

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**CHARLES SEVERO CENCI**

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE VIDRO COMINUIDO  
NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO**

**Alegrete  
2019**

**CHARLES SEVERO CENCI**

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE VIDRO COMINUIDO  
NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia Civil  
da Universidade Federal do Pampa, como  
requisito parcial para obtenção do Título  
de Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Me. Aldo Leonel Temp

Coorientadora: Dr. Simone D. Venquiaruto

**Alegrete  
2019**

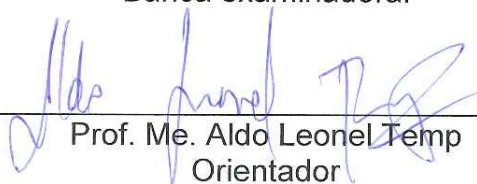
**CHARLES SEVERO CENCI**

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE VIDRO COMINUIDO  
NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia Civil  
da Universidade Federal do Pampa, como  
requisito parcial para obtenção do Título  
de Bacharel em Engenharia Civil

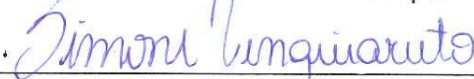
Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 26, junho de 2019.

Banca examinadora:




---

Prof. Me. Aldo Leonel Temp  
Orientador  
Universidade Federal do Pampa



---

Profª. Drª. Simone Dornelles Venquiaruto  
Coorientadora  
Universidade Federal do Pampa



---

Prof. Dr. Jaelson Budny  
Universidade Federal do Pampa



---

Engª. Ambiental Gabriella Gonçalves Trindade Segabinazi  
Secretaria Municipal do Meio Ambiente

Dedico este trabalho aos meus pais,  
acima de tudo.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Adelir e Dóra, pela proteção, confiança, paciência e incentivo ao longo de toda essa jornada além de serem meus exemplos de ética e valores. Aos meus irmãos, Alex e Douglas, e ao restante da minha família, obrigado pela parceria e apoio!

Às pessoas mais incríveis que a vida poderia ter colocado ao meu lado, Andreisson Marques, Gabriella Ferreira, Mariane Kiyotani, Pedro Franco e Poliana Hartmann. Eu tenho certeza absoluta de que não estaria onde estou sem o apoio e companheirismo doados diariamente ao longo desses quatro anos e meio. Espero conseguir levá-los comigo para o resto de minha vida.

Aos meus orientadores, Prof<sup>a</sup>. Dra. Simone Dornelles Venquiaruto, Prof. Me. Aldo Leonel Temp agradeço por todo auxílio na realização desta pesquisa. Mas muito além disso, por terem sido meus companheiros durante a graduação e serem exemplos de profissionais que certamente buscarei seguir.

Aos demais professores que fizeram parte da minha formação como Engenheiro Civil, que ao longo do tempo serviram como mentores de conhecimento científico, técnico e de vida. Um agradecimento em especial ao Prof. Jaelson, pois sem sua ajuda no moinho de mandíbula, estaria até hoje triturando o vidro manualmente.

Por possibilitar este trabalho, agradeço à Eng. Ambiental e Secretária do Meio Ambiente, Gabriella Segabinazi que apoiou a causa e auxiliou em todo o processo de coleta dos materiais. Aos meus companheiros de serviço na Hormigon, pela disponibilização dos equipamentos e de seu tempo, em especial à Caroline Figueira que se tornou uma verdadeira companheira.

À Tamara Fernandes, Mônica Cabral e Gabriella Ferreira pela grande ajuda no desenvolvimento deste trabalho, tanto sob sol forte quanto em horas na frente no notebook.

Enfim, gostaria de expressar meu imenso agradecimento a todos aqueles que estiveram ao meu lado ao longo de minha trajetória acadêmica. Aos PETianos, aos membros do DAEC, os parceiros de pesquisa, além de todos os amigos, professores e profissionais que, de alguma forma, contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional.

Muito obrigado por tudo!

“Aqueles que dançavam foram tidos como loucos  
por aqueles que não conseguiam ouvir a música.”

Friedrich Nietzsche

## RESUMO

A indústria da construção civil é responsável pela geração de grandes volumes de resíduos sólidos, se coloca em posição de necessidade na busca de soluções para os problemas ambientais enfrentados atualmente. Nesta linha, o foco do presente trabalho toma frente à necessidade de buscar uma destinação adequada para os resíduos provenientes das mais de um milhão de toneladas de embalagens de vidro produzidas anualmente e, mesmo havendo a possibilidade de reciclagem, esta não é uma opção economicamente viável para municípios afastados dos grandes centros. Objetivando a produção de pavers ecológicos através da utilização de vidro cominuído em diferentes percentuais de substituição a areia natural o que acarreta um alto potencial de impacto ambiental, visto que a areia é um recurso natural não renovável. O programa experimental está dividido em 3 grandes etapas: coleta (separação das garrafas por cores, lavagem, moagem e caracterização do vidro), a respectiva moldagem das amostras de pavers e por fim, os ensaios de controle físico-mecânicos (dimensões, avaliação visual, resistência à compressão, resistência à abrasão, absorção de água, massa específica e índice de vazios). As substituições de agregado miúdo por vidro foram realizadas nas porcentagens de 0, 10, 20 e 30% para a cor Âmbar. Nas idades de controle, as caracterizações físico-mecânicas resultaram em melhorias consideráveis em todas as propriedades das amostras com 10% de vidro, chegando a um acréscimo de 40% na resistência a compressão aos 7 dias. E ainda, a utilização de 20% de vidro apresentou propriedades semelhantes, e até superiores, as amostras de referência.

Palavras-Chave: Vidro, Blocos de Concreto para Pavimentação Intertravada, Concreto Seco.

## **ABSTRACT**

Since the construction industry is responsible for generating large volumes of solid waste, it places itself in a position of need in the search for solutions to the environmental problems currently faced. In this line, the focus of the present work takes into account the need to seek a suitable destination for waste from the more than one million tons of glass containers produced annually and, even if there is a possibility of recycling, this is not an economically viable option to municipalities away from large centers. Aiming the production of ecological pavers through the use of glass cominuído in different percentages of substitution the natural sand which carries a high potential of environmental impact, since the sand is a natural resource nonrenewable. The experimental program is divided into 3 major stages: collection (bottles separation by color, washing, grinding and characterization of glass), the respective molding of the paver's samples and, finally, the physical-mechanical control (dimensions, visual evaluation, compressive strength, abrasion resistance, water absorption, specific mass and void index). Kidney aggregate substitutions per glass were performed at percentages of 0, 10, 20 and 30% for the Amber color. At the control ages, the physical-mechanical characterization resulted in considerable improvements in all properties of the samples with 10% glass, reaching a 40% increase in the compressive strength at 7 days. Moreover, the use of 20% of glass had similar properties, and even higher, reference samples.

Keywords: Glass, Concrete block for interlocking paving, Dry concrete



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cenário atual do descarte de resíduos .....	19
Figura 2 - Crescimento da População Mundial.....	19
Figura 3 - Cenário da Geração de Resíduos de Construção Civil.....	21
Figura 4 - Tipos de vidros e suas aplicações na Construção Civil .....	23
Figura 5 - Tipos de Fraturas do Vidro.....	23
Figura 6 - Produção de vidro (10 <sup>3</sup> t) .....	24
Figura 7 - Ciclos de reciclagem do vidro .....	25
Figura 8 - Componentes de pasta, argamassa e concreto.....	29
Figura 9 - Curva de Abrams .....	30
Figura 10 - Comportamento mecânico em a/c diferentes.....	31
Figura 11 - Produção de concreto seco .....	32
Figura 12 - Tipos de pavers.....	34
Figura 13 - Exemplo de alta sollicitação de carga.....	35
Figura 14 - Estruturas dos pavimentos rígidos e flexíveis .....	36
Figura 15 - Exemplo de diagrama de dosagem.....	38
Figura 16 - (a) Balanças e misturador (b) Preenchimento da matriz (c) Vibro prensagem (d) Transporte por correia para empilhamento .....	39
Figura 17 - Processo de conversão do vidro em material granular .....	41
Figura 18 – Levantamento de trabalhos - Trabalhabilidade na utilização de vidro moído .....	43
Figura 19 - Resistências à compressão na utilização de vidro moído.....	43
Figura 20 - Compilação dos resultados levantados.....	44
Figura 21 - Mecanismo da atuação do RAA.....	45
Figura 22 - Variação de comprimento das amostras de Cavalli no Ensaio de RAA..	46
Figura 23 - Variação de Comprimento das amostras de Taha no Ensaio de RAA....	46
Figura 24 - Estrutura do Programa Experimental .....	49
Figura 25 - Estrutura da Etapa 1 .....	50
Figura 26 - Publicação em jornal local .....	51
Figura 27 - (a) Recebimento do Material; (b) Armazenamento .....	51
Figura 28 - Limpeza das Garrafas.....	52
Figura 29 - (a) Quebra dos Vidros; (b) Trituração dos Vidros .....	53
Figura 30 - Granulometrias da Moagem em Moinho de Martelo e de Bolas .....	54

Figura 31 - (a) Transporte do Vidro Triturado; (b) Moinho de Martelo.....	54
Figura 32 - Estrutura da Etapa 2 .....	55
Figura 33 - Espaço Industrial para Produção dos Pavers .....	56
Figura 34 - Inserção do Vidro Moído na Balança Dosadora.....	56
Figura 35 - Estrutura da Etapa 3 .....	57
Figura 36 - Dimensões mínimas dos pavers .....	58
Figura 37 - Capeamento das Amostras.....	59
Figura 38 - Esquema do equipamento de abrasão .....	59
Figura 39 - Equipamento de Abrasão Los Angeles .....	60
Figura 40 - Amostras Secando em Estufa.....	61
Figura 41 - Amostras com 1/3 de submersão.....	61
Figura 42 - Curva Granulometria da Areia Natural .....	63
Figura 43 - Curva Granulométrica do Vidro Cominuído. ....	64
Figura 44 - Comparativo das Granulometrias.....	64
Figura 45 - Ensaio de Massa Específica dos Agregados em Andamento.....	65
Figura 46 - Massas das Amostras.....	67
Figura 47 - Aspecto Visual dos Pavers Pref.....	68
Figura 48 - Aspecto Visual dos Pavers P10 .....	68
Figura 49 - Aspecto Visual dos Pavers P20 .....	69
Figura 50 - Aspecto Visual dos Pavers P30 .....	69
Figura 51 - Dispositivo de Ensaio com diâmetro de 85mm .....	70
Figura 52 - Exemplo de Defeito encontrado no Paver.....	71
Figura 53 - Resultados dos Ensaios a Compressão para 7 e 28 dias.....	72
Figura 54 - Distribuição cônica dos materiais na matriz .....	73
Figura 55 - Comportamento das amostras no rompimento à compressão.....	73
Figura 56 - Interior do equipamento Los Angeles com as 3 amostras .....	74
Figura 57 - Resultados de Perda de Massa por Impacto .....	74
Figura 58 – (a) Amostras Pref após ensaio; (b) Amostras P10 após ensaio.....	75
Figura 59 - Resultados do Ensaio de Absorção e Índice de Vazios .....	76
Figura 60 - Massas Específicas dos Pavers Endurecidos.....	76

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Geração de Resíduos da Construção Civil .....	21
Tabela 2 – Matérias-primas para produção de vidro .....	22
Tabela 3 - Tipos de vidro e suas aplicações .....	23
Tabela 4 - Tipos e aplicações do cimento .....	26
Tabela 5 - Estudos do uso de agregados reciclados.....	28
Tabela 6 - Composição química de vidros de diferentes cores .....	40
Tabela 7 - Nomenclatura e composições das amostras.....	48
Tabela 8 - Fatores h/d .....	58
Tabela 9 - Resultados das Massas Específicas .....	65
Tabela 10 - Amostragem Mínima para Lotes de Produção .....	66
Tabela 11 - Dimensões Médias.....	67
Tabela 12 - Resultados do Ensaio de Compressão: Média, Desvios e CV .....	71
Tabela 13 - Resultados do ensaio de Absorção e Índice de Vazios.....	76

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	14
1.1	Objetivos.....	16
1.1.1	Objetivo Geral.....	16
1.1.2	Objetivos Específicos .....	16
1.2	Estrutura de Pesquisa .....	16
2	CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	Sustentabilidade Ambiental .....	17
2.1.1	Resíduos .....	18
2.1.2	Resíduos da Construção Civil .....	20
2.1.3	Vidro na Construção Civil .....	22
2.1.4	Reciclagem de Garrafas Vidro .....	24
2.2	Cimento Portland.....	25
2.3	Agregados para concreto .....	26
2.3.1	Agregados reciclados.....	27
2.4	Concreto de Cimento Portland .....	29
2.4.1	Concreto Plástico .....	30
2.4.2	Concreto Seco.....	31
2.5	Fabricação de elementos pré-moldados.....	33
2.5.1	Blocos de Concreto para Pavimento Intertravados .....	33
2.5.1.1	Vantagens .....	34
2.5.1.2	Estrutura dos pavimentos intertravados .....	35
2.5.1.3	Dosagem de Concreto Seco .....	37
2.5.1.4	Fabricação dos pavers .....	38
2.6	Concretos com adições de Resíduos de Vidro.....	40
2.7	Análise da Reação Álcali-Agregado .....	44
3	METODOLOGIA .....	48
3.1	Materiais .....	48
3.2	Programa Experimental .....	49
3.2.1	Programa Experimental – Etapa 1.....	49
3.2.1.1	Coleta.....	50
3.2.1.2	Armazenamento e Separação.....	51
3.2.1.3	Limpeza.....	52
3.2.1.4	Moagem .....	52
3.2.1.5	Caracterização do Vidro.....	54
3.2.2	Programa Experimental – Parte II .....	55
3.2.2.1	Fase Laboratorial .....	55
3.2.2.2	Fase Industrial.....	55
3.2.3	Programa Experimental – Etapa 3.....	57
3.2.3.1	Dimensões e Tolerâncias.....	57
3.2.3.2	Avaliação Visual.....	58
3.2.3.3	Resistência à Compressão.....	58

3.2.3.4	Resistência à Abrasão .....	59
3.2.3.5	Absorção de Água.....	60
3.2.3.6	Massas Específicas e Índice de Vazios .....	62
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	63
4.1.1	Análise Granulométrica .....	63
4.1.2	Massa Específica .....	65
4.2.1	Dimensões e Tolerâncias .....	66
4.2.2	Avaliação Visual .....	67
4.2.3	Resistência à Compressão.....	69
4.2.4	Resistência à Abrasão.....	73
4.2.5	Absorção de Água e Índice de Vazios.....	75
4.2.6	Massas Específicas.....	76
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	77
	REFERÊNCIAS.....	78

## 1 INTRODUÇÃO

O setor da Construção Civil obteve um crescimento considerável nas últimas décadas, aumentando a geração de resíduos gerados por este. Ao mesmo tempo aumenta o poder de atuação deste setor na redução dos impactos ambientais. A visibilidade deste quadro motivou, durante o seminário na Semana no Meio Ambiente de Alegrete/RS, a abordagem da possibilidade da atuação da Universidade Federal do Pampa na busca de solução para a geração alta de resíduo de vidro em Alegrete.

Segundo Topçu (2004), as Nações Unidas estimam o volume anual de resíduo sólido em 200 milhões de toneladas e destes, 7% representam a quantidade de vidro.

No Brasil, foi instaurada em 2010 a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que objetiva dentre outras ações a promoção da reutilização dos resíduos como uma alternativa na substituição de matérias-primas nos ciclos produtivos. Isto certamente gera diversos impactos positivos, com a preservação dos parques de extração de matérias-primas, bem como na diminuição do volume de material descartado em aterros sanitários. (BRASIL, 2010)

A substituição das matérias-primas utilizadas na confecção do elemento chave da construção, o concreto, se mostra uma forma de buscar este avanço tecnológico. Muitos trabalhos já vêm sendo desenvolvidos visando exatamente isso, por exemplo, na Universidade Federal do Pampa, recentemente foram pesquisadas as substituições de agregados miúdos ou cimento por Resíduo de PET (MOURA, 2017), Resíduo da Construção Civil (PANDOLFI, 2016), Cinza da Casca de Arroz (PADOIN, 2017), Resíduos da Mineração (BOLZAN, 2015), Sílica da Casca de Arroz, Cinza Volante e Metacaulim(TONELLO, 2017), dentre outros.

Nas pesquisas citadas, alguns dos materiais se encontram em abundância em aterros sanitários ou locais similares para a disposição adequada. Alguns destes materiais podem ser reciclados, mas apenas no viés químico, pois para que isso ocorra é necessário atender a viabilidade econômica. Portanto, só ocorre quando o valor de compra desses materiais é atrativo, fazendo com que os catadores o recolham e consigam vender a um preço convidativo. Por outro lado, a indústria beneficiadora precisa comprar com um valor que, somado ao transporte até a empresa, seja mais econômico que simplesmente extrair o material diretamente do meio ambiente.

Este problema está relacionado à reciclagem do vidro de garrafas não retornáveis. O vidro é menos atrativo para as cooperativas de reciclagem, por se tratar de um material com elevado peso, cortante e com preço de mercado menor que plástico, papelão e alumínio. O que é maximizado quanto mais eleva-se o consumo de *Long Necks* e as demais garrafas não retornáveis, somados aos cerca de 53% das garrafas de vidro recicláveis que não são recicladas, conforme dados da Associação Técnica das Indústrias Automáticas de Vidro (ABIVIDRO,2009 *apud* LEMOS, 2012).

Quanto à aplicação deste material, o presente trabalho visa a análise da viabilidade da aplicação do vidro cominuído na produção de peças de concreto para pavimentação intertravada, que possuiu nos últimos anos um grande aumento em sua utilização, devido aos súbitos aumentos nos valores dos barris de petróleo, resultando em valores mais próximos entres as duas formas de pavimentação.(FIORITI, 2007)

## **1.1 Objetivos**

O objetivo geral e os específicos desta pesquisa são apresentados na sequência, nos itens 1.1.1 e 1.1.2, respectivamente.

### **1.1.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho consiste em verificar a viabilidade técnica da utilização de vidro moído em substituição ao agregado miúdo na produção de concretos para blocos de pavimentação intertravada.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Com o intuito de atingir o objetivo geral, tem-se os demais objetivos específicos:

- Realizar um estudo de dosagem de concreto com substituição parcial de areia natural por vidro moído;
- Verificar o desempenho mecânico dos pavers convencionais e com substituições através dos ensaios de:
  - Compressão;
  - Abrasão;
  - Densidade;
  - Porosidade;
  - Absorção de água;
  - Análises dos aspectos visuais;

## **1.2 Estrutura de Pesquisa**

Em cinco tópicos principais, o presente trabalho inicia com uma introdução sobre o problema a ser confrontado, juntos aos objetivos e a própria estruturação. No segundo tópico é encontrado uma abordagem dos conceitos gerais dos itens dos assuntos discutidos bem como a devida fundamentação teórica.

Todos os materiais utilizados e os procedimentos experimentais no decorrer da investigação, podem ser encontrados no terceiro tópico. Já no quarto tópico poderá ser encontrado os resultados adquiridos nos ensaios experimentais referidos. E então no quinto as análises destes resultados com as devidas conclusões.



## **2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA**

Neste tópico serão discutidos e apresentados os conceitos gerais dos itens componentes do trabalho bem como a devida fundamentação teórica.

### **2.1 Sustentabilidade Ambiental**

A sustentabilidade é um assunto amplamente discutido no que tange aos resíduos produzidos pela sociedade e grandes indústrias das mais diversas áreas. Embora sempre tenha havido a necessidade da atenção para esta problemática, nota-se que atualmente, há um maior desafio para a humanidade diante do crítico quadro de degradação e riscos causados por estilos de vida, produção e consumo dos recursos naturais.

A noção de sustentabilidade tem duas origens, a primeira, na biologia por meio da ecologia e, a segunda, na economia. No primeiro, trata-se da capacidade de recuperação e reprodução dos ecossistemas, já na economia, desenvolvido em torno do crescente consumo de produtos e materiais. Unidos, descreve-se hoje então a sustentabilidade como a percepção da finitude dos recursos naturais e sua gradativa e perigosa depleção (NASCIMENTO, 2012).

Nas diversas linhas possíveis de aplicações dos conceitos de sustentabilidade ambiental, na indústria, destacam-se a gestão de energia, resíduos sólidos e tecnologia e inovação. Ao tratar da energia, há um vasto potencial de melhorias, mas nos últimos anos já foram desenvolvidas diversas tecnologias para o aproveitamento dos recursos hídricos da Amazônia, dos altos índices de irradiação solar das regiões Nordeste e Centro-Oeste, do potencial para geração de energia eólica, e da utilização do biodiesel a partir de novas matérias-primas (CNI, 2012).

Quanto a gestão de resíduos sólidos, o Brasil serve como referência internacional na reciclagem de diversos materiais, como alumínio, papel e papelão, embalagens cartonadas, PET (politereftalato de etileno) e sucata ferrosa. Aliando isto à tecnologia e inovação, a busca de tecnologia de ponta no desenvolvimento do setor produtivo terá um crescente papel na formação de recursos humanos qualificados em engenharia, e no ensino técnico (CNI, 2012).

Dentre as variadas indústrias as quais são aplicadas as informações discutidas acima, na indústria da construção civil, cabe salientar as afirmações do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA (2010), onde afirma-se que o setor possui uma responsabilidade direta sobre a situação ambiental atual, por consumir

grandes quantidades de recursos naturais, além de ser responsável pelo consumo intenso de energia elétrica e água na fase de fabricação dos materiais que utiliza na produção das obras. Por fim, também é responsável por altos níveis de emissão de gases de efeito estufa (GEE), especialmente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Frente a esta responsabilidade, na construção civil destacam-se três aspectos que devem ser priorizados em relação ao desempenho de um projeto ao longo de sua vida útil, a gestão de água, gestão de energia e a gestão dos materiais na obra (Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura, 2007).

Estes três conceitos são definidos por MINGRONE (2016), onde em linhas gerais define a gestão de energia trata tanto da energia primária, petróleo, carvão e hidrelétricas, como a secundária, a energia elétrica, alcançando mais de 40% do consumo energético mundial. PESSARELLO (2008), define a gestão de água, como sendo estritamente necessária para a execução e operação de uma obra, e por esta razão, o setor é um dos maiores consumidores de água em todo o mundo. Ao tratar da gestão dos materiais, NOVIS (2014) relata que segundo JOHN (2000) a construção civil é responsável pelo consumo da ordem de 220 milhões de toneladas de agregados naturais, somente na produção de concreto e argamassas no Brasil.

### **2.1.1 Resíduos**

É de conhecimento geral o massivo volume de resíduos produzido por cada um dos quase 8 bilhões de habitantes do planeta. A alta necessidade de produção de alimentos e bens de consumo, forçam a produção intensa de embalagens e condicionantes que possibilitem o armazenamento e transporte dos materiais de consumo que resultam nos enormes volumes de resíduos dispensados nos aterros sanitários, como pode ser observado na Figura 1. Além do alto volume, trata-se de materiais com decomposição tardia, agravando o cenário ambiental.

Conforme a NBR 10.004/2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), os resíduos são materiais sólidos ou semissólidos resultantes de atividades da indústria, comercial, hospitalar, dentre outras. Ficando inclusos os lodos provenientes dos sistemas de tratamento de água, bem como determinados líquidos inviáveis de serem lançados na rede pública de esgotos ou corpos d'água.

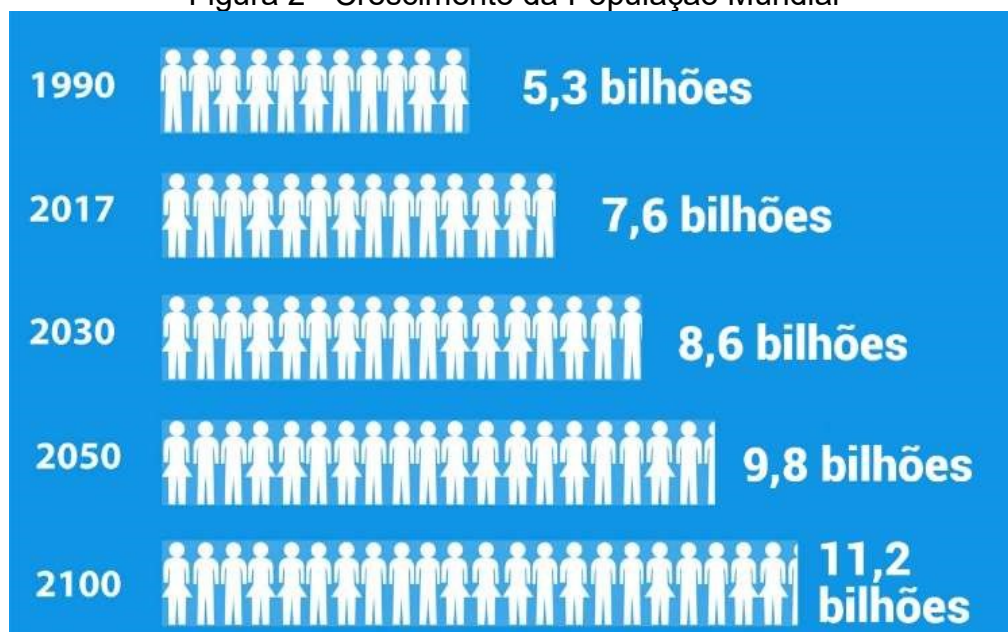
Figura 1 - Cenário atual do descarte de resíduos



Fonte: Campos (2018)

As principais questões sobre estes resíduos em países em desenvolvimento são, segundo Diaz (2011): O crescimento populacional substancial em centros urbanos; A falta de legislação e políticas para planejamento a longo prazo; Armazenamento inadequado e coleta limitada; Falta de disposição adequada; Uso de tecnologias e equipamentos inapropriados; dentre outros. Focando no primeiro tópico, com base no relatório produzido pelo Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais da ONU (2017), a população mundial aumenta anualmente em quase 83 milhões de pessoas, como pode-se ver na Figura 2, até o ano de 2100 é estimado um total de 11,2 bilhões de habitantes.

Figura 2 - Crescimento da População Mundial



Fonte: Perspectivas da População Mundial. ONU (2017)

A chefe do Programa das Nações Unidas para Assentamentos Humanos, Maimunah Sharif, cobrou mudanças nos padrões de consumo para combater o excesso de lixo nas cidades, pois anualmente são produzidas mais de 2 bilhões de toneladas de resíduos no mundo. Ainda de acordo com este organismo, praticamente todos os produtos adquiridos são descartados dentro de 6 meses e seria necessário outro planeta com 70% do tamanho do nosso para absorver tanto resíduo gerado, além de acomodar os 7,6 bilhões de pessoas e suprir o uso intensivo de recursos (NAÇÕES UNIDADES, 2018).

Com base na especulação das Nações Unidas (2017) de cerca de 47% de crescimento populacional, os então aproximadamente 3 bilhões de toneladas de resíduos produzidos no ano de 2100 se somarão aos 207 bilhões de toneladas geradas até lá. Como forma de contornar este quadro é necessário não somente encontrar formas de gerar menos resíduos como também de reaproveitar os já existentes em substituição ao uso de matéria-prima. Ao encontro de Sharif (2018) esta ação provocaria não só a retirada do resíduo do meio ambiente como também a não degradação dos meios em que se inserem as matérias-primas em questão.

### **2.1.2 Resíduos da Construção Civil**

A grande geração de resíduos na indústria da Construção Civil entra em contraste com o papel desempenhado ao ser uma das atividades mais importantes para o desenvolvimento econômico e social do país.

Este resíduo é definido pela Resolução 307 do CONAMA, como sendo materiais provenientes de construções, sejam estas novas ou antigas, com a reforma ou demolição (BRASIL, 2002). Quanto ao volume deste material, de acordo com Monteiro *et al* (2001) os resíduos da construção civil são na ordem de 300 kg/m<sup>2</sup> a partir de novas edificações. No item 2.3.1 serão discutidos alguns trabalhos sobre a reutilização de resíduos na construção civil.

Como forma de mensurar a dimensão do impacto gerado, na Tabela 1 observa-se a quantidade gerada diariamente em algumas cidades do estado de São Paulo, com a respectiva contribuição na geração de resíduos sólidos urbanos total. Diante destes dados, é possível estimar uma contribuição de 60% dos 2 bilhões de toneladas anuais estimadas pelas Nações Unidas.

Tabela 1 - Geração de Resíduos da Construção Civil

Município	Geração Diária (ton)	Participação em Relação aos Resíduos Sólidos Urbanos
São Paulo	17240	55 %
Guarulhos	1308	50 %
Diadema	458	57 %
Campinas	1800	64 %
Piracicaba	620	67 %
São José dos Campos	733	67 %
Ribeirão Preto	1043	70 %
Jundiaí	712	62 %
São José do Rio Preto	687	58 %
Santo André	1013	54 %

Fonte: PINTO (2001)

No entanto, o impedimento na reutilização do resíduo da construção civil é a alta variabilidade na composição dos elementos encontrados neste material. Pois há uma grande diferença na porcentagem de argamassas, concretos, cerâmicas, dentre outros, além da modificação de componentes dentro de cada um desses itens devido a diferentes resistências e aplicações das argamassas, concretos e cerâmicas. Há ainda outro material utilizado em abundância nesta indústria: o vidro que possui uma certa homogeneidade, transparecendo sua aplicabilidade neste viés. A Figura 3, retrata o grande volume e variabilidade dos resíduos gerados pela construção civil.

Figura 3 - Cenário da Geração de Resíduos de Construção Civil



Fonte: REVISTA MEIO AMBIENTE (2017)

### 2.1.3 Vidro na Construção Civil

Com a modernização das tendências arquitetônicas, atualmente é visada uma apresentação dos ambientes de forma mais clara e limpa, fornecendo uma sensação de ampliação dos espaços e até mesmo um meio de interação com o meio ambiente. Para tal, diante de um cenário de redução dos espaços motivada pela alta densidade populacional, o vidro tem-se mostrado uma excelente alternativa para atender tais necessidades arquitetônicas, aumentando assim seu consumo.

O vidro é definido pela American Society for Testing and Materials (ASTM, 2012), como um produto inorgânico provindo de fusão arrefecido numa condição rígida sem cristalizar, geralmente duro e quebradiço e tem uma fratura concoidal, podendo ser incolor ou colorido. Devendo isto a uma estrutura não cristalina, ou seja, a sua estrutura é amorfa. É formado por sílica ou dióxido de silício –  $\text{SiO}_2$ , oriundo na maioria das vezes do quartzo, carbonato de sódio –  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  e carbonato de cálcio –  $\text{CaCO}_3$ . A Tabela 2 mostra a composição geralmente adotada na produção de vidro, publicada pela Confederação Nacional do Ramo Químico – CNQ, presente no “Panorama Setor de Vidro” de 2015, onde destaca-se a predominância da areia como matéria-prima.

Tabela 2 – Matérias-primas para produção de vidro

Areia	70%
Barrilha	15%
Calcário	10%
Dolomita	2%
Feldspato	2%
Aditivos	1%

Fonte: CNQ (2015)

A grande trabalhabilidade do vidro quando derretido permite a utilização deste material em diversas situações e aplicações. A Tabela 3 separa alguns dos tipos de vidro e suas respectivas aplicações.

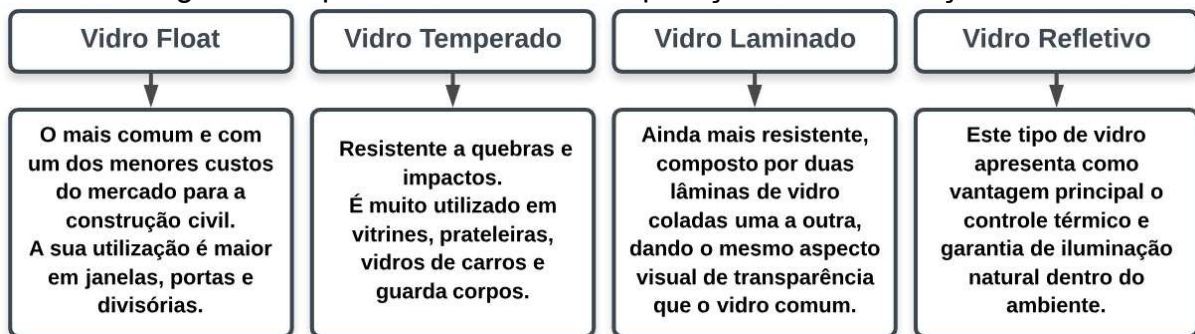
Tabela 3 - Tipos de vidro e suas aplicações

Tipos	Aplicações
Vidro para embalagens	Garrafas, potes, frascos e outros vasilhames fabricados em vidro comum nas cores branca, âmbar e verde;
Vidro plano	Vidros de janelas, de automóveis, fogões, geladeiras, microondas, espelhos, etc..
Vidros domésticos	Tigelas, travessas, copos, pratos, panelas e produtos domésticos fabricados em diversos tipos de vidro;
Fibras de vidro	Mantas, tecidos, fios e outros produtos para aplicações de reforço ou de isolamento;
Vidros técnicos	Lâmpadas incandescentes ou fluorescentes, tubos de TV, vidros para laboratório, para ampolas, para garrafas térmicas, vidros oftálmicos e isoladores elétricos.

Fonte: Recicloteca (2018)

Mediante tal versatilidade do material, Sichieri *et al.* (2007) separa os principais tipos de vidro e sua aplicação na construção civil de acordo com a Figura 4. Dentre os diferentes tipos citados acima, uma das diferenças apresentadas devido sua forma de confecção é a forma da fissura. Ao quebrar, o comportamento das trincas se comporta conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 4 - Tipos de vidros e suas aplicações na Construção Civil



Fonte: Elaboração própria

Figura 5 - Tipos de Fraturas do Vidro

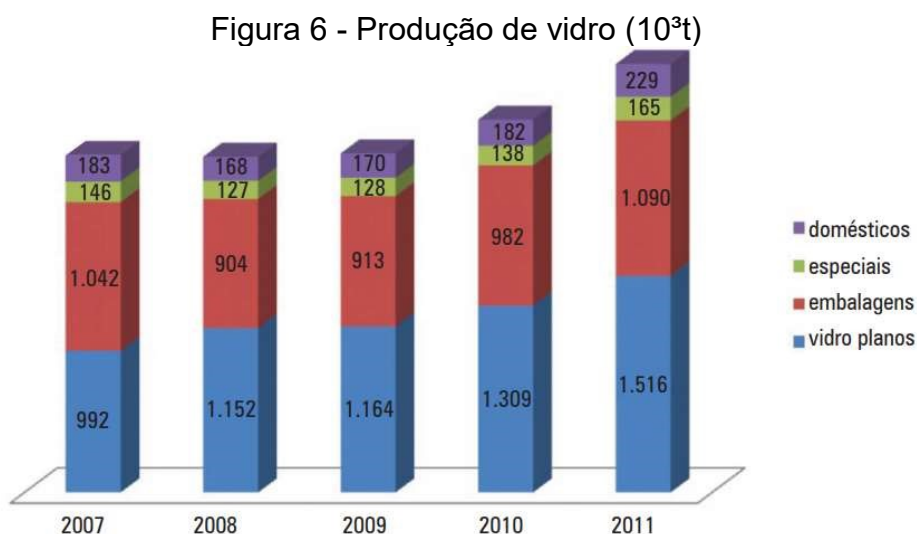


Fonte: RTT (2018)

### 2.1.4 Reciclagem de Garrafas Vidro

Dentre as mais diferentes utilizações para o vidro, há a grande produção de embalagens para o vidro suprir o consumo intenso de bebidas alcoólicas. Como um agravante para esta situação, há a adoção da comercialização de garrafas de bebidas não retornáveis, isto é, não há a necessidade de entregar um vasilhame para aquisição de outro produto. Resultando em imensuráveis volumes destas garrafas sem a adequada destinação.

Primeiramente, a produção do vidro começa quando as matérias-primas são misturadas e levadas ao forno, onde é fundida a 1500°C. A mistura é enformada na mesma velocidade em que o vidro está sendo moldado nas máquinas de fabricação. A produção das embalagens é realizada na temperatura de formação de gota de vidro, 900°C (Machado, 2013). Na Figura 6, é demonstrada o volume produzido de vidro por segmento de utilização.



Fonte: CNQ (2015)

Ainda segundo Machado (2013), o vidro das embalagens é totalmente reciclável e pode ser reciclado várias vezes, pois é feito de minerais como areia, barrilha, calcário e feldspato. Machado (2013) descreve alguns passos para a reciclagem do vidro, sendo: Extração dos resíduos metálicos; Separação manual de partes grandes; Trituração dos resíduos até o tamanho de 15 mm; Filtragem; Sucção de objetos mais leves; Separação de resíduos, por exemplo cerâmicas; Controle de qualidade; e Derretimento. O ciclo geral do processo de produção e reciclagem do vidro é representado na Figura 7.



Figura 7 - Ciclos de reciclagem do vidro



Fonte: Martins (2016)

Em relação a 2015, a reciclagem da embalagem de vidro no Brasil é cerca de 47%, uma grande evolução a partir dos 15% reciclados no ano de 1991, no entanto ainda representa apenas 18% de reciclagem de todos os tipos de vidro. Unindo estes índices aos dados mostrados na Figura 7, há a estimativa de 2.460 toneladas de resíduos de vidro dispostas inadequadamente no meio ambiente (CNQ, 2015).

Em contrapartida a esta solução de destinação do rejeito, há a inviabilidade do transporte até a unidade beneficiadora deste material. Esta realidade se aplica não somente ao município de Alegrete, como também a diversas regiões distantes de empresas fabricantes de vidro. Segundo informações encontradas no site da Associação Brasileira de Cerâmica (2016), no Rio Grande do Sul, há apenas duas unidades, uma em Gramado distante 595 km, e a outra em Campo Bom a 535 km de Alegrete. Com o atual cenário de greves e a frequente suba no custo dos combustíveis o transporte deste material é inviabilizado economicamente, pois além de pesado, é quebradiço oferecendo riscos à mão de obra.

## 2.2 Cimento Portland

O Cimento Portland é o material responsável por realizar a aglutinação dos agregados empregados na mistura do concreto. A Tabela 4, apresenta os diferentes tipos de cimento produzidos a nível nacional e suas características visando estabelecer sua aplicabilidade.

Tabela 4 - Tipos e aplicações do cimento

Propriedade	Resistência à compressão	Calor gerado na reação do cimento com a água	Impermeabilidade	Resistência aos agentes agressivos	Durabilidade
Comum e Composto	Padrão	Padrão	Padrão	Padrão	Padrão
Alto-Forno	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura	Menor	Maior	Maior	Maior
Pozolânico	Menor nos primeiros dias e maior no final	Menor	Maior	Maior	Maior
Alta Resistência Inicial	Muito maior nos primeiros dias	Maior	Padrão	Menor	Padrão
Resistente aos Sulfatos	Padrão	Padrão	Padrão	Maior	Maior
Branco Estrutural	Padrão	Maior	Padrão	Menor	Padrão
Baixo Calor de Hidratação	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura	Menor	Padrão	Maior	Maior

Fonte: Adaptado de PUGLIESI (2018)

### 2.3 Agregados para concreto

Os agregados são materiais granulares, prioritariamente inertes, possuindo adequadas propriedades para a preparação de concretos ou argamassas. Podem ser divididos em dois grupos, os agregados graúdos e os agregados miúdos.

Agregados graúdos segundo a NBR 7211:2005 são os agregados cujos grãos ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm e passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm. Em viés prático trata-se dos materiais britados como britas, pedriscos ou pó de pedra.

Com base na mesma norma, os Agregados Miúdos são os passantes nas peneiras com abertura de malha de 4,75 mm e que ficam retidos na peneira com abertura de 150  $\mu$ m. Ambas as dimensões de peneiras se referem ao ensaio normatizado pela ANBT NBR NM 248 com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

Além dessa divisão, os agregados são classificados também de acordo com sua origem, sendo naturais ou artificiais. Quando extraído de jazidas ou dragagem de rios, são chamados de agregados naturais. Já os processados em indústrias são conhecidos como agregados artificiais (CORRÊA, 2015).

Duó (2007), relata a influência do agregado pela composição granulométrica do agregado sobre as propriedades de concretos e argamassas. Basicamente pode-se dividir em três grupos. Agregados com distribuição granulométricas, aumentando diretamente o consumo de água; agregados com distribuição descontínua, acarreta no aumento da resistência do material; e quando o material apresenta uma granulometria contínua, também chamada de bem graduada, há uma maior trabalhabilidade e diminui o consumo de cimento.

### **2.3.1 Agregados reciclados**

A Tabela 5 mostra que diversos estudos já foram desenvolvidos visando a viabilização do uso de agregados reciclados. Uma ação que além de reduzir o impacto desses materiais ao serem simplesmente descartados no meio ambiente, também reduz o impacto ambiental causado pela extração dos minerais de seu local de origem.

Quando se trata da tentativa de utilização de agregados reciclados provenientes de resíduos da construção, há uma constante conclusão da necessidade do aumento no consumo de cimento, inviabilizando financeiramente sua utilização na indústria. Outro fator agravante é que com exceção de grandes demolições de túneis ou estádios de futebol, há uma grande variabilidade dos materiais encontrados além da contaminação com outros materiais (FERNANDES, 2016).

Este último fator, agrega não aplicabilidade, ao se tratar de materiais de composição constante e disponíveis em grande abundância no meio ambiente, como é o caso de resíduos de vidro.

Tabela 5 - Estudos do uso de agregados reciclados

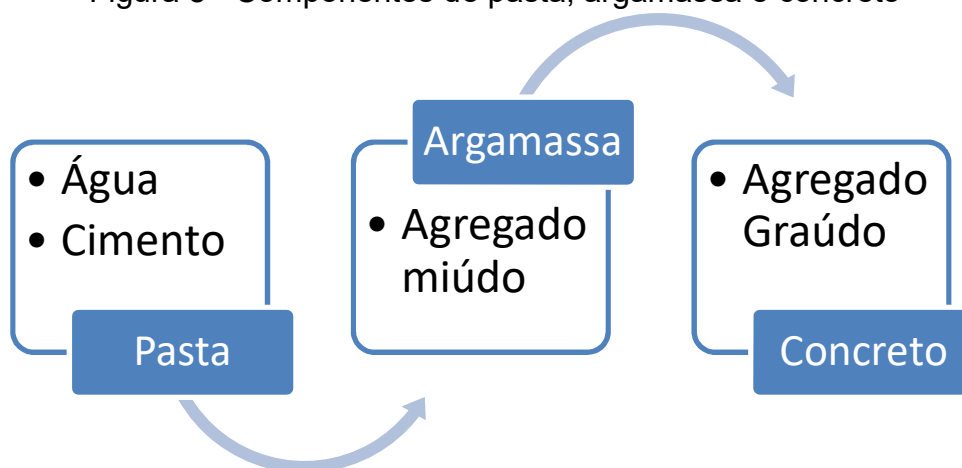
Autor	Produto	Material Substituído	Material Substituído	Avaliação
Gonçalves (2001)	Concreto	Agregado Miúdo e Graúdo Natural	Resíduos de Concreto	Propriedades mecânicas
Almeida <i>et al.</i> (2004)	Concreto Estrutural	Agregado Miúdo Natural	Agregado reciclado de PET	Propriedades mecânicas e trabalhabilidade
Canellas (2005)	Argamassa	Agregado Miúdo Natural	Agregado reciclado de PET	Propriedades mecânicas
Buttler <i>et al.</i> (2006)	Blocos estruturais de Concreto	Agregado Miúdo e Graúdo Natural	Resíduos de Concreto	Massa específica e absorção.
Neto (2006)	Concreto	Agregado Miúdo Natural	Agregado miúdo britado de rocha calcária e Basáltica	Propriedades mecânicas
Cabral <i>et al.</i> (2009)	Concreto	Agregado Miúdo e Graúdo Natural	Resíduo Cerâmica Vermelha	Propriedades mecânica e porosidade
Pietrobelli (2010)	Concreto	Agregado Miúdo Natural	Agregado reciclado de PET	Propriedades mecânicas
Silva <i>et al.</i> (2012)	Concreto	Cimento Portland	Resíduo de vidro	Propriedades mecânicas
Tonus; Minozzi (2013)	Concreto	Agregado Graúdo Natural	Resíduo Cerâmica Vermelha	Propriedades mecânicas
Calcado (2015)	Argamassa	Agregado Miúdo e Graúdo Natural	Resíduos da Construção Civil	Propriedades mecânicas
Silva (2015)	Concreto autoadensável	Agregado Graúdo Natural	Resíduos da Construção Civil	Propriedades mecânicas e físicas
Hojo; Martins (2015)	Concreto	Cimento Portland	Cinza leve do bagaço de cana-de-açúcar	Propriedades mecânicas
Jardim (2016)	Concreto	Agregado Miúdo Natural	Agregado reciclado de PET	Propriedades mecânicas
Pandolfi (2016)	Concreto para pavimentação	Agregado Graúdo Natural	Resíduos da Construção Civil	Propriedades mecânicas e durabilidade
Scobar (2016)	Concreto leve	Agregado Graúdo Natural	Argila Expandida	Propriedades mecânicas e absorção
Vaz (2016)	Argamassa	Agregado Miúdo Natural	Agregado reciclado de PET	Propriedades mecânicas e absorção
Padoin (2017)	Concreto autoadensável	Cimento Portland	Cinza da Casca de Arroz	Propriedades mecânicas e físicas
Correia; Fraga (2018)	Concreto	Agregado Miúdo	Resíduo Cerâmica Vermelha	Propriedades mecânicas

Fonte: Elaboração própria

## 2.4 Concreto de Cimento Portland

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, define o concreto de cimento Portland como sendo um material formado pela mistura de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água. Podendo haver ainda a adição de materiais pozolânicos, sílica ativa, aditivos químicos e outros. Sua principal característica, independentemente da sua composição, é o desenvolvimento de suas propriedades a partir do endurecimento da pasta de cimento. Em linhas gerais, os materiais componentes alternam também o produto final, estes são mostrados resumidamente na Figura 8.

Figura 8 - Componentes de pasta, argamassa e concreto



Fonte: Elaboração própria

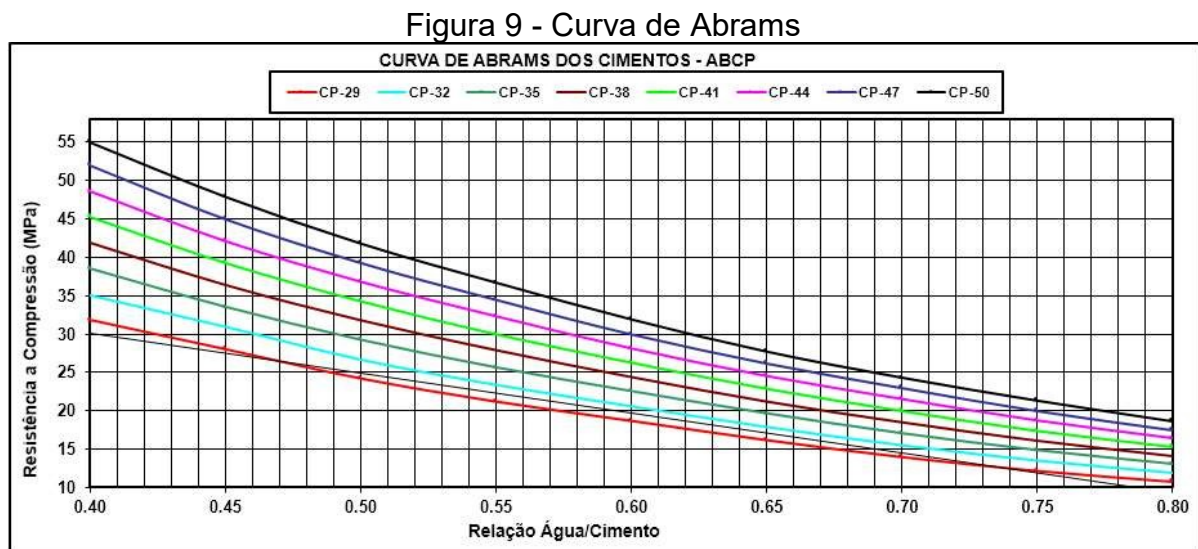
Na revista *Concreto & Construções*, do IBRACON, Fábio Pedroso afirma que, devido da alta disseminação deste material, é possível encontrá-lo em casas de alvenaria, em rodovias, em pontes, nos edifícios mais altos do mundo, em torres de resfriamento, em usinas hidrelétricas e nucleares, dentre outros. A Federação Iberoamericana de Hormigón Premesclado (FIHP) estima, aproximadamente, um consumo médio de 1,9 ton/hab/ano, resultando em cerca de 11 bilhões de toneladas de concreto. No Brasil, o concreto que sai de centrais dosadoras gira em torno de 30 milhões de metros cúbicos (PEDROSO, 2009).

Dentre as aplicações do concreto tem-se, além de outros casos especiais: Convencional, Ciclópico, Bombeável, Fluído, de Alto Desempenho, Concreto Rolado, Projetado, Pré-moldado, Protendido, Resfriado, Leve, Celular e Pesado. Porém estas variações de aplicações, desconsiderando a mudança nos materiais componentes, podem ser enquadrados em apenas dois conjuntos de concretos, os Concretos Plásticos e Secos.

### 2.4.1 Concreto Plástico

Composto basicamente por agregados graúdos, miúdos, cimento e água o Concreto Plástico é o mais comum e pode ser facilmente encontrado em qualquer obra. Este concreto tem como características básicas a alta trabalhabilidade devido a relações de água/cimento relativamente altas, o que é agravado por comumente possuir dosagem sem controle em obra, o que fornece uma alta variabilidade dos parâmetros técnicos.

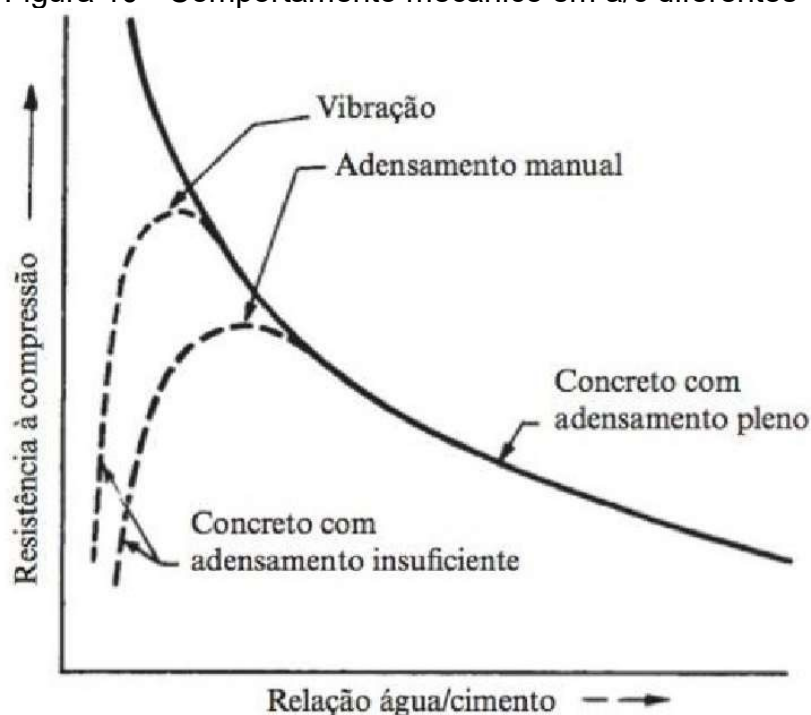
A relação água/cimento possui um papel muito importante na resistência do concreto. Essa característica corresponde à lei de Abrams, relacionando diretamente a relação água/cimento ( $a/c$ ) com a resistência do concreto. A Figura 9 mostra diversas curvas que exemplificam a aplicação da Lei de Abrams, onde com o dobro da relação  $a/c$ , há menos da metade da resistência de referência (GUERRA, 2016).



Fonte: GUERRA (2018)

Analisando a Figura 9, pode-se cometer o engano de pensar que a resistência será maior com a relação  $a/c$  próxima a zero, no entanto essa regra não se aplica pois há a necessidade do volume de água equivalente a 25% da massa de cimento para a devida hidratação. Observa-se na Figura 10 que a relação prática entre a resistência e a relação  $a/c$  é limitada, pois a curva deixa de ser obedecida quando não é mais possível o adensamento pleno em relações  $a/c$  muito baixas (NEVILLE, 2016).

Figura 10 - Comportamento mecânico em a/c diferentes



Fonte: NEVILLE (2013)

#### 2.4.2 Concreto Seco

O Concreto Seco é utilizado somente em situações onde este virá a ser compactado, seja por rolo compressor, pelo peso próprio ou prensas utilizadas na produção de peças pré-moldadas. O processo de produção do concreto seco em indústria de produção de artefatos pré-fabricados é exemplificado na Figura 11.

Basicamente, este material diferencia-se do concreto plástico pelo baixo teor de umidade, consistência quase seca e coesão reduzida. Além de ser mecanicamente conformado nos já citados métodos. As metodologias de dosagem utilizadas na produção de peças de concreto, são baseadas tão somente da minimização da porosidade da mistura já prensada (MARCHIONI, 2012).

Neste caso, entre cimento, areia, pedrisco e pó de pedra, diferentemente de concretos plásticos, na formulação de concretos secos é necessário não só encontrar uma combinação que resulte em uma resistência adequada, mas também a trabalhabilidade e coesão no estado fresco, pois estes parâmetros são proporcionais à energia necessária na compactação (FERNANDES, 2016 e DOWNSON, 1981).

Marchioni (2012) realizou um levantamento de diversas metodologias visando atingir o maior índice de compactação. O presente trabalho irá adotar a metodologia

de Tango (1994), havendo ainda os métodos de Columbia (1969), Pfeiffengerger (1985), da ABCP por Ferreira (1995) e o proposto por Downson (1981).

Diferentemente do concreto plástico, onde a resistência é proporcionalmente relacionada com a proporção água/cimento, a resistência do concreto seco é diretamente ligada ao grau de compactação fornecido pelo equipamento utilizado. O alto grau de compactação resulta em baixos índices de porosidade, que são associadas ao índice de absorção de água. É necessário haver uma alta energia de compactação junto à uma relação água/cimento ideal para que não ocorram problemas como macro porosidade, representada pelos vazios no concreto, nem a micro porosidade, devida ao excesso de água na mistura (FERNANDES, 2016).

Figura 11 - Produção de concreto seco



Fonte: Elaboração própria



## 2.5 Fabricação de elementos pré-moldados

Com o intenso crescimento populacional já mencionado, aliado ao grande desenvolvimento dos últimos anos, a indústria da construção civil possui a necessidade de desenvolver seus serviços de produtos com maior velocidade e padronização. Tal requerimento coloca a fabricação de pré-moldados como sendo de importante valia para o setor.

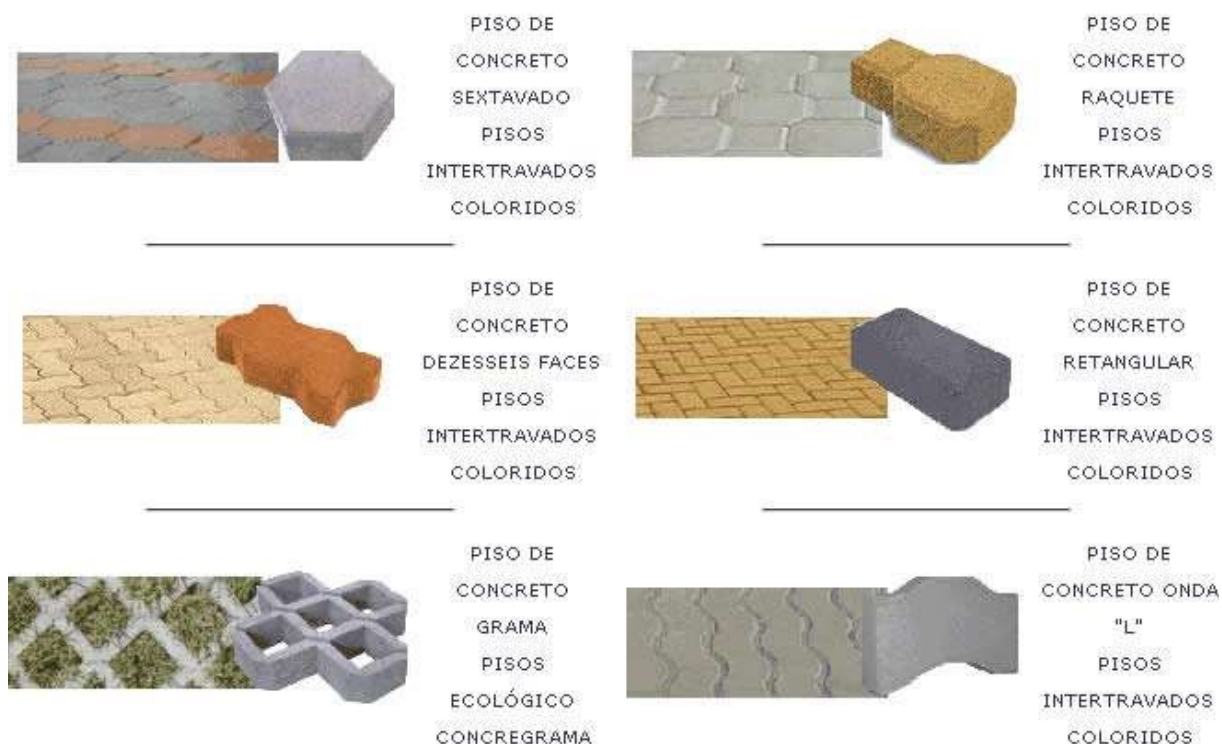
Neste sistema é possível industrializar a produção de vigas, lajes, painéis de fechamento. O que acarreta em redução de custos e mão de obra devido a produção das estruturas ser feita na fábrica, somente a montagem e acabamentos são realizados na obra. Além dos materiais citados, há a produção de blocos de concreto utilizados para pavimentações, tanto de ruas e calçadas, quanto de locais especiais com altos carregamentos como depósitos e pistas para aviões (ABCP, 2016).

### 2.5.1 Blocos de Concreto para Pavimento Intertravados

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, na NBR 9781:2013, define o pavimento intertravado como sendo peças de concreto justapostos em uma camada de assentamento que aliados a camada de base compõe o pavimento flexível. Estes blocos possuem juntas preenchidas por materiais granulométricos e o intertravamento entre estes é propiciado pela contenção.

Os blocos que compõe este tipo de pavimento são conhecidos como blocos de concreto intertravados, embora comumente chamados de *pavers*. De acordo com Fernandes (2016), existem mais de 100 modelos de *pavers*, sendo mais comuns no Brasil os modelos Prisma, 16 faces, Paviesse, Sextavado, Raquete, Duplo T e Estrela, alguns destes são representados na Figura 12. Com base na ABCP (2010), o efeito do intertravamento é responsável pela resistência aos movimentos de deslocamentos dos blocos individualmente. O intertravamento é a capacidade que os blocos adquirem para resistir aos movimentos de deslocamento individual, seja ele vertical, horizontal ou de rotação em relação a seus vizinhos.

A utilização dos blocos de concreto para pavimentação, cujo nome doravante no presente trabalho será apenas *paver*, se desenvolveu tão amplamente que segundo Fioriti (2007) não há um nicho da Engenharia Civil que não tenha utilizado este tipo de pavimento, podendo ser possível citar: pátios, calçadas, praças, ruas, caminhos, rodovias, pisos industriais, portos, aeroportos, dentre outros.

Figura 12 - Tipos de *pavers*

Fonte: PAV STORE (2018)

Além da variação dos formatos, a espessura possui papel fundamental no intertravamento dos *pavers*, impossibilitando espessuras menores que 60 mm. Uma peça com Índice de Forma maior do que 4, ou seja, muito longa, porém pouco espessa, os blocos atuam separadamente não oferecendo condições de confinamento e intertravamentos adequados, fatores fundamentais para os *pavers* (MARCHIONI, 2012).

### 2.5.1.1 Vantagens

A disseminação do uso dos *pavers* se dá pela posse de diversas vantagens, dentre elas pode-se citar a facilidade e alta velocidade no assentamento, pois a execução é realizada por simples encaixe, sem a necessidade de argamassa e ainda possibilita manutenção com a retirada de unidades isoladas, para a substituição de peças defeituosas ou reparos no subsolo (HALLACK, 2001).

Outro fator é a alta nocividade do pavimento asfáltico aliada à elevação constante dos custos de materiais derivados do petróleo. De acordo com Arena *et al.* (2001) para avaliar o impacto gerado pelo pavimento é necessário analisar não somente a camada de revestimento, mas também a quantidade necessária de agregados nas camadas de sub-base e base. Esta afirmação está de acordo com

Santos (2015) da Cimentos Itambé, que denomina o *paver* como “asfalto ecológico”. A Figura 13 mostra um exemplo de aplicação em pavimentos especiais, no exemplo uma pista para aviões.

Figura 13 - Exemplo de alta solicitação de carga



Fonte: SANTOS (2018)

Fernandes (2016) relata que “o fato de ser mais claro do que o asfalto, proporciona ao *paver* menor absorção de calor proveniente dos raios solares, fato que se traduz em maior conforto térmico superficial” (FERNANDES, 2016, pág. 28).

Além das características citadas, Brito (2013) levanta algumas vantagens na utilização dos *pavers*:

- Permitem o uso imediato do pavimento logo após seu assentamento;
- Possibilitam fácil reparação, facilidade de acesso às instalações subterrâneas sem marcas aparentes, reutilização das peças, fácil execução, alta resistência à abrasão, resistência ao ataque de óleos e combustíveis, baixa manutenção;
- Não há exigência de mão de obra e/ou equipamentos especiais, facilidade na incorporação de sinalização horizontal em função das peças coloridas;
- Apresentam menor absorção da luz solar, além de ser o pavimento mais permeável, o que proporciona a microdrenagem das águas pluviais.

### 2.5.1.2 Estrutura dos pavimentos intertravados

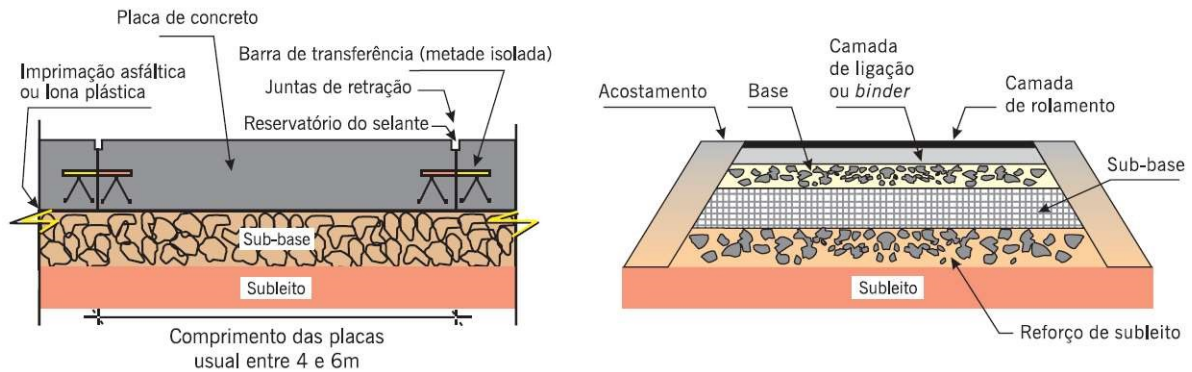
Os pavimentos são comumente classificados em três tipos: rígidos, semirrígidos e flexíveis. Os pavimentos rígidos são as placas de concreto de cimento Portland; os semirrígidos consistem do revestimento com camada asfáltica aliado a

estabilização da base quimicamente com cal e cimento; já nos flexíveis não há o tratamento da base, que consiste somente em solo e brita revestida com camada asfáltica.

Independente da classificação, o pavimento, de um modo geral, é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construídas sobre a superfície final de terraplenagem, responsável por resistir aos esforços impostos pelo tráfego além de propiciar conforto e segurança aos usuários. Outra exigência técnica do pavimento é a impermeabilidade para servir de proteção aos agentes climáticos para as camadas de base (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Bernucci *et al* (2008), representa também a estrutura comumente adotada para os 2 principais tipos de pavimentos, os do tipo rígido, representados na Figura 14 apresentam menos camadas e uma menor necessidade de espessuras nestas. Os pavimentos intertravados se comportam muito semelhantemente aos pavimentos rígidos, de forma que possuam camadas de sub-base e subleito pouco espessas em contraste ao pavimento asfáltico. Isso se dá pela maior interação entre as partículas do concreto, espreado as solicitações de tráfego em uma área muito maior do que as impostas pela deflexão do pavimento flexível, causando uma tensão inferior nas camadas de base.

Figura 14 - Estruturas dos pavimentos rígidos e flexíveis



Fonte: BERNUCCI (2008)

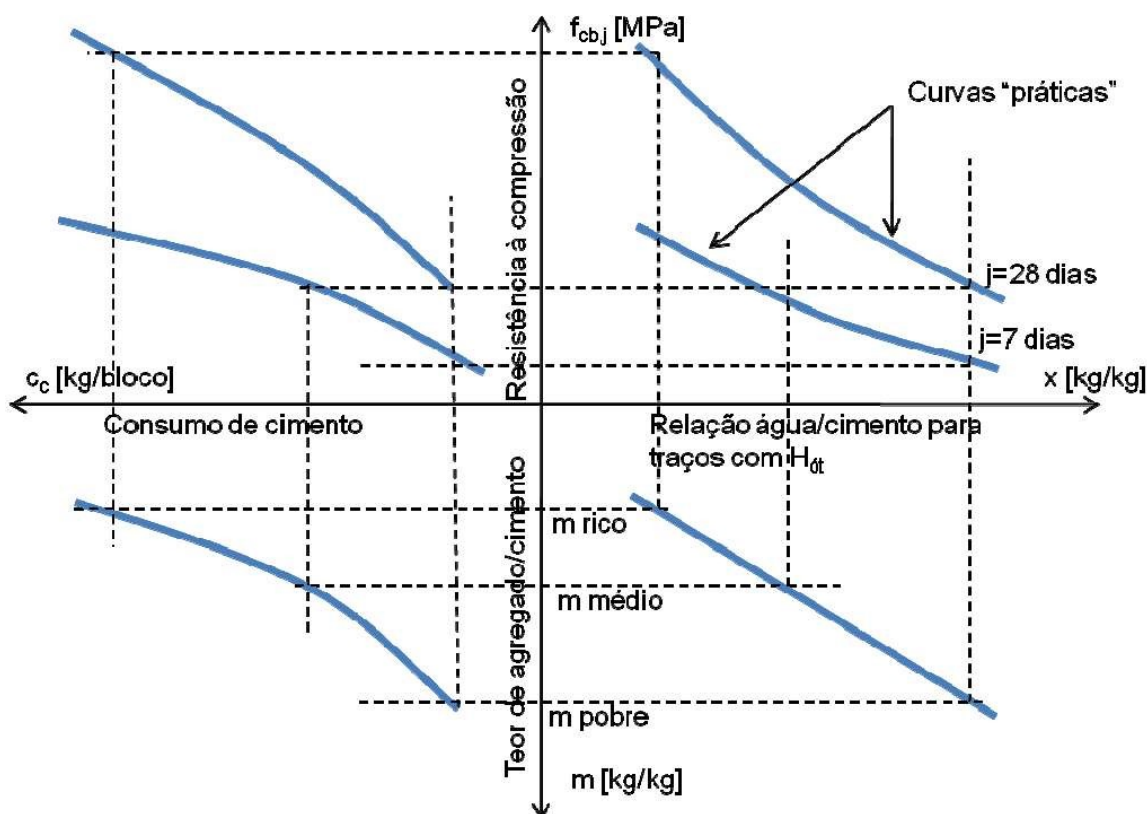
No caso dos pavimentos intertravados com blocos de concreto, a distribuição das cargas se dá através da interação lateral dos blocos, uma vez que a principal característica deste tipo de pavimentação é o simples assentamento das peças, com o devido confinamento, sobre uma camada de regularização, geralmente areia, que atua como distribuidor das cargas, regularização da base e acomodação das peças.

### 2.5.1.3 Dosagem de Concreto Seco

Tango (1994) adaptou o método da IPT/USP para dosagem de concretos secos e apresenta uma metodologia detalhada e que atende os ajustes dos agregados, definição da resistência média desejada para que seja possível a estimativa dos teores agregados/cimento ( $m$ ), então determinando a proporção de argamassa ( $\alpha$ ) e umidade ótima ( $H_{ótima}$ ). Posteriormente, devem ser moldadas amostras que, após bateria de ensaios, será traçado o diagrama de dosagem.

1. O ajuste dos agregados visa a maior massa unitária possível, através de uma proporção entre os agregados miúdos e graúdos.
2. Definição da resistência média, levando em consideração as características da fábrica.
3. Estimativa dos teores de argamassa/cimento ( $m$ ), visando a produção de três traços, com diferentes resistências. “Traço Pobre”, “Traço Médio” e “Traço Rico”, com o valor de resistência na mesma ordem.
4. Fazendo uso do “Traço Médio”, devem ser moldadas amostras com variações da relação argamassa/concreto ( $\alpha$ ). O parâmetro ( $\alpha$ ) é dado pela mistura que apresentar o melhor aspecto superficial, maior massa unitária, mais ainda com boa trabalhabilidade. Já a Umidade Ótima ( $H_{ótima}$ ), da forma como explicado no item 2.4.2, é o valor de umidade não tão baixa para que ocorra esboroamento, nem tão alta para haver aderência na forma.
5. Confecção de no mínimo 3 amostras para cada traço.
6. Diagrama de Dosagem, uma compilação de todos os dados levantados, possibilitando o encontro de traços para quaisquer resistências, como mostrado na Figura 15.

Figura 15 - Exemplo de diagrama de dosagem



Fonte: MARCHIONI (2012)

#### 2.5.1.4 Fabricação dos *pavers*

Claramente a metodologia, empregada para a fabricação dos *Pavers* é um segredo dentro de cada indústria, no entanto além dos diversos formatos existentes, os *pavers* também variam na sua forma de fabricação e principais características. Em um levantamento realizado por Fernandes (2016) constatou-se que os principais métodos de fabricação dos *pavers* são:

- *Paver* vibro prensado, método mundialmente difundido;
- *Paver* dormido, permanece no molde de um dia para o outro;
- *Paver* virado, consiste em encher o molde, vibrar, e virá-lo para cura;
- *Paver* drenante, peças porosas, com falta de argamassa na mistura;
- *Paver* dupla capa, por extrusão, conta com camada superior de acabamento;
- *Paver* mesclado, mistura não homogênea de diferentes tons;
- *Paver* envelhecido, utilizado para reconstrução de locais antigos;

Como dito, o mais comum e adotado pelas fabricantes consiste na vibro prensagem de concreto seco em um molde com o formato desejado. Neste método por trabalhar-se com concreto seco e utilizar agregados um pouco mais finos que o convencional, torna-se o mais necessário de atenção por possuir maiores

possibilidades de patologias como absorção e desgaste por abrasão caso não sejam tomados os devidos cuidados (FERNANDES, 2016).

A partir de uma visita realizada a empresa Hormigon Indústria de Artefatos de Cimento, situada em Alegrete/RS, foi constatado que o procedimento de fabricação se constitui de, em linhas gerais:

- I. Armazenamento dos agregados em baias, garantindo separação e proteção dos agregados;
- II. Utilização de balanças dosadoras de agregados e cimento – Figura 16 (a);
- III. Misturados homogeneamente por um misturador mecânico – Figura 16 (a);
- IV. O cimento é adicionado a mistura e então água;
- V. O material já homogêneo é inserido na plataforma de prensagem, preenchendo as cavidades da matriz – Figura 16 (b);
- VI. Então a prensa (macho) realiza o adensamento da mistura através de aplicação de cargas e vibrações – Figura 16 (c);
- VII. Na indústria em questão, as bases da prensa são aquecidas para evitar a sucção, facilitando o desmolde;
- VIII. Transporte da tábua por correias, e empilhamento automático – Figura 16 (d);
- IX. Alocação para cura, para posterior paletização.

Figura 16 - (a) Balanças e misturador (b) Preenchimento da matriz (c) Vibro prensagem (d) Transporte por correia para empilhamento



Fonte: Elaboração própria

## 2.6 Concretos com adições de Resíduos de Vidro

Foram encontradas pesquisas que visaram a análise da viabilidade da substituição de agregados miúdos pelo resíduo de vidro moído, bem como na substituição e/ou adição como material fino componente do cimento. As pesquisas possuem variações de porcentagens de substituições, métodos empregados além das granulometrias utilizadas, bem como da divisão dos materiais vítreos pela coloração, devido as diferentes composições químicas comprovadas por Rajabipour (2010), Oliveira (2012) e Degirmenci (2011), para as cores Âmbar, Verde e Transparente e organizadas na Tabela 6, o que confirma a necessidade do desenvolvimento do presente trabalho realizando a variação de colorações de vidro moído.

Tabela 6 - Composição química de vidros de diferentes cores

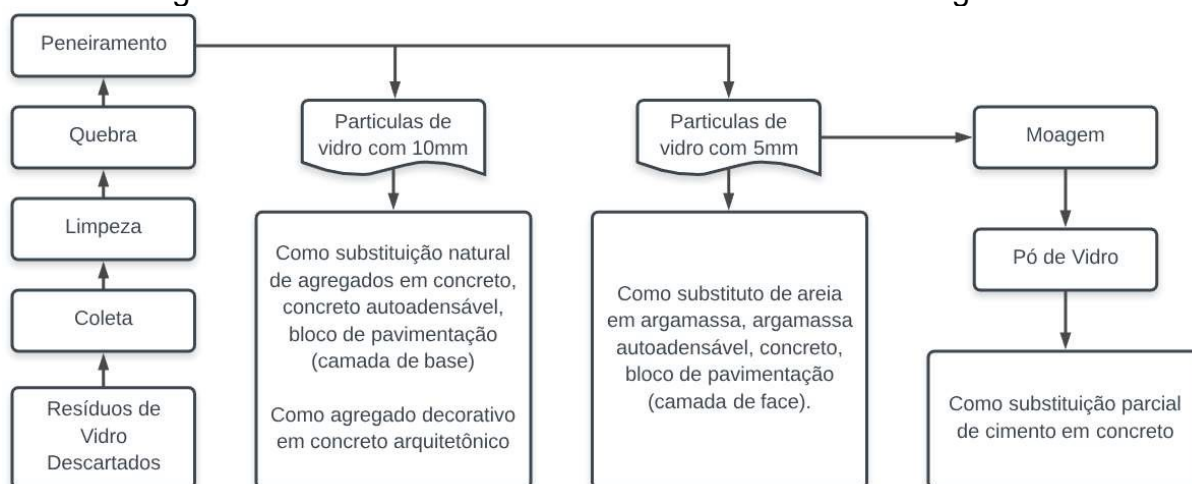
Componentes Químicos	Vidros Âmbar (%)	Vidros Verdes (%)	Vidros Brancos (%)
SiO <sub>2</sub>	70.66	72.25	69.82
CaO	9.12	12.35	8.76
Na <sub>2</sub> O	8.32	10.54	8.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.53	2.54	1.02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.52	-	0.55
MgO	1.45	1.18	3.43
K <sub>2</sub> O	1.03	1.15	0.13
TiO <sub>2</sub>	0.27	-	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07	-	-
MnO <sub>2</sub>	0.04	-	-
SO <sub>3</sub>	-	-	0.2

Fonte: Elaboração própria

Tammana *et al.* (2013) levantou e compilou diversos trabalhos realizados com a substituição parcial tanto de agregados miúdos, como de Cimento Portland, por vidro moído. Estudos como os de Schmidt *et al.* (1963), Pike *et al.* (1960), Phillips *et al.* (1972) e Johnston (1974), realizam a utilização do vidro moído desde 1960, e o alto custo para disposição adequada, aliada ao relacionamento ambiental da utilização deste material atraíram diversos pesquisadores nos últimos 20 anos. A Figura 17 mostra os passos de conversão do resíduo de vidro em materiais válidos para substituições de areia e adições pozolânicas em concretos. (*apud* SHI, 2005)



Figura 17 - Processo de conversão do vidro em material granular



Fonte: Adaptado de TAMANNA *et al.* (2013)

Cavalli *et al.* (2014) avaliou o comportamento do vidro em substituição à areia, mantendo-se a faixa granulométrica. As porcentagens de substituições variaram em 25%, 50%, 75% e 100% para ensaios de resistência à compressão axial e de 50% e 100% para os ensaios de expansão. Tendo como fonte a coleta seletiva de Porto Alegre, foram avaliadas as cores âmbar e branca, na substituição parcial dos agregados miúdos em peças de argamassa produzidas com Cimento Portland CPV-ARI. Foram testadas as propriedades de reatividade dos álcalis, onde ocorre a formação de um gel higroscópico expansivo, constatando-se que todos os traços, incluindo o de referência, apresentaram valores acima do permitido. Nenhum dos traços adotados alcançaram a resistência à compressão da mistura com areia natural, porém apresentou-se um comportamento crescente nas substituições de até 75% de vidro da cor branca, com valores sempre acima das misturas com a cor âmbar. Por fim, o autor sugere o estudo utilizando outros tipos de cimentos, principalmente havendo a presença de maiores teores de pozzolana.

López *et al.* (2005) realizou seu estudo em duas linhas, primeiramente a substituição da areia por vidro moído e então a adição deste material. Na primeira etapa foram substituídos 5% em diferentes faixas granulométricas, 0-0,15 mm; 0,15-0,30 mm e 0,30-0,60 mm para determinar a melhor faixa de substituição, e então foram realizadas substituições com 5, 10, 15 e 20% em peso de areia por vidro moído na faixa granulométrica com melhor resistência. Na segunda linha, as mesmas porcentagens foram adotadas para a adição do vidro moído. Adotando 0,15-0,30 mm como sendo a faixa com maior resistência, obteve-se um crescimento na resistência diretamente proporcional ao teor de vidro moído alcançando 57% de

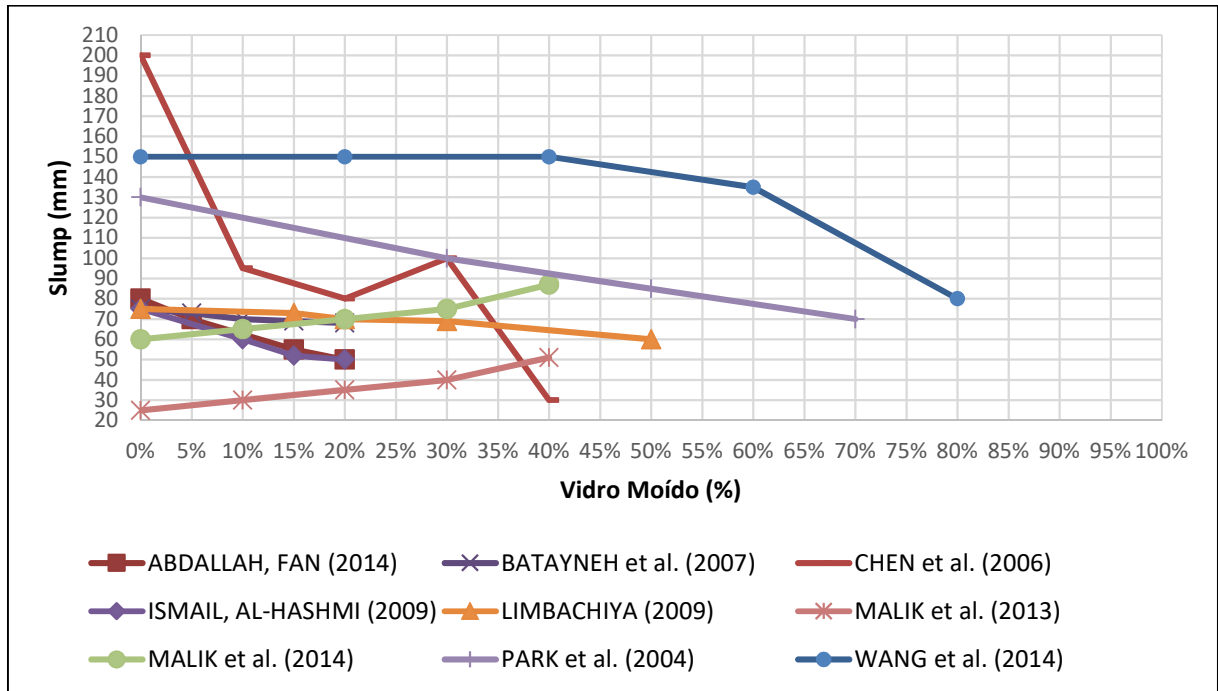
aumento na mistura com 20% de substituição. Resultado não encontrado na segunda linha da pesquisa onde a resistência fora decrescente.

Bhandari e Tajne (2013), utilizou percentuais de substituição variando de 10 a 30% em peso, tendo 1:2, 1:3 e 1:4 como sendo os traços para os testes em argamassas com três tipos de agregados, areia padronizada, areia natural e vidro moído. Este último possuindo variações de tamanhos e cores, em: Vidro Fino Branco e Vidro Fino Colorido, com tamanhos entre 600 $\mu$ m e 1.18mm, e 1.18mm – 4.75mm. Como resultados da pesquisa, com a utilização de resíduo de vidro tem-se a redução de água necessária na mistura, o aumento na densidade e decréscimo da resistência à compressão. Foram encontradas maiores resistências nas misturas com vidro colorido do que nos brancos. Os autores enfatizam que a redução da resistência à compressão possivelmente é devido à alta relação água/cimento, uma vez que há uma menor absorção por parte do vidro.

Seguindo a mesma linha de desenvolvimento retratada acima, diversos outros trabalhos desenvolveram a substituição de agregado miúdo por vidro moído, e na Figura 18 e Figura 19 são mostrados os resultados de variação de trabalhabilidade através do ensaio de *Slump Teste* de resistência à compressão encontrados nos trabalhos desenvolvidos por Abdallah e Fan (2014), Ali e Al-Tersawy (2012), Batayneh *et al.* (2007), Borhan (2012), Cavalli (2014), Chen *et al.* (2006), Gautam *et al.* (2012), Ismail e Al-Hashmi (2009), Lee *et al.* (2013), Limbachiya(2009), López *et al.*(2005), Malik *et al.* (2013), Malik *et al.*(2014), Park *et al.* (2004), Oliveira *et al.* (2008), Taha Nounu(2008) e WANG *et al.* (2014).

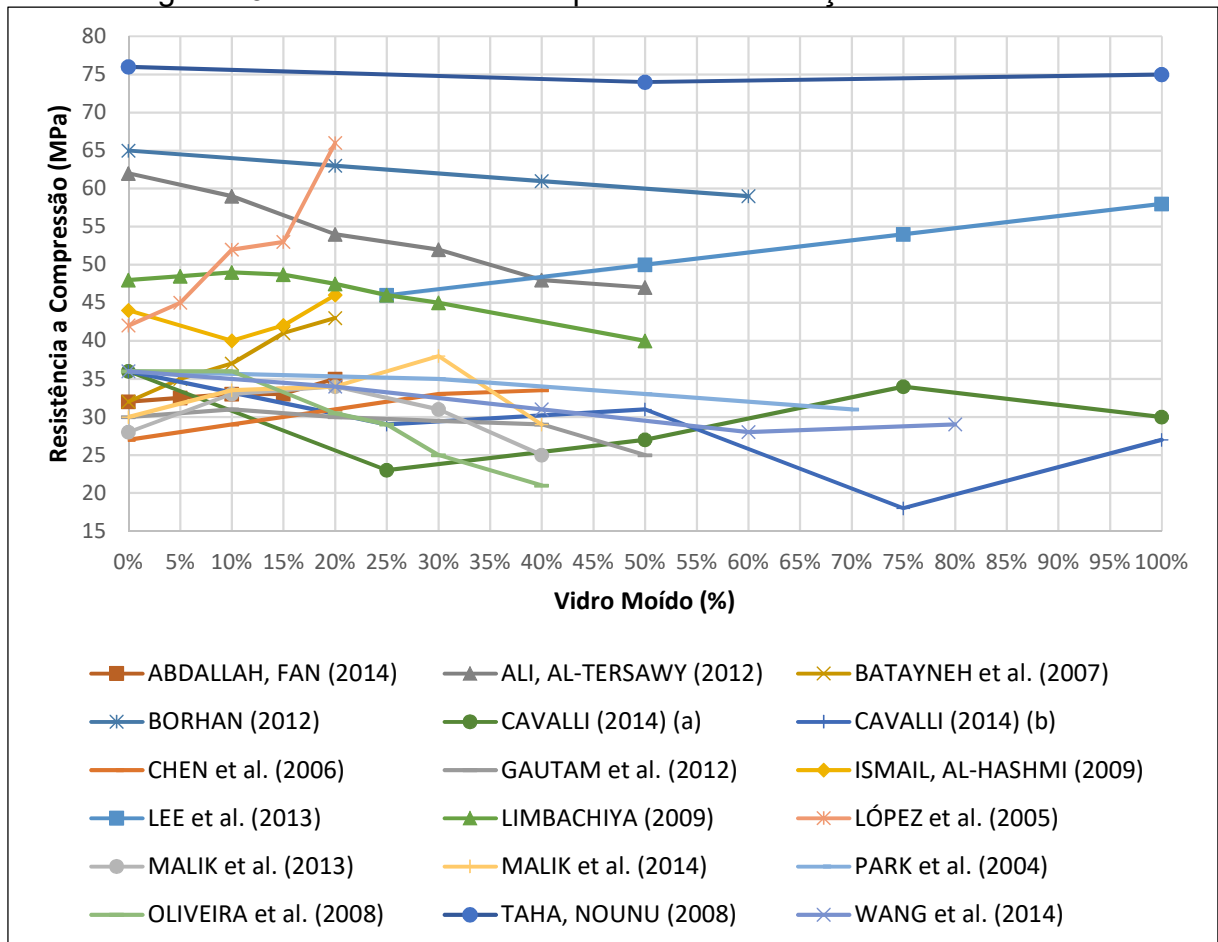
Vale salientar, que todos os parâmetros encontrados pelos diversos autores de diferentes países, servirão como norteio para o presente trabalho, muito embora não sejam esperadas correlações diretas com tais parâmetros, uma vez que, não foi encontrado nenhum trabalho prévio que tenha realizado a substituição de agregado miúdo por vidro cominuído na produção de blocos de concreto para pavimentação intertravada.

Figura 18 – Levantamento de trabalhos - Trabalhabilidade na utilização de vidro moído



Fonte: Elaboração própria

Figura 19 - Resistências à compressão na utilização de vidro moído



Fonte: Elaboração própria.

Todos os resultados encontrados e exibidos na Figura 19, mostram as resistências à compressão encontradas por diversos autores. Como forma de simplificar a interpretação dos resultados levantados, a Figura 20 exhibe um compilado destes, sendo apenas omitidos aquelas porcentagens de substituições que não foram analisadas pelos trabalhos encontrados.

Figura 20 - Compilação dos resultados levantados



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 20 mostra que apenas as substituições de até 20% apresentam mais do que 50% de aumento na resistência à compressão. No entanto, foram encontrados trabalhos com ganho de resistência para maiores porcentagens de utilização de vidro, necessitando avaliar a quais condições estes materiais foram produzidos e ensaiados.

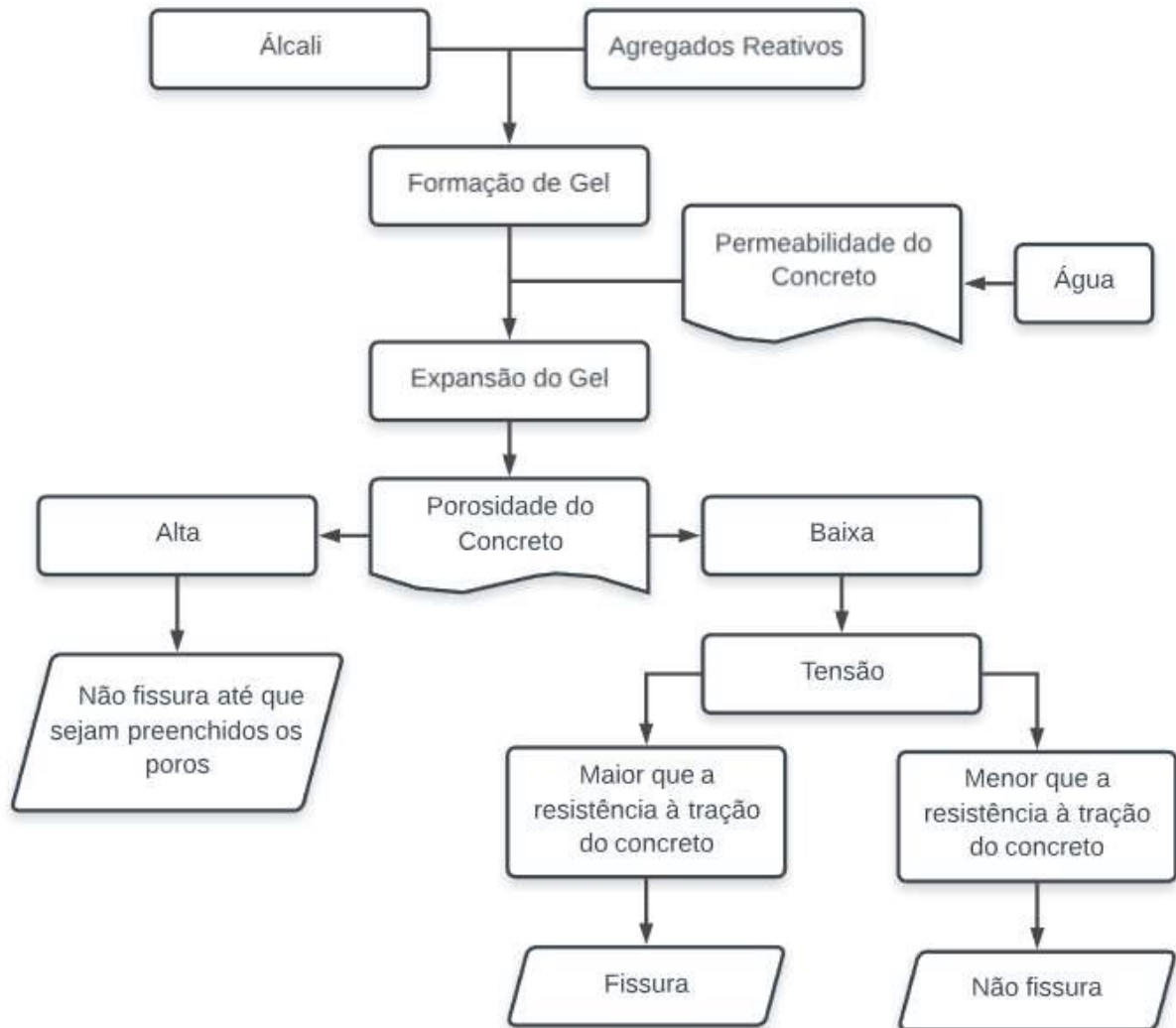
## 2.7 Análise da Reação Álcali-Agregado

Embora a durabilidade da peça não norteie o presente trabalho, é válido salientar que é necessário realizar uma análise detalhada da durabilidade de concretos compostos por vidro como agregado miúdo.

A Reação Álcali-Agregado (RAA) é resultado de um processo químico envolvendo íons alcalinos (Na e K) provenientes de materiais cimentícios e certos componentes do agregado que ocorre no concreto no estado endurecido, em idades

tardias. Basicamente, ao hidratar, uma parcela dos silicatos produzidos é incorporada nos produtos cimentícios provenientes da hidratação, e outra parcela, forma um gel que, ao longo dos anos e na presença de água, expande, gerando fissuras e deslocamentos causando comprometimento do material cimentício. A Figura 21, mostra um esquema dos itens atuantes. (FERRARIS, 2005)

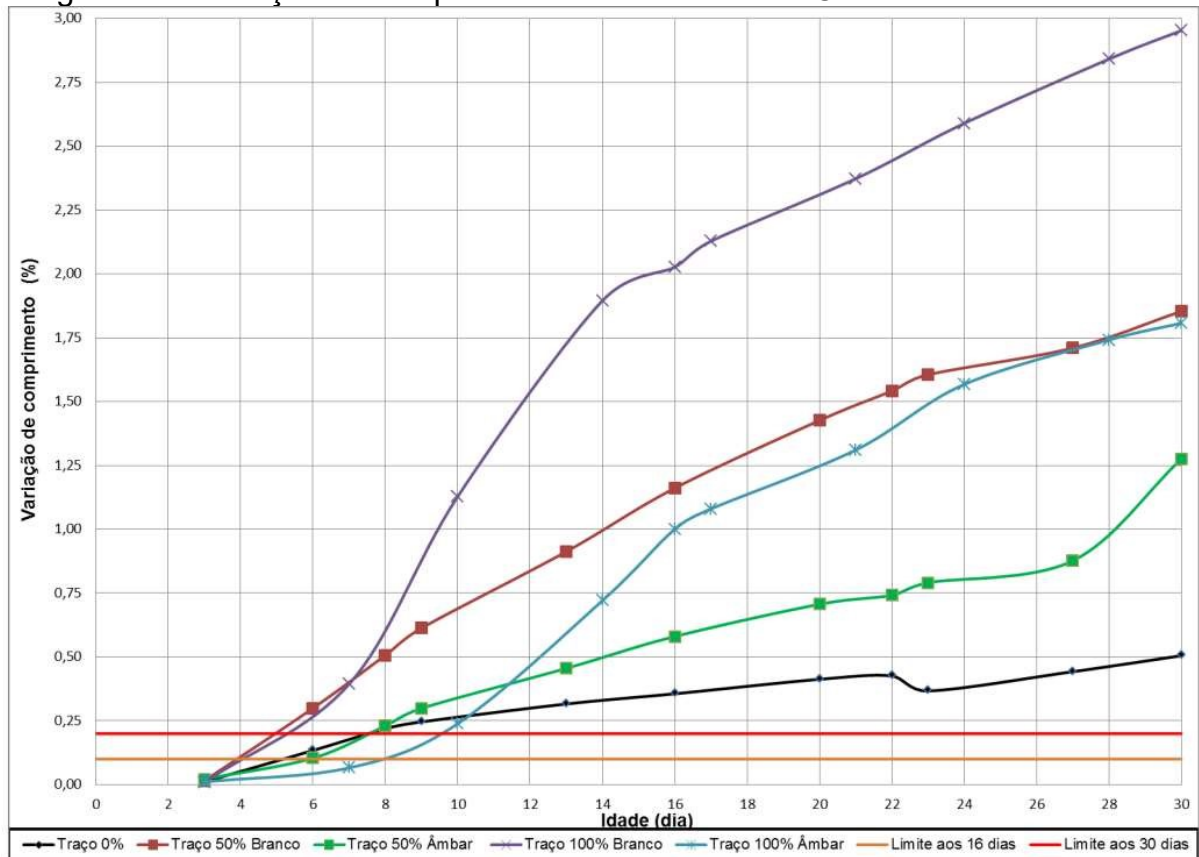
Figura 21 - Mecanismo da atuação do RAA



Fonte: Adaptado de VALDUGA (2007)

Cavalli (2014) avaliou a RAA em argamassas com a presença de diferentes cores de vidro reciclado para diferentes composições. Constatou-se, além do crescimento da variação do comprimento das barras de argamassa proporcional à utilização de vidro moído, que todas as amostras apresentaram valores acima dos limites estipulados pela norma, tanto aos 16 quanto aos 30 dias, incluindo o traço de referência. Tais dados são expostos na Figura 22.

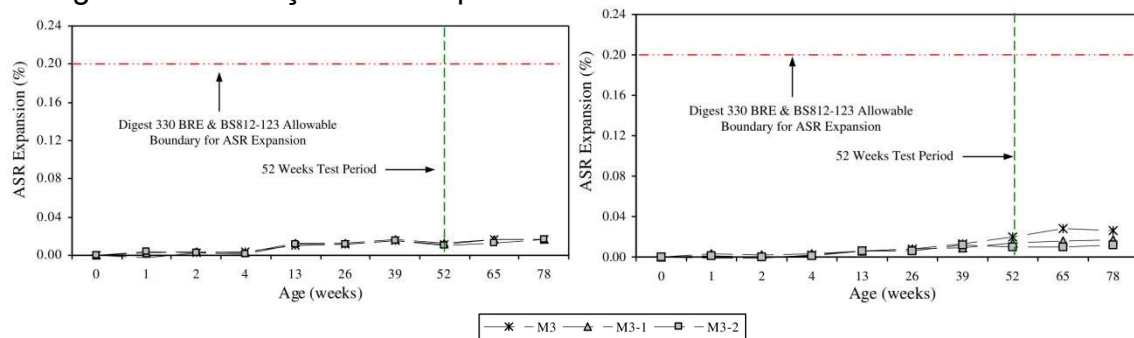
Figura 22 - Variação de comprimento das amostras de Cavalli no Ensaio de RAA



Fonte: CAVALLI (2014)

Em contrapartida, Taha (2007) encontrou valores abaixo dos limites, como mostrado na Figura 23.

Figura 23 - Variação de Comprimento das amostras de Taha no Ensaio de RAA



Fonte: TAHA (2007)

Ao haver discrepâncias nos resultados, fica evidente que a presença de um agregado com potencial reativo, devido a composição de cerca de 12% dos íons alcalinos (Na e K), não é a única variável implicante na RAA. Coutinho (1998) retrata que os principais meios empregados para evitar a ocorrência da RAA como sendo, além de não utilizar agregados reativos:

- Utilizar cimentos com teor de álcali inferior a 0,6% em massa de cimento;

- Utilizar pozolana, escória granulada de alto-forno entre outras adições em quantidade e qualidade suficiente;
- Usar baixas razões água/ligante (mais compactos);
- Evitar umidade no concreto, que é imprescindível para se dar a reação.

Em outras palavras, aliando as informações de Coutinho (1998) e Valduga (2007), no fluxograma da Figura 21, é possível afirmar que com a adoção de um concreto seco, aliado às altas tensões de compactação na moldagem, como é o caso dos *pavers*, é possível obter condições que buscam inibir a RAA.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentado de forma detalhada as etapas que compõe o desenvolvimento desta pesquisa além de ser descrito de maneira objetiva, os materiais utilizados para a produção dos blocos de concreto para pavimentação, assim como os procedimentos experimentais necessários para a obtenção do agregado miúdo proveniente de embalagens de vidro não retornáveis, e a devida caracterização das propriedades físico-mecânicas dos agregados e dos blocos de pavimentação com este agregado.

#### 3.1 Materiais

Neste item serão apresentados os materiais empregados na produção dos *pavers* que de forma geral são: cimento, areia, pedrisco, pó de pedra, água e aditivos. Também o vidro cominuído, foco do presente trabalho.

O cimento adotado será o CP V. Este cimento é largamente utilizado nas indústrias de produção de artefatos pré-fabricados de concreto devido ao ganho de resistência elevado logo nas primeiras idades. A areia a ser substituída é proveniente de Manoel Viana/RS, já o pedrisco e o pó de pedra são britados a partir de rochas do interior do Alegrete/RS, comercializados pela Pedra Rosada. A água de amassamento deve atender à ABNT NBR 15900-1, e os aditivos respeitar a NBR 1178.

Quanto ao vidro cominuído, terá sua obtenção descrita no item 3.2.1, e será caracterizado no item 3.2.1.5. Devido as variações das composições mostradas na Tabela 6, deve-se restringir a pesquisa em relação à cor das garrafas. Após a realização da coleta, observou-se a presença massiva da cor Âmbar, determinando assim a utilização somente desta cor para o presente trabalho. Assim os *pavers* possuirão as seguintes composições, com as respectivas nomenclaturas, mostradas na Tabela 7.

Tabela 7 - Nomenclatura e composições das amostras

Nomenclatura	Areia (%)	Vidro (%)
Pref	100%	0%
P10	90%	10%
P20	80%	20%
P30	70%	30%

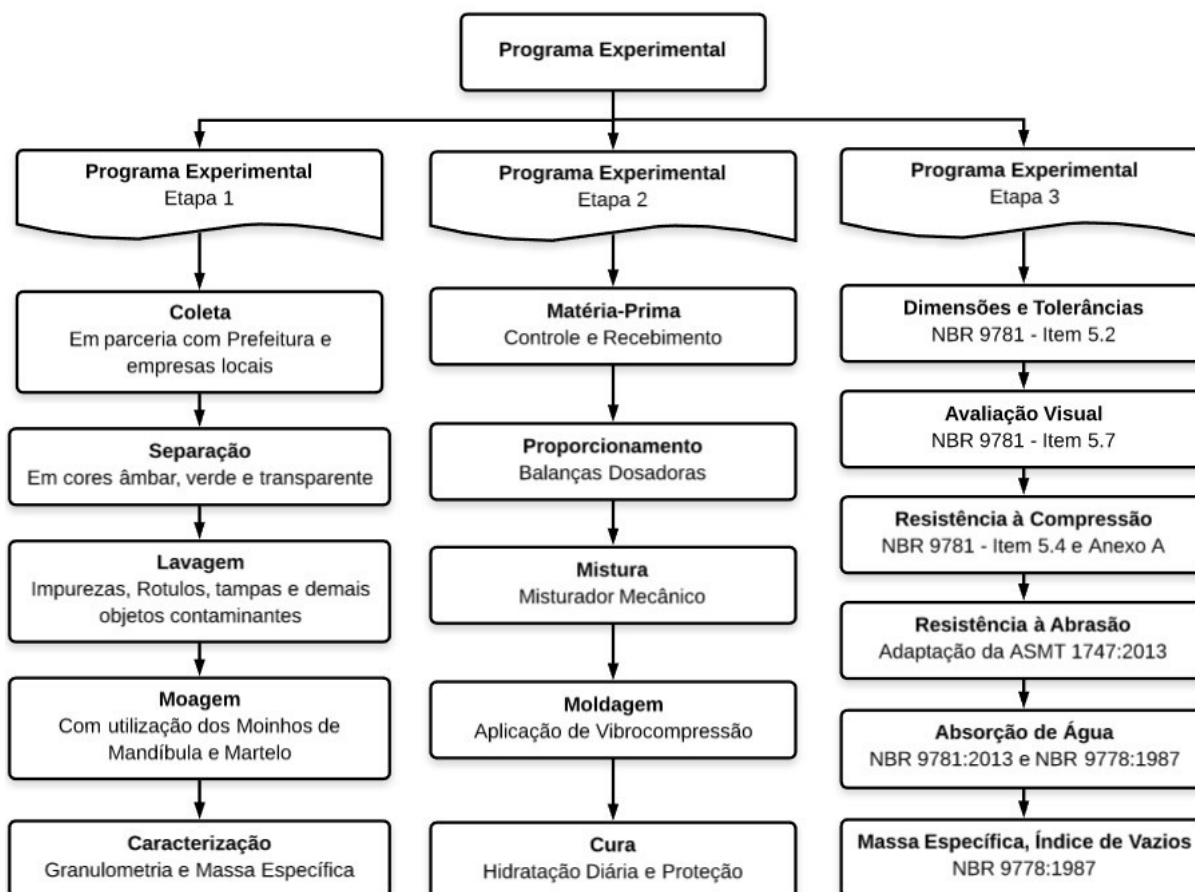
Pref – Paver de referência (0% de vidro)  
P10 – Paver com 10% de vidro cor âmbar  
P20 – Paver com 20% de vidro cor âmbar



### 3.2 Programa Experimental

O programa experimental consiste em três etapas descritas de forma sucinta nos itens 3.2.1, 3.2.2 e 3.2.3, e representado de forma breve na Figura 24.

Figura 24 - Estrutura do Programa Experimental

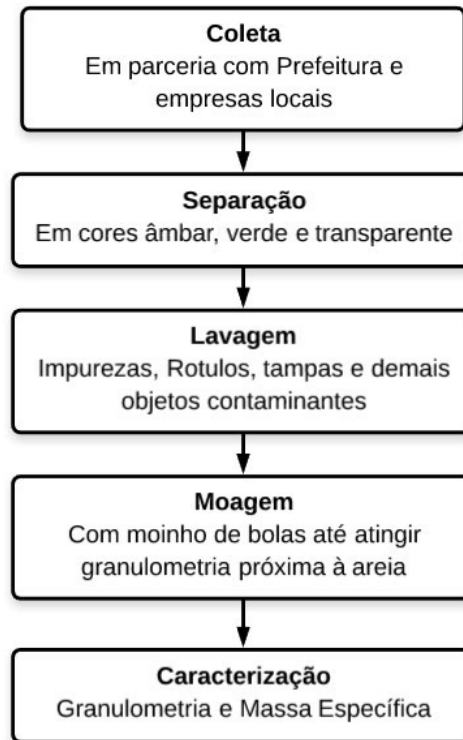


Fonte: Elaboração própria

#### 3.2.1 Programa Experimental – Etapa 1

Correspondendo as ações frente à obtenção e beneficiamento do vidro reutilizável proveniente da cidade de Alegrete/RS. A Figura 25 apresenta uma organização do Programa Experimental – Etapa 1.

Figura 25 - Estrutura da Etapa 1



Fonte: Elaboração própria.

### 3.2.1.1 Coleta

Buscou-se parceria com a Secretaria do Meio Ambiente para realizar a divulgação da instalação de pontos de coleta na própria Secretaria do Município e na Universidade Federal do Pampa, com o viés de, além de realizar a coleta, possibilitar para cidadãos que guardaram em suas casas este material não degradável, possuam um local de descarte. Porém, com a necessidade de obtenção de um grande volume deste material houve a parceria com diversas empresas locais, como conveniências de postos de gasolinas, bares e lancherias.

A Figura 26 retrata uma reportagem publicada no jornal Em questão e, além deste, houve a divulgação por meios publicitários eletrônicos e entrevista na Rádio Alegrete explicando as intenções do projeto e conscientizando sobre os riscos impostos pelo descarte indevido.

Figura 26 - Publicação em jornal local

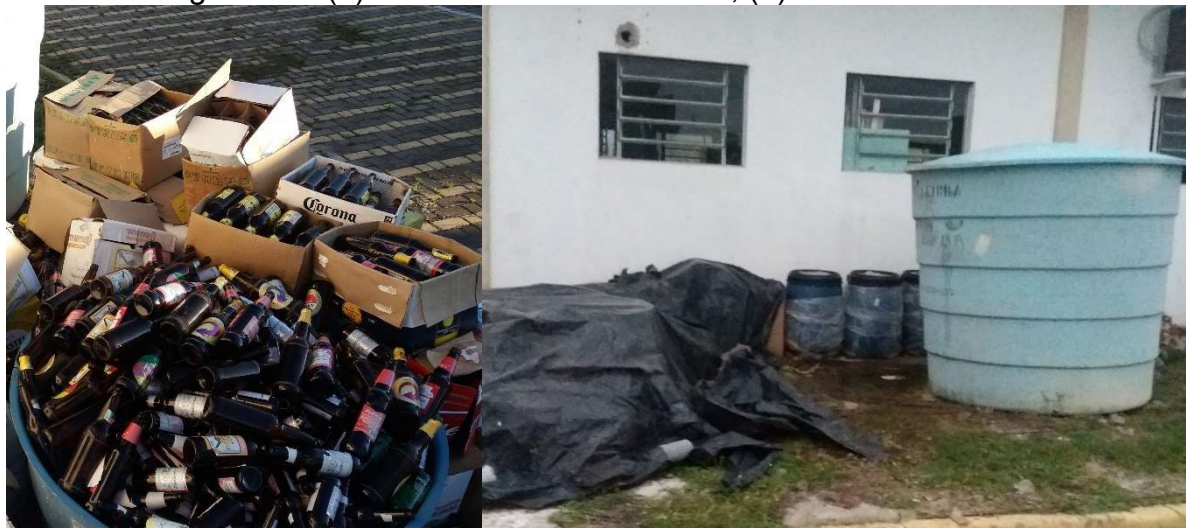


Fonte: EM QUESTÃO (2018)

### 3.2.1.2 Armazenamento e Separação

Tanto a coleta realizada na Secretaria do Meio Ambiente quanto nos pontos de consumo, foram armazenados próximo ao laboratório do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa. Manualmente, foram separadas unitariamente todas as garrafas recolhidas nas cores âmbar, verdes e transparentes. Como representado na Figura 27, foram armazenadas em recipientes cobertos impedindo a ocorrência da reprodução de mosquitos transmissores de doenças como Dengue, Zika e a Chikungunya.

Figura 27 - (a) Recebimento do Material; (b) Armazenamento



Fonte: Elaboração própria

### 3.2.1.3 Limpeza

Junto à separação para o armazenamento, foram retiradas as impurezas presentes nos materiais, tais como tampas, papéis, papelões, dentre outros itens indevidos. Já para realizar a remoção dos rótulos das garrafas, foi necessário deixá-las submersas cerca de sete dias.

Este processo garantiu, além da possibilidade de retirar os rótulos sem deixar a parte adesiva aderida à garrafa, a devida limpeza interna dos recipientes, evitando a presença de quaisquer resíduos que pudessem contaminar o material, como mostrado na Figura 28.

Figura 28 - Limpeza das Garrafas



Fonte: Elaboração própria

### 3.2.1.4 Moagem

O seguinte passo consistiu na quebra diretamente nos tonéis, a trituração e moagem das garrafas de vidro. A trituração, exibida na Figura 29 (b) foi realizada em um moinho de mandíbula disponível na Unipampa Alegrete.

Quanto à moagem, inicialmente iria ser realizado em um moinho de bolas, utilizado para ensaio de abrasão Los Angeles. Mas para este, seria necessário a realização de diversas moagens com a variação do número de esferas de aço, do número de garrafas e ainda ficando suscetível a existência de diferentes tipos de recipientes, com diferentes espessuras e tamanhos. Outra variação necessária seria o tempo de moagem, buscando alcançar uma granulometria o mais próximo possível da areia de referência.

Figura 29 - (a) Quebra dos Vidros; (b) Trituração dos Vidros



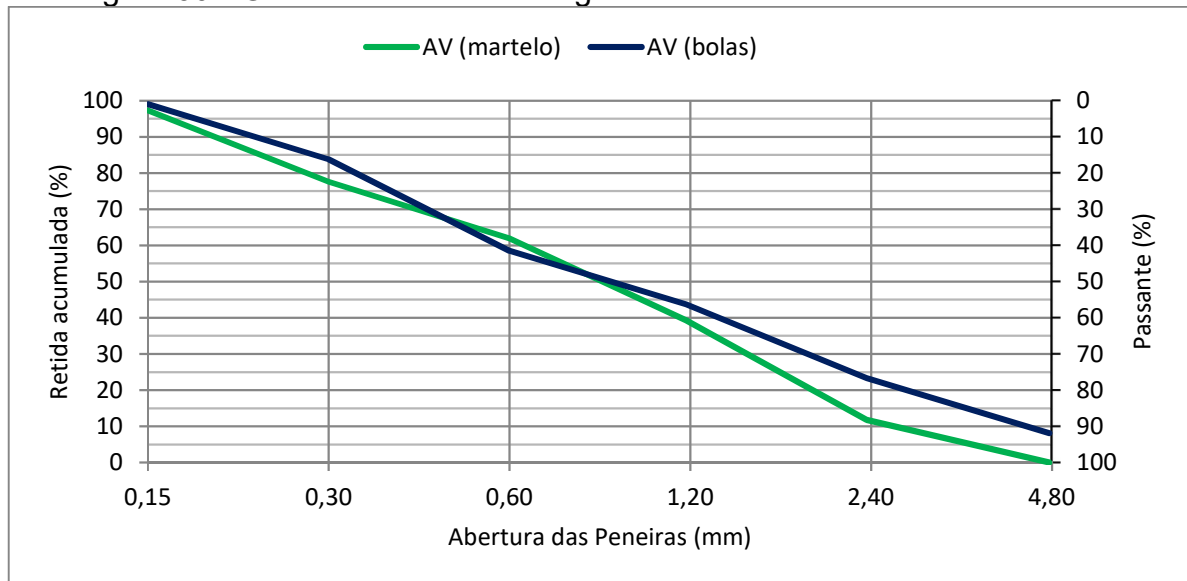
Fonte: Elaboração própria

Este passo foi importante para a pesquisa, uma vez que a disposição granulométrica do agregado graúdo é de suma relevância no comportamento mecânico do material final. Portanto a grande variação das granulometrias encontradas neste ensaio utilizando o Los Angeles invalidou sua utilização, como forma de garantir a produtividade deste trabalho.

A Figura 30 mostra a granulometria da moagem em moinho de martelo e de bolas. Ambas possuindo comportamento semelhante, mas em nenhum caso obteve-se granulometria iguais entre si para os moídos no moinho de bolas.

O tipo de moinho escolhido para realizar a moagem do vidro foi o de martelo, por possuir uma grelha que permite apenas a passagem de materiais com granulometria necessária. Para a moagem, os vidros previamente triturados, foram levados, Figura 31 (a), para a empresa FIDA Calcários e Argamassas, em Caçapava do Sul/RS, que cedeu o uso do Moinho de Martelo mostrado na Figura 31 (b).

Figura 30 - Granulometrias da Moagem em Moinho de Martelo e de Bolas



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 31 - (a) Transporte do Vidro Triturado; (b) Moinho de Martelo



Fonte: Elaboração própria

### 3.2.1.5 Caracterização do Vidro

O material, após moído, foi caracterizado a partir da realização dos seguintes ensaios de caracterização: distribuição granulométrica e massa específica.

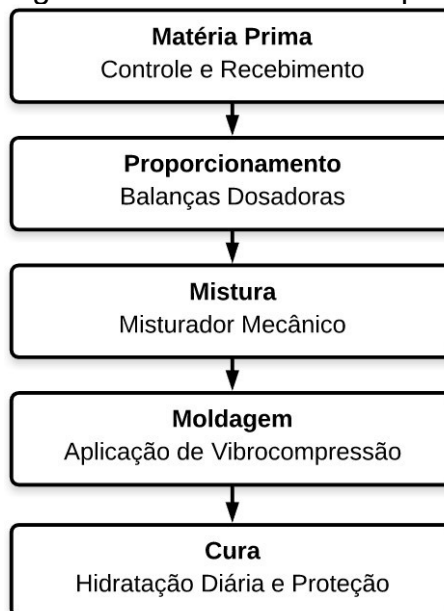
A análise granulométrica realizou-se com base na NBR 7217:2005, mas vale salientar que não necessitou respeitar as normativas limitantes da 7211:2005, por não se tratar de um concreto plástico. Ao se tratar de concreto seco, buscou-se a maior compacidade, deixando a análise da trabalhabilidade de lado.

A massa específica aparente do agregado seco e a massa específica do agregado foram determinadas seguindo a NBR NM 52 e tem seus resultados detalhados no item 4.1.1 e 4.1.2.

### 3.2.2 Programa Experimental – Parte II

Corresponde a definição dos parâmetros de dosagem, aplicação destes e moldagem das amostras. A Figura 32 apresenta uma organização do Programa Experimental – Etapa 2.

Figura 32 - Estrutura da Etapa 2



Fonte: Elaboração própria

#### 3.2.2.1 Fase Laboratorial

A dosagem representa a busca da combinação mais econômica dos materiais componentes. E para estes foram realizados os passos mencionados no item 2.5.1.3 pela empresa Hormigon em parceria com a Universidade Federal de Santa Maria. Não havendo meios de reproduzir as condições de moldagem impostas na indústria, fora utilizado o traço adotado nas produções comerciais da Hormigon, e por este motivo, pode-se apenas relatar que possui relação cimento/agregados igual a 1:6,16 contemplando o consumo de, aproximadamente, 64kg de areia por metro quadrado.

#### 3.2.2.2 Fase Industrial

Após a definição dos traços dos materiais pela metodologia acima descrita, iniciou-se a “Fase Industrial”.

Esta fase consistiu no transporte dos materiais já beneficiados à Hormigon Indústria de Artefatos de Cimento Ltda., instalada na rua Alcides Barbosa da Fontoura, bairro Piola em Alegrete/RS. A empresa concedeu à realização do presente trabalho o uso da vibro-prensa hidráulica da marca Fujian, modelo QFT815, além de operários para auxiliar nas operações de moldagem das amostras seguindo

os passos detalhados no item 2.5.1.3, e do espaço físico para cura prévia ao transporte à Universidade. O local é mostrado na Figura 33.

Figura 33 - Espaço Industrial para Produção dos *Pavers*



Fonte: Elaboração Própria.

Vale relatar que a incorporação do vidro cominuído foi possível devido ao funcionamento da balança dosadora. Como mostrado na Figura 34, foi inserido manualmente o vidro moído na balança, uma vez que esta completa o restante do peso programado no sistema automaticamente.

Figura 34 - Inserção do Vidro Moído na Balança Dosadora



Fonte: Elaboração Própria.



### 3.2.3 Programa Experimental – Etapa 3

Representa a obtenção dos parâmetros de resistência dos traços moldados, através de ensaios laboratoriais, como forma de realizar a comparação e análise das alterações impostas pela utilização do vidro cominuído na produção dos *pavers*. A Figura 35 mostra os ensaios que foram realizados.

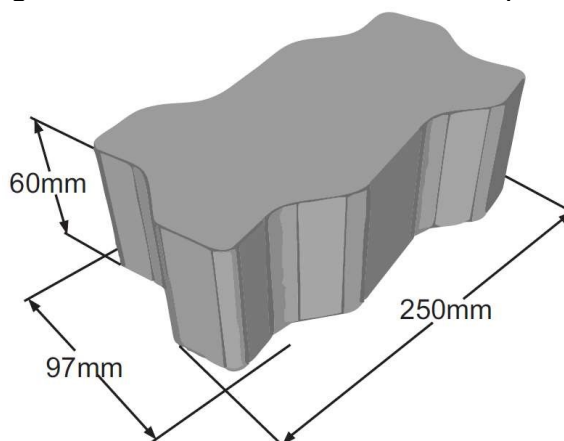
Figura 35 - Estrutura da Etapa 3



Fonte: Elaboração própria

#### 3.2.3.1 Dimensões e Tolerâncias

Devem ser atendidos, as prescrições do item 5.2 da ABNT NBR 9781:2013. Desta forma tem-se a necessidade de obter peças com no máximo 250 milímetros de comprimento e 97 milímetros de largura. Já para a espessura do *paver* precisa ser superior a 60 mm, além de atender o Índice de Forma (IF), que representa a relação entre o comprimento e a espessura, menor ou igual a 4. Tais dimensões possuem restrição de variação em 3mm para mais ou para menos, e são representadas na Figura 36.

Figura 36 - Dimensões mínimas dos *pavers*

Fonte: Elaboração própria

### 3.2.3.2 Avaliação Visual

A avaliação visual não serve como parâmetro técnico para caracterização dos *pavers*, no entanto, a ABNT NBR 9781:2013 valida a simples inspeção visual, com o objetivo de identificar falhas na execução da prensagem do material, gerando uma peça heterogênea, com arestas irregulares ou ângulos retos.

Outro fator é a coloração das peças, que podem possuir variações causadas pelo lote do cimento ou diferenças de umidades, que são permitidos em variações pequenas. Em linhas gerais tenta-se sempre obter uma peça sem defeitos ou imperfeições, como ilustrado na representação da Figura 36.

### 3.2.3.3 Resistência à Compressão

A aplicação prática dos *pavers* em diferentes locais exige resistência característica específica. São divididos pela NBR 9781:2013 em dois grupos, é necessário obter resistência característica à compressão ( $f_{pk}$ ) de 35 MPa para usos comuns, e de 50 MPa para usos em locais com tráfego de veículos especiais, ou que causem abrasão elevada.

Para determinação do  $f_{pk}$  é necessário acoplar 2 discos de 85mm de diâmetro à prensa hidráulica no momento da ruptura, além de seguir todas as demais prescrições no Anexo Normativo A, na mesma norma. O resultado obtido deve ser multiplicado pelo fator "h/d" presente na Tabela 8.

Tabela 8 - Fatores h/d

Altura da peça (mm)	60	80	100	120
Fator "h/d"	0.95	1.00	1.05	1.10

Fonte: Adaptado de FERNANDES (2016)

Porém como forma de evitar variações nas seções de atuações das cargas, as superfícies dos *pavers* foram capeadas utilizando argamassa de traço 1:1, com areia passante na peneira 1,18mm. A quantidade de água foi controlada de forma que se obtivesse a consistência necessária para que houvesse a devida trabalhabilidade e garantindo que todas cavidades fossem devidamente preenchidas, e ainda, que não ficasse com consistência mole a ponto de o peso do *paver* esmagar a argamassa, causando uma camada muito fina e perdendo seu propósito. Tal capeamento é mostrado na Figura 37.

Figura 37 - Capeamento das Amostras

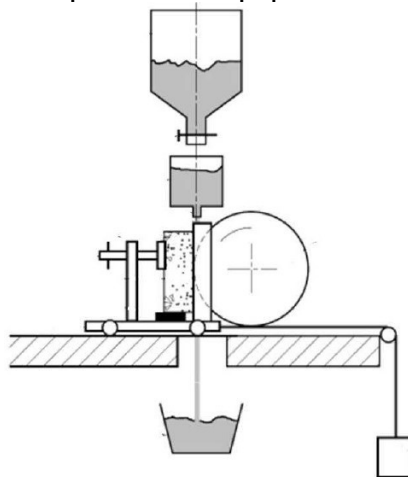


Fonte: Elaboração Própria.

#### 3.2.3.4 Resistência à Abrasão

O Anexo C, da ABNT NBR 9781:2013, detalha os procedimentos que seriam seguidos na execução deste ensaio. No entanto, não houve a possibilidade de realizar este ensaio pela falta da disponibilidade do equipamento mostrado na Figura 38.

Figura 38 - Esquema do equipamento de abrasão



Fonte: ABNT NBR 9781:2013.

Como forma de obter uma análise da degradação do material, foi realizada uma adaptação da ASTM C 1747 no que tange às dimensões do ensaio. Com a adaptação, o ensaio deu-se pela colocação de três amostras de cada conjunto, simultaneamente, na máquina de Abrasão Los Angeles, de forma que ao rotacionar, as amostras chocam-se entre si e nas paredes da máquina. Seguindo as prescrições, foram realizadas 500 rotações do equipamento a uma velocidade de 33 rotações por minuto. A Figura 39 demonstra o equipamento utilizado para infringir impactos nas amostras.

Figura 39 - Equipamento de Abrasão Los Angeles



Fonte: VAS Tecnologia (2018).

### 3.2.3.5 Absorção de Água

A ABNT NBR 9781:2013 limita a absorção de água em 6% para o valor médio, sendo que em nenhuma das amostras pode ocorrer um valor superior a 7%. A mesma norma, em seu Anexo B, detalha os procedimentos deste ensaio. No entanto, como forma de possibilitar a correlação com os resultados dos ensaios de Massa Específica e Índice de Vazios, adotou-se as prescrições da NBR 9778:1987.

Para a realização deste ensaio, como prescrito pela NBR 9778:1987, foram mensuradas as massas: em estado natural e a cada 24 horas de secagem a 105°C, na estufa mostrada na Figura 40 em um total de 72 horas. Para estabelecimento da massa seca, a norma prescreve que se deve obter uma variação de massa inferior a 5%, no entanto como as massas variam de 4000 a 5000g, trata-se de uma variação de 200g, tida como muito elevada. Portanto, adotou-se uma variação menor que 20g para ser referido como seco.

Figura 40 - Amostras Secando em Estufa



Fonte: Elaboração Própria.

Após atingir a constância admitida de massa, as amostras foram submergidas em água a  $1/3$  de sua altura por 4 horas, mostrada na Figura 41,  $2/3$  por mais 4 horas e então a submersão completa das amostras. Então foram mensuradas as massas das amostras no estado saturado superfície seca após 24h, 48h e 72h de submersão, e demais medidas em caso de não se obter a constância de massa. E, por fim, foram realizadas medições das massas imergidas, com uso de uma balança hidrostática.

Figura 41 - Amostras com  $1/3$  de submersão

Fonte: Elaboração Própria.

### **3.2.3.6 Massas Específicas e Índice de Vazios**

Ensaio ocorrido em paralelo à Absorção de Água, estes valores foram obtidos seguindo as prescrições da NBR 9778:1987.

A densidade está diretamente correlacionada à resistência à compressão e é resultado das características do equipamento utilizado para moldagem, além do balanceamento dos materiais componentes. Segundo Fernandes (2016) a massa específica esperada é entre 2200 e 2300 kg/m<sup>3</sup>. Em linhas gerais, quanto mais pesado mais resistente, devido a compacidade dos agregados. Desta forma, procura-se obter valores próximos ou superiores aos 2300 kg/m<sup>3</sup>.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

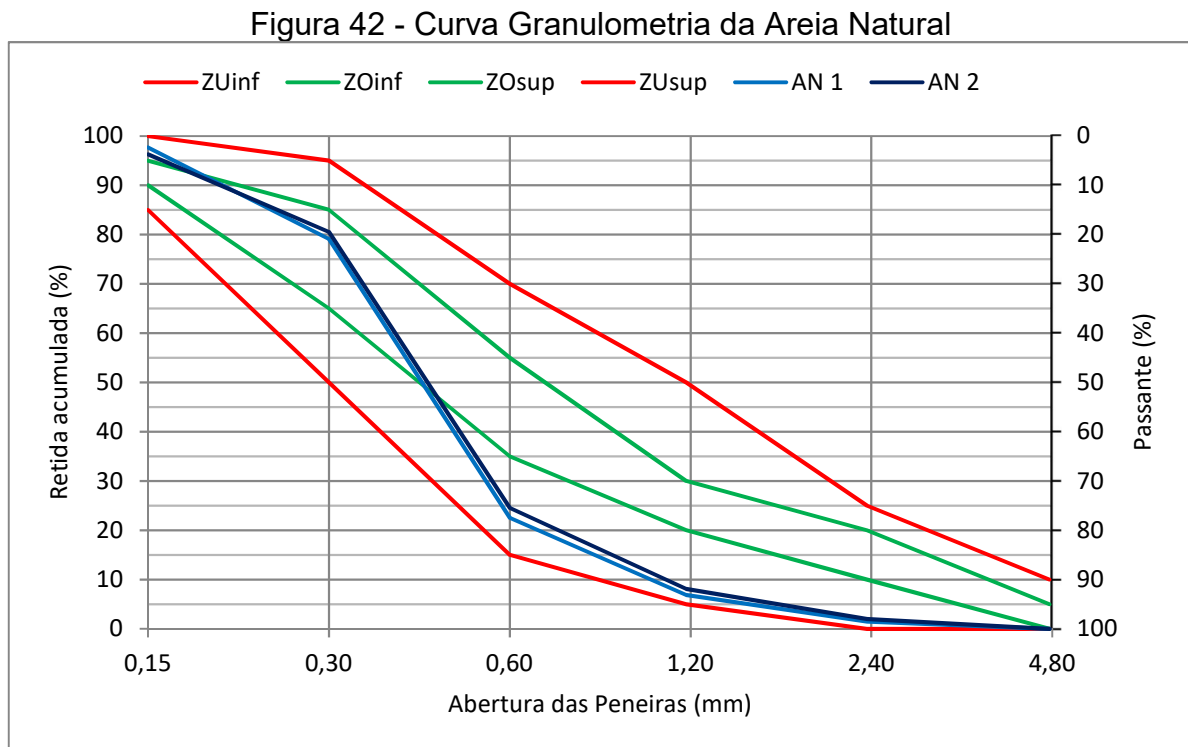
Neste tópico serão apresentados e discutidos os resultados obtidos dos ensaios realizados. Dentro do item 4.1 serão apresentadas as caracterizações dos agregados miúdos e no item 4.2 os resultados obtidos para os ensaios realizados nos *pavers*.

### 4.1 Caracterização dos Agregados Miúdos

Os agregados foram caracterizados através da análise granulométrica e das massas específicas, descritas nos itens 4.1.1 e 4.1.2.

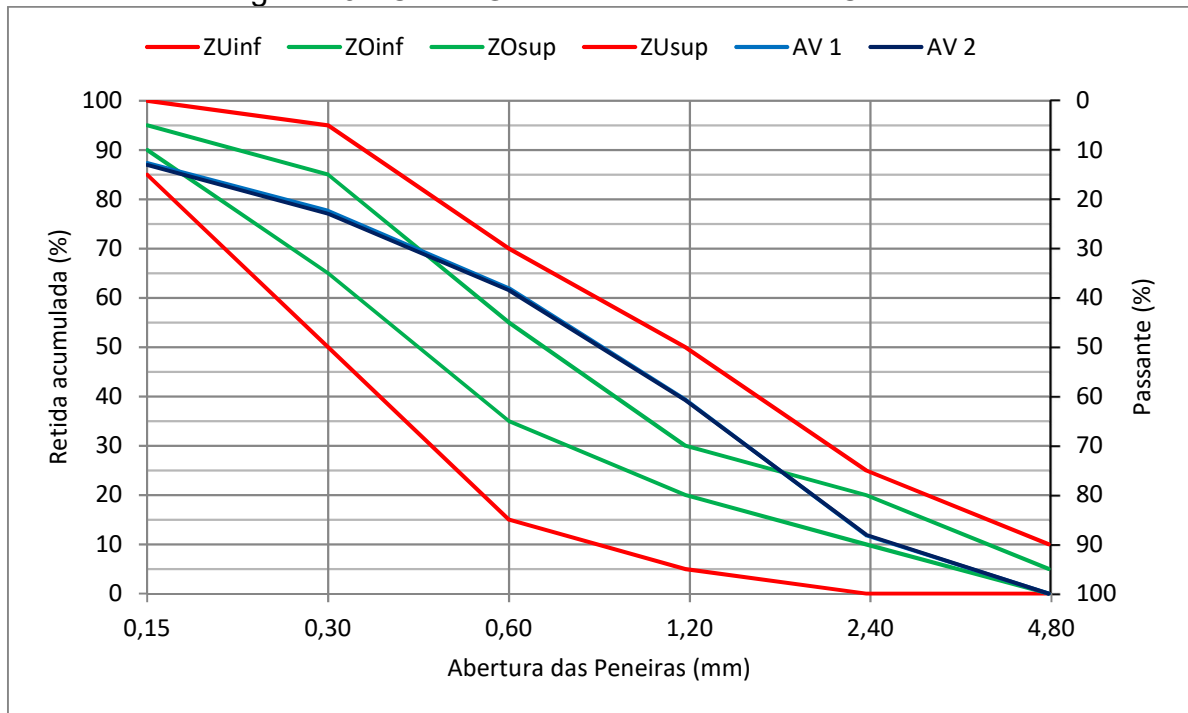
#### 4.1.1 Análise Granulométrica

Através de duas amostras de 2000g, foram obtidas as curvas granulométricas da areia natural, que são mostradas na Figura 42. O mesmo foi realizado para o vidro cominuído e possui granulometria mostrada na Figura 43. Em ambos foram plotados também as curvas limites das Zonas Ótimas e Utilizáveis, apenas como forma de realizar um comparativo a partir de uma referência, pois como já mencionado, esses limites são apenas relevantes para concreto plástico.



Fonte: Elaboração Própria.

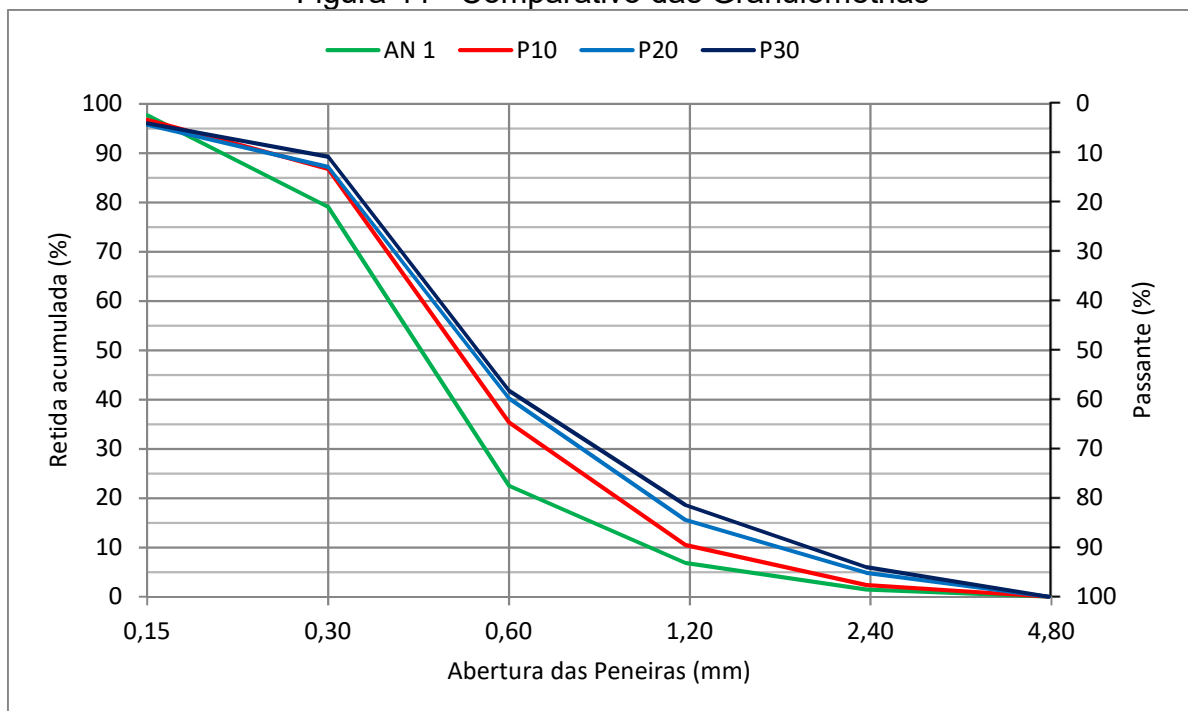
Figura 43 - Curva Granulométrica do Vidro Cominuído.



Fonte: Elaboração Própria.

E então, a partir das substituições de 10, 20 e 30% areia natural por vidro cominuído, foi realizada a análise granulométrica para os agregados miúdos misturados nos mesmos teores de substituições. Um comparativo do comportamento da distribuição granulométrica é exibido na Figura 44.

Figura 44 - Comparativo das Granulometrias



Fonte: Elaboração Própria.



#### 4.1.2 Massa Específica

A partir das prescrições da NBR NM 52, determinou-se a variação de Massa Específica Aparente do Agregado Seco, Massa Específica do Agregado Saturado Superfície Seca e da Massa Específica do Agregado Natural e do Vidro Cominuído. Os resultados são encontrados na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultados das Massas Específicas

Medições e Resultados	Agregado Miúdo	
	Areia Natural	Vidro Cominuído
Volume do Frasco (cm <sup>3</sup> )	500.10	499.80
Volume de Água (cm <sup>3</sup> )	302.30	289.28
M. Seca (g)	499.50	499.00
M. Saturada Superfície Seca (g)	532.90	527.30
M. do Frasco + Agregado (g)	778.40	765.70
M. Frasco + Agregado + Água (g)	1080.10	1054.40
M. Específica Aparente do Agregado Seco (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.525</b>	<b>2.370</b>
M. Específica do Agr. Sat. Superfície Seca (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.694</b>	<b>2.505</b>
M. Específica do Agregado (g/cm <sup>3</sup> )	<b>3.040</b>	<b>2.739</b>

Fonte: Elaboração Própria.

Houve, portanto cerca de 7% de decréscimo nas massas específicas que levam em consideração os vazios presentes. Já para a massa específica dos grãos, fora encontrada uma redução de 10,97%. Dentre diversas outras aplicações, a redução do peso das peças de concreto são fonte de redução dos valores de transporte dos produtos no momento da comercialização. A Figura 45 mostra o ensaio realizado.

Figura 45 - Ensaio de Massa Específica dos Agregados em Andamento



Fonte: Elaboração Própria.

## 4.2 Análise das Propriedades Físico Mecânicas dos Pavers

Neste tópico serão exibidos todos os resultados obtidos para os *pavers* de referência e com as substituições de vidro utilizadas para as análises Dimensionais, Avaliação Visual, determinação da Resistência à Compressão, e à Abrasão, Absorção de Água, Massa Específica e Índice de Vazios. Para estes ensaios a NBR 9781:2013 determina a amostragem mínima, e são mostrados na Tabela 10. Vale frisar que nas figuras que representam graficamente os resultados médios destes ensaios, é mostrada uma barra representando o coeficiente de variabilidade obtido.

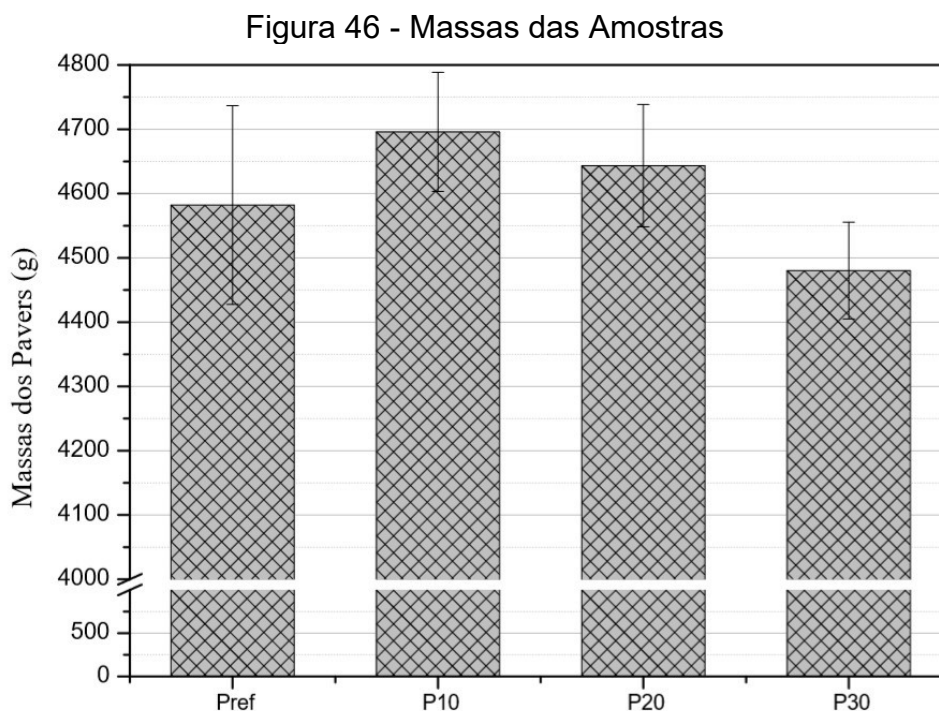
Tabela 10 - Amostragem Mínima para Lotes de Produção

Propriedade	Amostragem Mínima	Amostragem Realizada
Inspeção Visual	6	10
Análise Dimensional	6	10
Absorção de Água	3	3
Resistência a Compressão	6	10
Resistência a Abrasão	3	3

Fonte: Adaptado de NBR 9781:2013.

### 4.2.1 Dimensões e Tolerâncias

Além das dimensões, foram analisadas as variações de pesos das amostras, que está diretamente correlacionado a compacidade das amostras. Vale ressaltar, que para o crescimento encontrado para P10, de mais de 100g deve-se ainda levar em consideração a utilização do agregado com massa específica 10,97% inferior à areia natural. Os resultados são mostrados na Figura 46.



Fonte: Elaboração Própria.

A análise das dimensões de 10 amostras para cada conjunto resultou nos valores médios mostrados na Tabela 11. Todas as dimensões encontradas estão de acordo com as dimensões estabelecidas e anteriormente mostradas na Figura 36.

**Tabela 11 - Dimensões Médias**

Amostra	Largura (cm)	Comprimento (cm)	Altura (cm)
Pref	10.97	21.97	7.86
P10	11.02	22.23	8.05
P20	11.17	22.22	7.99
P30	11.11	21.97	8.09

Fonte: Elaboração Própria.

#### **4.2.2 Avaliação Visual**

A análise visual iniciou-se logo após a moldagem das amostras e transcendeu a realização dos ensaios. Para todos os conjuntos, obtiveram-se arestas bem definidas, no entanto é possível perceber visivelmente a alteração da compacidade das amostras P10, em contraste a presença de poros e desagregações das amostras Pref. A Figura 47, Figura 48, Figura 49 e Figura 50 mostram a análise visual das amostras Pref, P10, P20 e P30, respectivamente.

Figura 47 - Aspecto Visual dos Pavers Pref



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 48 - Aspecto Visual dos Pavers P10



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 49 - Aspecto Visual dos Pavers P20



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 50 - Aspecto Visual dos Pavers P30



Fonte: Elaboração Própria.

#### 4.2.3 Resistência à Compressão

Com a intenção de proporcionar uma amostragem representativa das amostras produzidas, foram ensaiados 10 *pavers* para as idades de 7 e 28 dias,

para cada conjunto de amostras, atendendo a quantidade mínima exigida pela NBR 9781. O dispositivo requerido para o ensaio é mostrado na Figura 51.

Figura 51 - Dispositivo de Ensaio com diâmetro de 85mm



Fonte: Elaboração Própria.

Com a realização do ensaio, obteve-se resultados discrepantes em relação a média dos resultados, e como forma de evitar a interferência desses resultados não representativos, foram retirados dos cálculos das médias todos os valores que possuísem um Coeficiente de Variação maior que 10% em relação à média. Um dos problemas encontrados, que resultou na discrepância mencionada, é mostrada na Figura 52, um grumo de cimento não hidratado adequadamente, criando um ponto falho e causando rompimento com metade da carga da média de seu conjunto.

Figura 52 - Exemplo de Defeito encontrado no Paver



Fonte: Elaboração Própria.

Na Tabela 12 estão mostrados a média, desvio padrão e coeficiente de variação dos resultados obtidos no ensaio de compressão. E na Figura 53 são mostrados os resultados dos ensaios à compressão.

Tabela 12 - Resultados do Ensaio de Compressão: Média, Desvios e CV

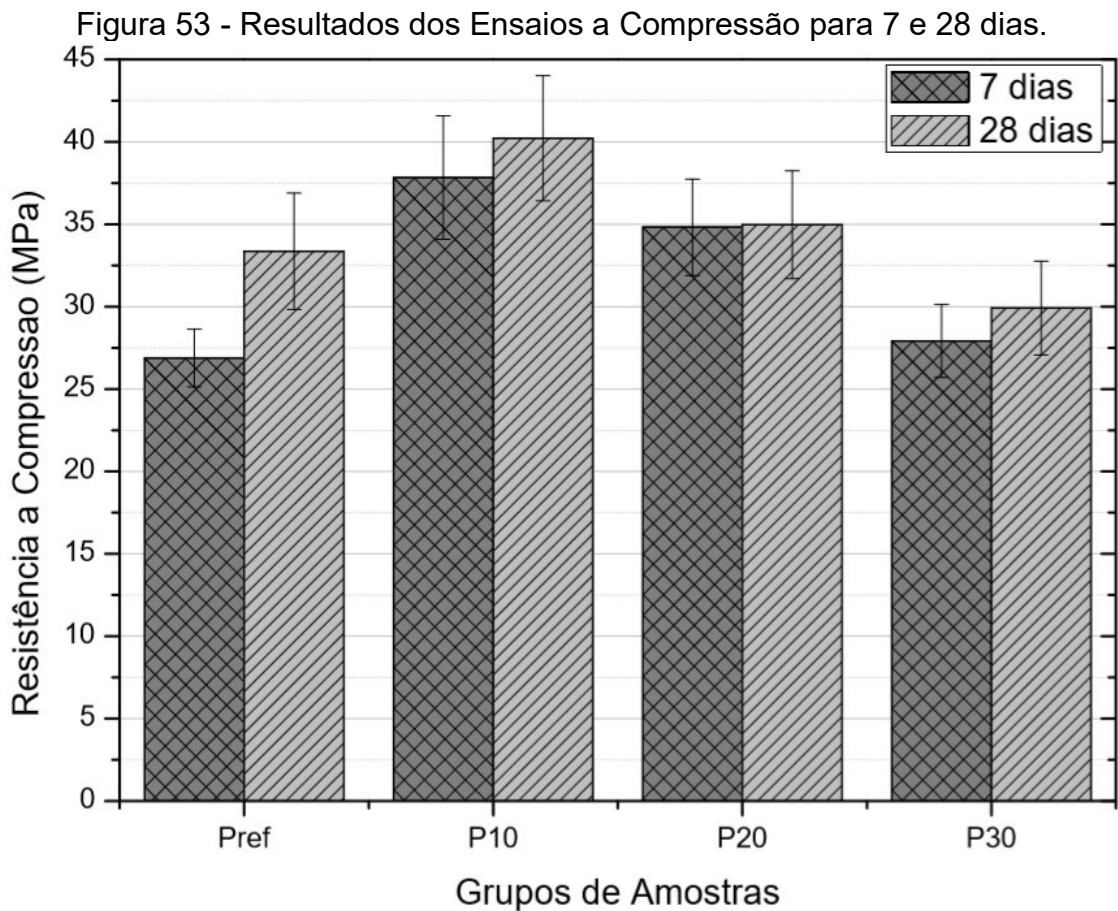
Grupo	Tensão (MPa)		Desvio (MPa)		Coef. De Variação (%)	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
Pref	26.88	33.36	1.75	3.53	6.51%	10.58%
P10	37.83	40.22	3.75	3.79	9.90%	9.43%
P20	34.82	34.97	2.93	3.28	8.41%	9.37%
P30	27.92	29.92	2.22	2.85	7.94%	9.53%

Fonte: Elaboração Própria.

Além da variação do percentual de ganho de resistência dos 7 para os 28 dias, é possível constatar o acréscimo de 20,56% com a substituição de 10% da areia por vidro. Este ganho de resistência, pode possibilitar, com estudos mais aprofundados, não só a remoção desse resíduo sólido do meio ambiente e a redução da remoção da areia natural dos leitos dos rios, como também a redução do consumo de cimento no concreto, causando também a redução da extração de calcário das jazidas utilizadas para produção do cimento Portland.

No entanto, deve-se levar em consideração que por se tratar de um resíduo, as amostras P20, que apresentaram 4,82% de crescimento, agregariam o dobro de impacto ambiental. Seguindo a mesma linha, os 10% de queda na Resistência à

Compressão para P30, devem possuir análises dos custos para verificar sua viabilidade.



Fonte: Elaboração Própria.

Os altos valores de variação, podem ser ocasionadas pela forma de distribuição do concreto nas matrizes. A Figura 54 demonstra a variação da distribuição dos materiais nas cavidades da matriz, evidenciada sempre na última prensagem de cada mistura, mas presente em todas as situações. E como a matriz prensa uniformemente, as cavidades mais afastadas do centro do cone de lançamento do concreto acabam por possuir uma menor quantidade de material, e por consequência uma menor resistência. (FERNANDES, 2016)



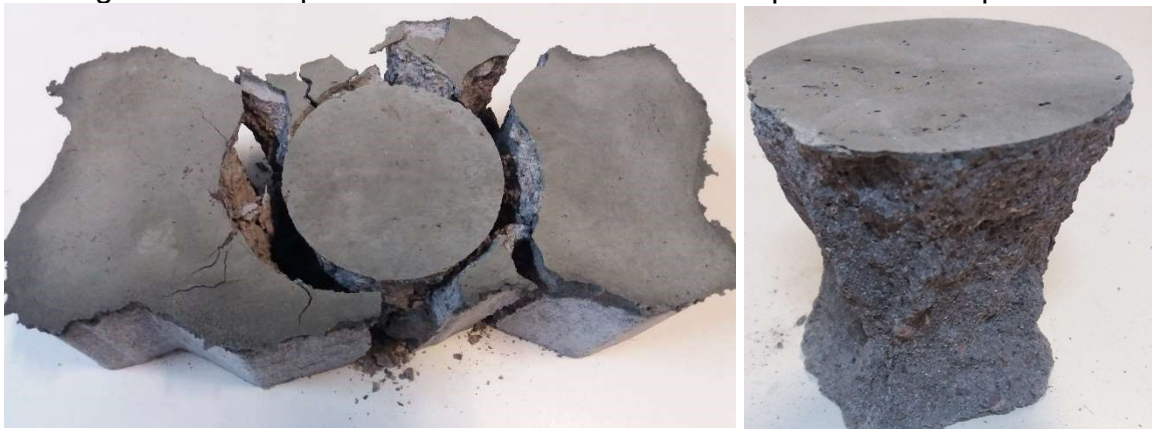
Figura 54 - Distribuição cônica dos materiais na matriz



Fonte: Elaboração Própria.

Com relação ao comportamento das amostras no ensaio de compressão, observa-se o rompimento de forma cônica das amostras. Tal comportamento é possível observar na Figura 55.

Figura 55 - Comportamento das amostras no rompimento à compressão



Fonte: Elaboração Própria.

#### 4.2.4 Resistência à Abrasão

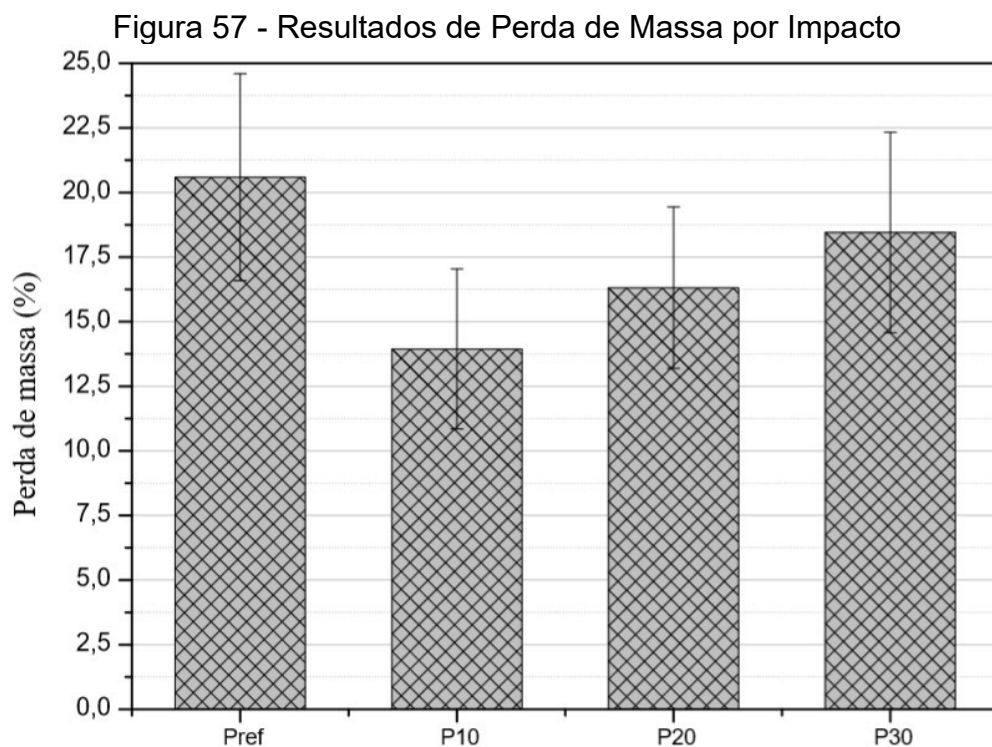
Seguindo as quantidades prescritas tanto pela NBR 9781 e ASTM 1747, foram colocadas 3 amostras no equipamento de Los Angeles, como mostra-se na Figura 56.

Figura 56 - Interior do equipamento Los Angeles com as 3 amostras



Fonte: Elaboração Própria.

Os resultados encontrados neste ensaio são mostrados na Figura 56 e nesta é possível correlacionar de forma direta os resultados dos ensaios de compressão. Desta forma, os comportamentos se mostram inversamente proporcionais, pois quando há maiores perdas de massa, menores são as resistências à compressão, e vice-versa.



Fonte: Elaboração Própria.

Na Figura 58 é possível observar a variação do comportamento das amostras após a aplicação das 500 rotações. Na Figura 58 (b) tem-se as amostras Pref após ensaios e apresentam arestas vivas se relacionados aos mostrados na Figura 58 (a), que são as amostras P10.

Figura 58 – (a) Amostras Pref após ensaio; (b) Amostras P10 após ensaio.



Fonte: Elaboração Própria

#### 4.2.5 Absorção de Água e Índice de Vazios

O item 3.2.3.5 descreve os passos utilizados para obter as massas secas, massas saturadas e massa submersa das amostras. Com estas massas, foi possível realizar o cálculo da Absorção e do Índice de Vazios, os resultados numéricos são mostrados na Tabela 13 e graficamente ilustrados na Figura 59.

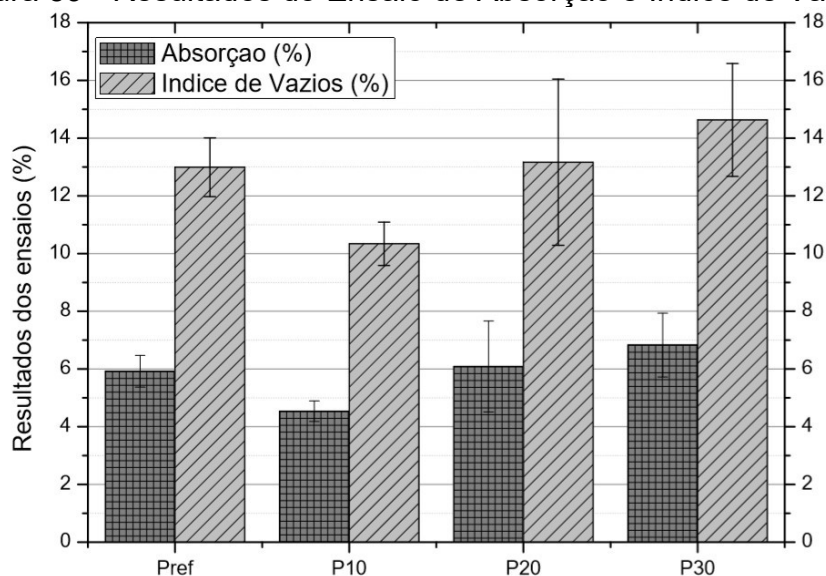
Com base nos resultados obtidos é possível analisar, mesmo sem o ensaio de porosidade, que houve uma maior compactação dos grãos na mistura P10, resultando em menor absorção e índice de vazios.

Tabela 13 - Resultados do ensaio de Absorção e Índice de Vazios

Amostra	Massa Seco (g)	Massa Saturado (g)	Massa Imenso (g)	Absorção (%)	Índice de Vazios (%)
Pref	4226.47	4476.40	2551.87	<b>5.92%</b>	<b>12.99%</b>
P10	4271.40	4465.50	2590.83	<b>4.54%</b>	<b>10.34%</b>
P20	4237.17	4494.27	2546.23	<b>6.09%</b>	<b>13.16%</b>
P30	4152.23	4435.50	2501.80	<b>6.83%</b>	<b>14.63%</b>

Fonte: Elaboração Própria.

Figura 59 - Resultados do Ensaio de Absorção e Índice de Vazios



Fonte: Elaboração Própria.

#### 4.2.6 Massas Específicas

As massas específicas das amostras secas e saturadas foram calculadas a partir dos mesmos valores de massas secas, saturadas e submersas. Desta forma, foram obtidos os dados mostrados na Figura 60.

Figura 60 - Massas Específicas dos *Pavers* Endurecidos

Amostra	Massa Seco (g)	Massa Saturado (g)	Massa Imenso (g)	M. Específica da Amostra Seca	M. Específica da Amostra Saturada
Pref	4226.47	4476.40	2551.87	<b>2.20</b>	<b>2.33</b>
P10	4271.40	4465.50	2590.83	<b>2.28</b>	<b>2.38</b>
P20	4237.17	4494.27	2546.23	<b>2.18</b>	<b>2.31</b>
P30	4152.23	4435.50	2501.80	<b>2.15</b>	<b>2.29</b>

Fonte: Elaboração Própria.

A partir dos valores encontrados, cabe ressaltar que a maior densidade se deu a partir do uso de 10% de um agregado quase 11% mais leve, mostrando acima de tudo a influência da alteração do formato do grão na compactidade das amostras.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral deste trabalho consistiu em verificar a viabilidade mecânica e econômica da utilização de vidro cominuído em substituição ao agregado miúdo na produção de concretos para blocos de pavimentação intertravada. E com base nos resultados obtidos em todas as análises realizadas, é possível pontuar as seguintes conclusões:

- O vidro cominuído apresentou 10,97% de redução de massa específica, em comparação à areia natural;
- A substituição em 10% de massa da areia natural por vidro cominuído resultou em acréscimo da massa específica em mais de 100 gramas;
- Encontra-se crescimento de massa ainda para P20;
- É possível correlacionar diretamente a análise visual com o resultado de abrasão por impacto. Para ambos, P10 e P20 apresentaram os melhores resultados;
- Para a resistência à compressão, P10 apresentou acréscimo de 20,56%;
- Havendo um pequeno crescimento, de 4,82%, P20 também apresenta possibilidade de adoção;
- O impacto que pode vir a acarretar a utilização destes percentuais de vidro, em uma via de 12 metros de largura são estimados em:
  - Para 20% de substituição: 156 toneladas de vidro por quilometro;
  - Para 30% de substituição: 234 toneladas de vidro por quilometro.
- Os valores acima também representam a quantidade de areia que não serão dragadas dos leitos de rios.

Por fim, é possível afirmar a viabilidade mecânica da utilização do vidro cominuído nas porcentagens de 10 e 20% em substituição do agregado miúdo na produção de peças de concreto para pavimentação intertravada. Necessitando ainda de estudos que comprovem a viabilidade econômica e uma análise da durabilidade das peças com tais substituições.

## REFERÊNCIAS

- ABDALLAH, ABDALLAH, S.; FAN, M. **Characteristics of concrete with waste glass as fine aggregate replacement**, Int. J. Eng. Tech. Res. 2 (2014) 11–17. [https://www.researchgate.net/publication/263652300\\_Characteristics\\_of\\_concrete\\_with\\_waste\\_glass\\_as\\_fine\\_aggregate\\_replacement](https://www.researchgate.net/publication/263652300_Characteristics_of_concrete_with_waste_glass_as_fine_aggregate_replacement)
- ALI, E. E.; AL-TERSAWT, S. H. **Recycled glass as a partial replacement for fine aggregate in self compacting concrete**, Constr. Build. Mater. 35 (2012) 785–791.
- ALMEIDA, M.O. et al. **Uso de areia de PET na fabricação de concretos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTAVEL, n. 67230. Caderno de resumo, p. 39. 2004, Florianópolis. : Instituto de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentave, Florianópolis, 2004. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/ict/2004/ARQUIVOS%20PDF/14/14-107.pdf>> . Acesso em: 07 de nov. 2018.
- ARENA et al . **Estudio de las implicancias ambientales relacionadas con la construcción y uso de distintos pavimentos utilizados em calles residenciales de la ciudad de Mendonza**. Avances em Energías Renovables y Medio Ambiente, 2001, Argentina. Anais... Argentina, v. 5, p.01.13-01,18
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Material vidro**. São Paulo. 2016. Disponível em: <<https://abceram.org.br/vidro/>>. Acesso em: 10 de nov. 2018
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Pavimento intertravado**. Disponível em: < [https://www.abcp.org.br/cms/wp-content/files\\_mf/pavimento\\_intertravado\\_folder2005.pdf](https://www.abcp.org.br/cms/wp-content/files_mf/pavimento_intertravado_folder2005.pdf)>. Acesso em: 18 de out. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Pré- fabricados em 5 passos**. São Paulo .Disponível em: < <https://www.abcp.org.br/cms/imprensa/noticias/pre-fabricados-em-5-passos/>>. Acesso em: 10 de nov. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004/2004 : Resíduos sólidos – classificação**. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: 2005 : Agregado para concreto - Especificação**. 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781:2013 : Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio**. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248:2003 : Agregados - Determinação da composição granulométrica**. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM ISO 3310-1: 2010 : Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação**. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA. **Recomendação básicas para projetos de arquitetura**. São Paulo, 2007. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6891/1/CM\\_COECI\\_2016\\_1\\_28.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6891/1/CM_COECI_2016_1_28.pdf)>. Acesso em: 16 de out. 2018

ASTM C1747 / C1747M-13, **Standard Test Method for Determining Potential Resistance to Degradation of Pervious Concrete by Impact and Abrasion**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013, [www.astm.org](http://www.astm.org)

BATAYNEH, M.; MARIE, I.; ASI, I. **Use of selected waste materials in concrete mixes**, Waste Manage. 27 (2007) 1870–1876.

BERNUCCI et al. Livro **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros**. 1. ed. Rio de Janeiro: RJ, 2006

BHANDARI, P. S.; & Tajne, K. M. (2013). **Use of waste glass in cement mortar**. *International Journal of Civil and Structural Engineering*, 3(4), 704–711. <https://doi.org/10.6088/ijcser.201203013064>

BOLZAN, Marcelo Veber. **Estudo da utilização de resíduos da mineração de calcário na produção de blocos de concreto para construção civil**. Caçapava do Sul. 2015. p.21. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Tecnologia em Mineração).Universidade Federal do Pampa, 2015.

BORHAN, T.M. **Properties of glass concrete reinforced with short basalt fibre**, *Materials & Design*.2012 :42 p.265–271. [https://www.researchgate.net/publication/311466838\\_Thermal\\_properties\\_of\\_cement\\_mortar\\_containing\\_waste\\_aluminium\\_fine\\_aggregate](https://www.researchgate.net/publication/311466838_Thermal_properties_of_cement_mortar_containing_waste_aluminium_fine_aggregate)

BRASIL. Resolução n 307/2002, de 05 de jul. de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**, Brasília,DF, jul 2002.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a política nacional de resíduos sólidos**. Diário Oficial da União [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n.147, 03 ago. 2010. seção 1, parte, p. 3-7. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 01 nov. 2018.

BRITO, Gabriela do Prado Sá. **ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DE PAVER COM RESÍDUO DE PNEU EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DOS AGREGADOS**. Alegrete. 2013. p. 78. Trabalho de conclusão de curso ( Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2013. Disponível em:<

<http://dspace.unipampa.edu.br:8080/bitstream/riu/1636/1/Estudo%20da%20viabilidade%20t%C3%A9cnica%20de%20paver%20com%20res%C3%ADduo%20de%20pneu%20em%20substitui%C3%A7%C3%A3o%20parcial%20dos%20agregados.pdf>. Acesso em: 22 de out. 2018

BUTTLER, A. M. et al. **Blocos estruturais de concreto com agregados reciclados de concreto – Caracterização das propriedades físicas**. In: Encontro Nacional de Tecnologia do ambiente construído11, n 69582 Florianópolis, 2006. Anais eletronicos...Florianópolis: Disponível em: [http://www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/ENTAC2006\\_3540\\_3549.pdf](http://www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/ENTAC2006_3540_3549.pdf). Acesso em: 10 de nov. 2018.

CABRAL, A. E. B. et al. **Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha**. Cerâmica. São Paulo, n. 336, vol. 55, p. 448-460, 2009. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132009000400016&script=sci\\_abstract&lng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132009000400016&script=sci_abstract&lng=pt). Acesso em: 30 de out. 2018

CALCADO, G. C.S. **Influência da adição de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição no desempenho de argamassas de cimento Portland**. Rio de Janeiro. 2015. p.114. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro- Escola Politécnica. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10013017.pdf>. Acesso em: 30 de out. 2018.

CANELLAS, Susan Sales. **Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas**. Rio de Janeiro. 2005. p. 75. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais e Metalurgia) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

CAMPOS, Ana Maria. **GDF é condenado a R\$ 10 milhões por crianças no Lixão da Estrutural**. Correio Brasiliense, Brasília, mar. 2018. Seção CB poder I. Disponível em: <http://blogs.correiobrasiliense.com.br/cbpoder/gdf-e-condenado-r-10-milhoes-por-criancas-no-lixao-da-estrutural/>. Acesso em: 25 de out. 2018.

CAVALLI, Cléo; et al. **Avaliação da substituição do agregado miúdo na construção civil através da reciclagem do vidro descartado na coleta seletiva no município de Porto Alegre – RS**. (2014). <https://doi.org/10.1590/S0366-69132005000400003>

CHEN, C. H.; WU, J. K.; YANG, C. C. **Waste E-glass particles used in cementitious mixtures**, Cement and Concrete Research. 36 (2006) 449–456. [https://www.researchgate.net/publication/315327771\\_The\\_Effect\\_of\\_Using\\_Waste\\_Glass\\_WG\\_as\\_Partial\\_Replacement\\_of\\_sand\\_on\\_Concrete](https://www.researchgate.net/publication/315327771_The_Effect_of_Using_Waste_Glass_WG_as_Partial_Replacement_of_sand_on_Concrete)

COLUMBIA MACHINE, INC. **Instruction Manual**, Vancouver, 1969. [http://columbiamachine.com/wp-content/uploads/sites/2/2018/02/feed-drawer-v61i1\\_email.pdf](http://columbiamachine.com/wp-content/uploads/sites/2/2018/02/feed-drawer-v61i1_email.pdf)



CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. **A Indústria brasileira no caminho da sustentabilidade**. Brasília . 2012. p. 49. Disponível em: <[http://www.fiemt.com.br/arquivos/916\\_cni\\_parte\\_1\\_rio20\\_web.pdf](http://www.fiemt.com.br/arquivos/916_cni_parte_1_rio20_web.pdf)>. Acesso em: 27 de out. 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO RAMO QUÍMICO – CNQ. **Panorama Setor de Vidro**. 2015. Disponível em: <<http://cnq.org.br/system/uploads/publication/b2a03b701c902f59b717ce1e7395502e/file/panorama-vidros.pdf>>. Acesso em: 08 de nov. 2018

CORREA, Priscila Marques. **Estudo comparativo da influência da adição de PET e PP pós-consumo na produção do concreto estrutural**. Porto Alegre. 2015. p.101. Dissertação ( Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio grande do Sul. Porto Alegre, 2015. Disponível em:< <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/130090/000976931.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> . Acesso em: 11 de nov. 2018.

CORREIA, J. V. F. B.; FRAGA, Y. S. B.; **Propriedades mecânicas de resíduos de cerâmica vermelha como agregado miúdo para a produção de concretos**. Caderno de graduação. Ciências exatas e tecnológicas. Aracaju, v. 4, n.3, p. 89-100, 2018. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/index.php/cadernoexatas/issue/view/260>>. Acesso: 03 de nov. 2018.

DEGIRMENCI, N., YILMAZ, A., CAKUR, O.A. **“Utilization of waste glass as sand replacement in cement mortar,”** Indian Journal of Engineering and Materials Sciences. (2011) vol. 18, pp. 303–308 [https://www.researchgate.net/publication/327889887\\_Fresh\\_State\\_Properties\\_of\\_Mortars\\_with\\_Recycled\\_Glass\\_Aggregates\\_Global\\_Unification\\_of\\_Behavior](https://www.researchgate.net/publication/327889887_Fresh_State_Properties_of_Mortars_with_Recycled_Glass_Aggregates_Global_Unification_of_Behavior)

DIAZ, L. F. **Solid Waste Management in Developing Countries: Status, Perspectives and Capacity Building**. California. 2011. p. 35. Disponível em:< <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/ldiaz.pdf>> . Acesso em: 03 de nov. 2018.

DOWSON, A. **Mix Design for Concrete Block Paving. Procedures 1st International Conference on CBP**. 1980, p. 121-127. <https://www.icpi.org/sites/default/files/techpapers/86.pdf>

DUÓ, Danielli. **Estudo da aderência e da Absorção de Água em Argamassas de Revestimento com Agregados Reciclados de PET em Substratos de Blocos Cerâmicos**. Alegrete. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil). Universidade Federal do Pampa, 2017

ECYCLE. **Onde reciclar garrafas de vidro?** 2010. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/component/content/article/61-vidro/228-onde-reciclar-garrafas-de-vidro.html>>. Acesso em: 01 nov. 2018.

FERNANDES, I. **Blocos e pavers produção e controle de qualidade**. 7ª edição. Ribeirão Preto/SP. Editora Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda.. (2016).

FERRARIS, C.F. **Alkali-silica Reaction and High Performance Concrete**. Disponível em: <https://www.nist.gov/publications/alkali-silica-reaction-and-high-performance-concrete>

FERREIRA, S. J. **Produção de blocos de concreto para alvenaria – práticas recomendadas**. ABCP – Boletim Técnico 103. São Paulo, 3ª Edição, 1995.

FIORITI, C. F. **Pavimento Intertravados de Concreto Utilizando Resíduo de Concreto Utilizando Resíduos de Pneus como Material Alternativo**. São Carlos, 2007. p. 112. Tese de Doutorado(Doutorado em Engenharia) – USP. São carlos, 2007.

GAUTAM, S. P.; SRIVASTAVA, V.; AGARWAL, V. C. **Use of glass wastes as fine aggregate in concrete**, J. Acad. Ind. Res.(2012), 1 (6) 320–322. <http://maxwellsci.com/msproof.php?doi=rjaset.12.2384>

GUERRA, Ruy Serafim de Teixeira. **Clube do concreto**. [S.l.]. 2016. Disponível em: <<http://www.clubedoc oncreto.com.br/2016/05/curvas-de-abrams.html>>. Acesso em: 04 de nov. 2018.

GONÇALVES, R. D. C. **Influência da adição de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição no desempenho de argamassas de cimento Portland**. São Carlos. 2001 . Dissertação (Mestrado em Engenharia). USP, São Carlos, 2001

HALLACK, A. **Pavimento Intertravado: uma solução universal**. Revista Prisma. São Paulo, v. 1, p. 25-27 dez, 2001.

HOJO, L. Y. C. P.; MARTINS. C. H. **Utilização da substituição parcial do cimento por cinza leve do bagaço de cana-de-acúcar em concretos**. Mix sustentável. 2015. Disponível em: <<http://ojs.sites.ufsc.br/index.php/ mixsustentavel/article/view/1135/515>> .Acesso em: 30 de out. 2018

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Sustentabilidade ambiental no Brasil: biodiversidade, economia e bem-estar humano**. Brasília, 2010. p. 640. gráfs., mapas, tabs. (Série Eixos Estratégicos do Desenvolvimento Brasileiro; Sustentabilidade Ambiental, Livro 7), Brasília, 2010. Disponível em: < [http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/livros/livros/livro07\\_sustentabilid adeambienta.pdf](http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/livros/livros/livro07_sustentabilid adeambienta.pdf) >. Acesso em: 23 de out. 2018.

ISMAIL, Z. Z.; HASHMI, E. A. A. **Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete**, Waste Manage.(2009), 29; 655–659.

JARDIM, R. R. **Estudo da viabilidade da substituição parcial do agregado miúdo por agregado miúdo reciclado de pet em concretos convencionais.** Alegrete. 2016. p. 71. Trabalho de conclusão de curso. ( Graduação em Engenharia civil) Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2016 . Disponível em:<<http://dspace.unipampa.edu.br:8080/bitstream/riiu/1896/1/ESTUDO%20DA%20VIABILIDADE%20DA%20SUBSTITUI%C3%87%C3%83O%20PARCIAL%20DO%20AGREGADO%20MI%C3%9ADO%20POR%20AGREGADO%20MI%C3%9ADO%20RECICLADO%20DE%20PET%20EM%20CONCRETOS%20CONVENCIONAIS.pdf>>. Acesso em: 30 de out. 2018.

JOHN, Vanderley M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** São Paulo. 2000. p. 102. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2000. Disponível em:<[http://www.ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/LV\\_Vanderley\\_John\\_-\\_Reciclagem\\_Residuos\\_Construcao\\_Civil.pdf](http://www.ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/LV_Vanderley_John_-_Reciclagem_Residuos_Construcao_Civil.pdf)>. Acesso em: 03 de nov.2018.

LEE G.; LING, T.-C.;WONG, Y.-L.; POON, C.-S. **Effects of crushed glass cullet sizes, casting methods and pozzolanic materials on ASR of concrete blocks,** Constr. Build. Mater. 25 (2011) 2611–2618

LEMOS, E. **Diagnóstico da Cadeia de Reciclagem de Embalagem de Vidro.** Santa Catarina. 2012. p. 93. Trabalho de Conclusão de Curso.(Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitaria). Universidade Federal de Santa Catarina, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/125091/TCC%20CADEIA%20DE%20RECICLAGEM%20DAS%20EMBALAGENS%20DE%20VIDRO%20SC%20-%20ELLEN%20LEMOS.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 23 de out. 2018.

LIMBACHIYA, M. **Bulk engineering and durability properties of washed glass sand concrete,** Constr. Build. Mater. 23 (2009) 1078–1083. [https://www.researchgate.net/publication/222962923\\_Bulk\\_Engineering\\_and\\_Durability\\_Properties\\_of\\_Washed\\_Glass\\_Sand\\_Concrete](https://www.researchgate.net/publication/222962923_Bulk_Engineering_and_Durability_Properties_of_Washed_Glass_Sand_Concrete)

LIMBACHIYA, M.; MEDDAH, M.S.; FOTIADOU, S. **Performance of granulated foam glass concrete,** Constr. Build. Mater. 28 (2012) 759–768. <https://squ.pure.elsevier.com/en/publications/performance-of-granulated-foam-glass-concrete>

LIU, S.; WANG, S.; TANG, W.; HU, N.; WEI, J. **Inhibitory effect of waste glass powder on ASR expansion induced by waste glass aggregate,** MDPI Mater. J. 8 (2015) 6849–6862.

LÓPEZ, D. A. R.; AZEVEDO, C. A. P. de, & Barbosa Neto, E. (2005). **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro**

**cominuído como agregado fino.** Ceramica.2005, vol.51, pp318–324?.  
<https://doi.org/10.1590/S0366-69132005000400003>

MALIK, M.I.; BASHIR, M.; AHMAD, S.; TARIQ, T.; CHOWDHARY, U. **Study of concrete involving use of waste glass as partial replacement of fine aggregates**, J. Eng. Mech. 6 (2013) 08–13. [http://iosrjen.org/Papers/vol3\\_issue7%20\(part-6\)/B03760813.pdf](http://iosrjen.org/Papers/vol3_issue7%20(part-6)/B03760813.pdf)

MALIK, M.I.; MANZOOR, A.; AHMAD, B.; ASIMA, S.; ALI, R.; BASHIR, M. **Positive potential of partial replacement of fine aggregates by waste glass (<600 Micron) in concrete**, Int. J. Civil Eng. Technol. 5 (2014) <http://www.iaeme.com/MasterAdmin/UploadFolder/POSITIVE%20POTENTIAL%20OF%20PARTIAL%20REPLACEMENT%20OF%20FINE%20AGGREGATES%20BY%20WASTE%20GLASS%20600%20MICRON%20IN%20CONCRETE/POSITIVE%20POTENTIAL%20OF%20PARTIAL%20REPLACEMENT%20OF%20FINE%20AGGREGATES%20BY%20WASTE%20GLASS%20600%20MICRON%20IN%20CONCRETE.pdf>

MARCHIONI, M.L. **Desenvolvimento de técnicas para caracterização de concreto seco utilizado na fabricação de peças de concreto para pavimentação intertravada.** Dissertação de mestrado. USP, São Carlos, 2012. <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-18072013-150832/pt-br.php>

MARCHIORI, Mariana Lobo. **Desenvolvimento de técnicas para caracterização de concreto seco para peças de concreto para pavimentação intertravada.** São Paulo, 2012. p.111. Dissertação( mestrado em Engenharia) – USP. São Paulo, 2012. Disponível em: <file:///C:/Users/T%C3%A2mara/Downloads/dissertacao\_marianamarchioni%20(2).pdf>. Acesso em: 06 de nov. 2018.

MINGRONE, R. C. C. **Sustentabilidade na construção civil: Análise comparativa dos conceitos empregados em obras segundo as certificações AQUA-HQE e LEED.** São Paulo. 2016. p.72. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/j/bitstream/1/6891/1/CM\\_COECI\\_2016\\_1\\_28.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/j/bitstream/1/6891/1/CM_COECI_2016_1_28.pdf)>. Acesso em: 16 de out. 2018.

MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE. **Construção sustentável.** Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel>>. Acesso em: 23 de out. 2018.

MONTEIRO, J.H.P. et al. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos.** Rio de Janeiro: IBAM, 2001. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>>. Acesso em: 05 de nov. 2018.

MOURA, Natália Braga de. **Estudo da viabilidade de substituição parcial do agregado miúdo natural por resíduo de pet na fabricação de concreto leve .**

Alegrete. 2017 p.76. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Pampa, 2017. Disponível em:<<http://dspace.unipampa.edu.br:8080/jspui/handle/riiu/2113>>. Acesso em : 23 de out. 2018.

UNIDAS DO BRASIL. **Humanidade produz mais de 2 bilhões de toneladas de lixo por ano, diz ONU em dia mundial**. Brasil. 2018. Disponível em:<<https://nacoesunidas.org/humanidade-produz-mais-de-2-bilhoes-de-toneladas-de-lixo-por-ano-diz-onu-em-dia-mundial/>>. Acesso em : 05 de nov. 2018.

NASCIMENTO, Elimar Pinheiro do. **Trajatória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico**. Estudos Avançados, v. 26, n. 74, p.51–64, São Paulo. 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-40142012000100005>>. Acesso em: 24 de out. 2018.

NETO, G. T. B. **Substituição de agregados miúdos naturais por britados em concretos**. Curitiba. 2006. p. 149. Dissertação ( Mestrado em Construção Civil) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006. Disponível em:<<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/5776/guilherme.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 30 de out. 2018

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

NOVIS, Luiz E. M. **Estudos dos indicadores ambientais na construção civil: Estudo de caso em 4 construtoras**. Rio de Janeiro. 2014. p. 96. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10010028.pdf>>. Acesso em: 29 de out.2018.

OLIVEIRA, L. A. P. et al. **Mechanical and Durability Properties of Concrete with Ground Waste Glass Sand**, in: International Conference on Durability of Building Materials and Components, Istanbul, Turkey, 2008.

PADOIN, Daniela Galiotto. **Estudo das propriedades mecânicas e físicas de um traço comercial de concreto autoadensável com e sem substituição de cinza de casca de arroz**. 2017. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2017. Disponível em: <<http://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riiu/1953/1/Daniela%20Galiotto%20Padoin%20-%202017.pdf>>. Acesso em: 23 de out. 2018.

PANDOLFI, M. P. **Estudo do uso de resíduos da construção civil em concreto para pavimentação**. Alegrete. 2016. p. 65 Trabalho de conclusão de curso.(Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa , Alegrete, 2016. Disponível em: <<http://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riu/1899/1/Estudo%20do%20uso%20de%20res%C3%ADduos%20da%20constru%C3%A7%C3%A3o%20civil%20em%20concreto%20para%20pavimenta%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 08 de nov. 2018.

PARK, S.-B.; LEE, B.-C. **Studies on expansion properties in mortar containing waste glass and fibers**, Cem. Concr. Res. 34 (2004) 1145–1152. [http://www.academia.edu/3582943/Utilization\\_of\\_recycled\\_glass\\_derived\\_from\\_cathode\\_ray\\_tube\\_glass\\_as\\_fine\\_aggregate\\_in\\_cement\\_mortar](http://www.academia.edu/3582943/Utilization_of_recycled_glass_derived_from_cathode_ray_tube_glass_as_fine_aggregate_in_cement_mortar)

PARK, S.B.; LEE, B.C.; KIM, J.H. **Studies on mechanical properties of concrete containing waste glass aggregate**, Cem. Concr. Res. 34 (2004) 2181–2189.

PAV STORE. **Bloquetes** RJ. Agosto. 2012. Disponível em:<<http://pavstore.blogspot.com/2012/08/bloquetes-rj.html>>. Acesso em: 21 de out. 2018.

PFEIFFENBERGER, L. E. **Aggregate graduations used for various products formed on the block machine**. Besser Block. Alpena, 1985.

PESSARELLO, Regiane Grigoli. **Estudo exploratório quanto ao consumo de água na produção de obras de edifícios: Avaliação e fatores indicadores**. Sao Paulo. 2008. p.114. Monografia (Especialização em Tecnologia e Gestão da Produção de Edifícios) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.poliintegra.poli.usp.br/library/pdfs/7f3c9143404e82ba87639255e32062e6.pdf>>. Acesso em: 10 de nov. 2018.

PHILLIPS, J. C.; CAHN, D. S.; KELLER, G. W. **Refuse glass aggregate in Portland cement**. In: Proceedings of 5th Mineral.

PIETROBELLI, R. Elíton. **Estudo de viabilidade do Pet reciclado em concreto sob aspecto da resistência a compressão**. Chapecó. 2010. p. 71 . Trabalho de conclusão de curso( Graduação em Engenharia Civil) Universidade Comunitária Regional de Chapecó. Chapecó, 2010. Disponível em:<<https://docplayer.com.br/5349225-Estudo-de-viabilidade-do-pet-reciclado-em-concreto-sob-aspecto-da-resistencia-a-compressao.html>> . Acesso em: 10 de nov. 2018.

PIKE R.G.; HUBBARD D.; NEWMAN E.S. **Binary silicate glasses in the study of alkali-aggregate reaction**. High Resboard Bull 1960; 275:39–44. <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/hrbulletin/275/275-004.pdf>

PINTO, T.P. **Metodologia para gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. In: CASSA, J.C.S. et al (Org). Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção: projeto entulho bom. Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001.

PORTAL RESÍDUOS SÓLIDOS. **Reciclagem de vidro**. 2013. Disponível em: <<https://portalresiduos.solidos.com/reciclagem-de-vidro/>>. Acesso em: 07 de nov. 2018.

PUGLIESI, Nataly. **Cimento: Diferentes tipos e aplicações**. Associação Brasileira de cimento Portland. São Paulo, fev. 2018. Disponível em: <<https://www.abcp.org.br/cms/imprensa/artigos/cimento-diferentes-tipos-e-aplicacoes/>>. Acesso em: 08 de nov. 2018.

RAJABIPOUR, F. et al.. **Investigating the alkali-silica reaction of recycled glass aggregates in concrete materials**. Journal of Materials in Civil Engineering. Dez, 2010, n 22. p.1201–1208. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/245308382\\_Investigating\\_the\\_Alkali\\_Silica\\_Reaction\\_of\\_Recycled\\_Glass\\_Aggregates\\_in\\_Concrete\\_Materials](https://www.researchgate.net/publication/245308382_Investigating_the_Alkali_Silica_Reaction_of_Recycled_Glass_Aggregates_in_Concrete_Materials)>. Acesso em: 20 de out. 2018.

Recicloteca. **Vidro: História, composição, tipos, produção reciclagem**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.recicloteca.org.br/material-reciclavel/vidro/>>. Acesso em: 18 de out. 2018.

REVISTA CONCRETO & CONSTRUÇÕES. **Concreto: Material construtivo mais consumido do mundo**. Ano XXXVII, n 53, 2009. jan/ fev/ mar. p.14, ISSN 1809-7197. IBRACON. 2009. Disponível em: < [http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas\\_ibracon/rev\\_construcao/pdf/revista\\_concreto\\_53.pdf](http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/revista_concreto_53.pdf)>. Acesso : 04 de nov. 2018.

REVISTA MEIO AMBIENTE. **Brasil gera 122.262 t/dia de resíduos na construção civil**. São Paulo. 2017. Seção resíduos. Disponível em:<<http://rmai.com.br/brasil-gera-122-262-tdia-de-residuos-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 07 de nov. 2018.

RTT – ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO E VIDROS . **Vidros**. Seção produtos. Disponível em:< <http://www.rttaluminio.com.br/index.php?src=produto&produto=vidros>>. Acesso em: 07 de nov. 2018.

SANTOS, Altair. **Pavimento intertravado vira "asfalto ecológico"** . 2015. Portal Itambé . Disponível em:<<http://www.cimentoitambe.com.br/pavimento-intertravado-asfalto-ecologico/>>. Acesso em: 16 de out. 2018.

SCHMIDT, J. et al. **Sector-Based Greenhouse Gas Emissions Reduction Approach for Developing Countries: Some Options**. Washington, DC: Center for Clean Air Policy, 2004 (Center for Clean Air Policy Working Paper).

SCOBAR, R. L. **Concreto leve estrutural: substituição do agregado graúdo convencional por argila expandida**. 2016. Trabalho de conclusão de curso. UTFPR, Campo Mourão 2016.(link indisponível)

SHI, C., WU, Y., RIEFLER, C., & WANG, H. (2005). **Characteristics and pozzolanic reactivity of glass powders**. Cement and Concrete Research, 35(5), 987–993. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.05.015>

SICHERI, E. P. ; Caram, R. ; Santos J. C. P.. **Vidros na construção Civil**. In: ISAIA, Geraldo C. (Org) Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo. vol 1, p.21. IBRACON 2017. Disponível em: [http://ibracon.org.br/eventos/59cbc/Paginas\\_Iniciais\\_Rev6R.pdf](http://ibracon.org.br/eventos/59cbc/Paginas_Iniciais_Rev6R.pdf)>. Acesso em: 07 de nov. 2018.

SILVA, A. L. B. et al. **Concreto especial produzido a partir da substituição parcial do cimento portland por resíduos de vidro**. XI Congresso de Iniciação Científica do IFRN. Rio Grande do Norte, 2012

SILVA, R. K. **Influência da substituição parcial de agregados de RCD classe cinza em concretos autoadensáveis**. Alegrete. 2015. p. 65. Trabalho de conclusão de curso. (graduação em Engenharia Civil) Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2015. Disponível em: <<http://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/rii/1687/1/Influ%C3%Aancia%20da%20substitui%C3%A7%C3%A3o%20parcial%20de%20agregados%20de%20RCD%20classe%20cinza%20em%20concretos%20autoadens%C3%A1veis.pdf>>. Acesso em : 30 de out. 2018.

TAHA, B; NOUNU, G. **Properties of concrete contains mixed colour waste recycled glass as sand and cement replacement**, Constr. Build. Mater. 22 (2008) 713–720.

TAMMANA, N.; MOHAMED SUTAN, N., and D. T. C. Lee; Yakub, I. (2013). **Utilization of waste glass in concrete**. 6th International Engineering Conference, Energy and Environment (ENCON 2013), (6), 978–981. <http://doi.org/10.3850/978-981-07-6059-5>

TANGO, C. E. S. **Fundamentos de dosagem de concreto para blocos estruturais**. 5th Internacional Seminar on Structural Masonry for Developing Countries. Florianópolis, Brazil, Aug. 21 – 24, 1994. <http://www.infohab.org.br/acervos/buscaautor/codigoAutor/8693>

TONELLO, Ismael. **Estudo do comportamento mecânico à compressão e flexão em argamassas de revestimento com substituição parcial de cimento Portland por sílica da casca de arroz**, cinza volante e metacaulim. Alegrete. 2017.p.60. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, 2017. Disponível em:< <http://dspace.unipampa.edu.br:8080/jspui/handle/rii/2122>>. Acesso em: 22 de out. 2018.



TONUS, C. A; MINOZZI P. I. **Utilização de agregados reciclados de alvenaria na produção de concreto para contrapisos.** Pato Branco. 2013. Trabalho de conclusão de curso.(Graduação em Engenharia Civil) UTFPR, Pato Branco, 2013.

TOPÇU, I. B.; CANBAZ, M. **Properties of concrete containing waste glass.** Cement and Concrete Research , [S.l.], v. 34, p. 267-274, fev. 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.07.003>>. Acesso em: 22 out. 2018.

VALDUGA, LAILA. **Influência das condições de ensaio da ASTM C 1260 na verificação da reação álcali-agregado.** (2007) – Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil) – UFRGS. Porto Alegre, 2007. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/142145>>

VAZ, C. E. **Avaliação de desempenho de argamassa modificada: com areia de PE .** Alegrete. 2016. p.88. Trabalho de conclusão de curso. ( Graduação em Engenharia civil ) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2016. Disponível em: <<http://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riu/1893/1/AVALIA%C3%87%C3%83O%20DE%20DESEMPENHO%20DE%20ARGAMASSA%20MODIFICADA%20COM%20AREIA%20DE%20PET.pdf>>. Acesso em: 08 de nov. 2018.

WANG, H.-Y. **A study of the effects of LCD glass sand on the properties of concrete,** Waste Manage. 29 (2009) 335–341.