composto. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211:** Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 11768:** Aditivos para concreto de cimento Portland, Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 9781:** Peças de concreto para pavimentação – Especificação e método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

AZEVEDO, Felipe; MARTINS, Romulo; PARANAIBA, Nathalia; OLIVO, Jaqueline. **AGREGADOS MIÚDOS: A importância dos agregados miúdos no controle tecnológico do concreto.** Revista Conexão Eletrônica. Três Lagoas. v.14. p. 2079-2086. 2017.

BAUER, Falcão. **Materiais de construção.** 5. ed. v.1. Uberlândia, MG. LTC. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAhSswAG/materiais-construcao-falcao-bauer-vol-1-5-ed-p-25>>. Acesso em 09 set. 2018.

CEMPRE. Vidro. **CEMPRE.** 2015. Disponível em: <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/6/vidro>>. Acesso em: 06 set. 2018.

DIAS, Simao. Da areia ao vidro, do vidro ao pó e do pó à construção. **TELANON.** 2011. Disponível em: <<http://www.telanon.info/sociedade/2011/10/14/8732/da-areia-ao-vidro-do-vidro-ao-po-e-do-po-a-construcao>>. Acesso em: 08 set. 2018.

FIORTI, César; AKASAKI, Jorge; INO, Akemi. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XI, 2006, Florianópolis-SC. **Fabricação de pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de recauchutagem de pneus:** anais do XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Florianópolis-SC, 2006. Disponível em:

<[http://www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/ENTAC2006\\_4109\\_4117.pdf](http://www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/ENTAC2006_4109_4117.pdf)>. Acesso em: 08 set. 2018

FRANÇA, Rosiléia; RUARO, Édina. **Diagnóstico da disposição final dos resíduos sólidos urbanos na região da Associação dos Municípios do Alto Irani (AMAI), Santa Catarina.** 2009. p. 2191-2197. Chapecó – SC. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/csc/v14n6/26.pdf>> Acesso em: 08 set. 2018

GALVÃO, Alvaro. **Obtenção e caracterização de um compósito de poliuretano de mamona e pó de vidro para aplicações em isolantes térmicos.** 2014. 72 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2014. Disponível: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/15724/1/AlvaroCPG DISSERT.pdf>>. Acesso em: 09 set. 2018.

GTECHSOLUCOES. Tempo de decomposição dos materiais na natureza. **GTECHSOLUCOES.** 2018. Disponível em: <<http://gtechsolucoes.com.br/tempo-de-decomposicao-dos-materiais/>>. Acesso em 06 set. 2018

IMPERMEABILIZAÇÃO, Instituto Brasileiro. **Manual de utilização de aditivos para concreto dosado em geral.** São Paulo, 2014, 32 p.

JÚNIOR, Antonio. Você está usando o cimento certo? Conheça os tipos de cimento para nunca mais errar. **ENGENHEIRODOCANTEIRO.** 2015. Disponível em: <<http://engenheironocanteiro.com.br/tipos-de-cimento-portland/>> . Acesso em: 06 set. 2018.

LODI, André; GAMBIN, Graciele; WEIT, Marcelo. **Incorporação de resíduos vítreos na fabricação de blocos de concreto para pavimentação intertravada.** 2014. 54 p. Dissertação (TCC). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

LUZ, A.P; RIBEIRO, S. **Uso de pó de vidro como fundente para produção de grês porcelanato.** Revista Matéria. Lorena – SP. v.13. p. 96-103. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rmat/v13n1/a11v13n1.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2018.

MARTINS, Ronado. **Análise de capacidade de infiltração do pavimento intertravado de concreto.** 2014. 49 p. Dissertação (TCC). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

PORTLAND, Associação Brasileira de Cimento. **Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público.** Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, São Paulo, 2010, 36 p. RICCHINI, Ricardo. Como montar uma empresa de reciclagem de vidro? **SetorReciclagem.** 2015. Disponível em: <<http://www.setorreciclagem.com.br/reciclagem-de-vidro/como-montar-uma-empresa-de-reciclagem-de-vidro/>>. Acesso em: 05 set. 2018.

RICHINNI, Ricardo. **Como montar uma empresa de reciclagem de vidro?** 2015. Disponível em: <<http://www.setorreciclagem.com.br/reciclagem-de-vidro/como-montar-uma-empresa-de-reciclagem-de-vidro/>>. Acesso em: 06 set. 2018.

RIGHI, Débora; *et al.* **Efeitos da substituição de areia por vidro moído no comportamento de concretos em elevadas temperaturas.** Alegretes. v. 11. p. 28-35. 2011. Disponível em: <[http://www.revistaep.com/imagens/volume11\\_02/cap03.pdf](http://www.revistaep.com/imagens/volume11_02/cap03.pdf)>. Acesso em: 07 set. 2018.

SANTOS, Altair. Uso de vidro moído como agregado limita o concreto. **CIMENTOITAMBEM.** 2015. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/vidro-moido-como-agregado/>>. Acesso em: 07 set. 2018.

SANTOS, Wiliam. **Caracterização de vidros planos transparentes comerciais.** Scientia Plana. v. 5. n 2. p. 1-5. 2009. Disponível em: <<https://scientiaplena.emnuvens.com.br/sp/article/view/625/286>>. Acesso em 08 set. 2018

SHREVE, R.; JR, Joseph. **Indústrias de processos químicos.** 4ª edição. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1997.

VAZ, Viviane. **Pavimento intertravado de concreto reforçado com fibra de vidro**. 2015. 131 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2015.

VALLE, Jair; BRAZ, Eliane; SANTOS, Carlos. **Resíduos sólidos urbanos**. Revista Ceciliana. Santos – SP, v.5, p. 1-4, 23 dez. 2013. Disponível em:  
<[http://sites.unisanta.br/revistaceciliana/edicao\\_10b/1.pdf](http://sites.unisanta.br/revistaceciliana/edicao_10b/1.pdf)> Acesso em: 04 de set. 2018.

VALT, Renata. **Análise do ciclo de vida de embalagens de pet, de alumínio e de vidro para refrigerantes no Brasil variando a taxa de reciclagem dos materiais**. 2004. 208 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004. Disponível em:  
<<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/1593/ACV%20EMBALAGENS.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 04 de set. 2018.

WIEBBELLING, Paula. **Pavimento com blocos intertravados de concreto: estudo de caso na UNIVATES**. 2015. 73 p. Dissertação (TCC). Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2015.

CopySpider

Ferramentas Ajuda

Arquivo URL Iniciar Parar Limpar Opções Scholar

E-mail: diogo\_gonzagamoreira@hotmail.com Modo de pesquisa: Buscar em arquivos da internet

Nome do arquivo de entrada	Relatório	Tempo	Progresso	Chance	Status
C:\Users\Diogo Gonzaga\Desktop\Diogo\faculdade\Tcc\TCC II FINALIZADO.docx	Analisar	00:03:08	100%	0,73%	Ok