**INCORPORAÇÃO PARCIAL DE RESÍDUO DE VIDRO NO CONCRETO PARA
PRODUÇÃO DE PAVERS DE PAVIMENTAÇÃO CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA**

Chern Jen Jen (*), Aniele De Paula, Aguinaldo Lenine Alves, Alberny Alves Ferreira, Anderson Secco dos Santos
* Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. E-mail: jen.0111kh@gmail.com.

RESUMO

De todos os setores de produção, o da construção civil se destaca pela utilização extrema de matérias primas natural, como areia, madeiras, argila, dentre outros. A quantidade de resíduos sólidos gerado representa um problema ambiental devido principalmente ao seu descarte que pode ocorrer de maneira incorreta. Neste contexto, os resíduos de vidro representam uma ameaça ambiental, pois, muitas empresas têm enfrentado enormes dificuldades no seu descarte, assim os mesmos acabam sendo despejados muitas vezes em lixões a céu aberto. A fim de amenizar este problema, vários grupos de pesquisas, de vários setores, dedicam-se ao estudo de novos materiais que incluam o resíduo de vidro, e, um destes setores é o da construção civil. Na perspectiva de um desenvolvimento sustentável, a reciclagem do vidro é uma alternativa viável já que seu reaproveitamento pode atingir até 100% do resíduo produzido. Nesse contexto, o resíduo pode ser útil na produção de concreto, onde o mesmo pode ser um substituto parcial do agregado miúdo (areia). Com esse feito, obtêm-se de forma simultânea, duas contribuições diretas ao meio ambiente: a diminuição da retirada da areia dos leitos dos rios e a redução do volume dos aterros sanitários ou lixões. Foi analisada a influência da adição de resíduos de vidro em diferentes concentrações, através de ensaios de absorção, índice de vazios (porosidade) e resistência à compressão. Perante os resultados, foi possível concluir que a adição de resíduos de vidro é viável para aplicações que requeiram resistência à compressão de até 38,54 Mpa, com 5% do material.

PALAVRAS-CHAVE: Construção Civil, Reciclagem, Resíduo de Vidro, Propriedades

ABSTRACT

Of all the production sectors, of the civil construction one detaches it for the natural extreme use from raw materials, like sand, wood, clay, among others. The quantity of solid waste produced represent an environmental problem owed mainly to his discard what can take place in incorrect way. In this context, the glass waste represents an environmental threat, so, many enterprises have been facing enormous difficulties in his discard, and same they finish being poured very often in open dump. In order to ease this problem, several groups of inquiries, of several sectors, are dedicated to the study of new materials that include the glass waste, and, one of these sectors is it of the civil construction. In the perspective of a sustainable development, the recycling from the glass it is a viable alternative since his reuse can reach up to 100 % of the produced residue. In this context, the waste can be useful in the concrete production, where the same thing can be a partial substitute of the small lodger (sand). With this act, it is obtained in simultaneous form, two straight contributions to the environment: the reduction of the retreat of the sand of the river-beds and the reduction of the volume of the sanitary landfills or open dump. (Porosity) and resistance was analyzed the influence of the addition of residues from glass in different concentrations, through absorption tests, rate of empty to the compression. Before the results, it was possible to end that the addition of residues from glass is viable for applications that apply for resistance to the compression of even 38,54 Mpa, with 5 % of the material.

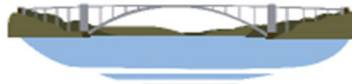
KEY WORDS: Civil Construction, Recycling, Glass Waste, Property

INTRODUÇÃO

De todos os mecanismos de produção, o setor da construção civil evidencia um grande consumo de matérias primas natural (JOHN, 2000). Segundo Simões (2013), a utilização dos recursos naturais é causada pelo desenvolvimento acelerado da produção e do consumo de materiais, que vem gerando grandes volumes de resíduos.

Para Akerman (2013), sendo o vidro, detentor de várias propriedades ajustáveis à cada finalidade, pode-se afirmar que o mesmo ocupa um lugar de destaque dentre estes recursos, já que é utilizado em várias funções humanas como: janelas, utensílios domiciliares, fornos, lâmpadas, frascos, embalagens, dentre outros.

Em virtude do alto custo de transporte do resíduo de vidro, muitas empresas encontram dificuldade no seu descarte, com isto, evidencia mais um problema ambiental (BAUER, 2009), pois, geralmente são despejados em lixões a céu aberto ou



até mesmo em aterros sanitários. A fim de sanar este problema, vários grupos de pesquisas, de vários setores, têm se dedicado no estudo de novos materiais com a inclusão do resíduo de vidro, e, um destes setores é o da construção civil (SIMÕES, 2013).

Segundo a Resolução nº 307/2002 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), o vidro é um material enquadrado na classe B, que compreende resíduos recicláveis para outras destinações, como: plásticos, papelões, metais, entre outros. Recomenda-se então sua reutilização e reciclagem, porém, antes da reciclagem, o resíduo deve ser conduzido a locais de armazenamento temporário e seguro, já que representa um resíduo com grande capacidade de causar acidentes ao ser humano e até mesmo a animais.

Na perspectiva ambiental, a reciclagem do vidro é uma alternativa viável, visto que esse material é diferente de outros utilizados para o mesmo propósito, pois, dispõe de 100% do aproveitamento em sua reciclagem. Uma quantidade de vidro descartada, quando reciclada produz a mesma quantidade de vidro novo, ou seja, não perde sua qualidade inicial (SILVA et al, 2012).

Nesse sentido, a reciclagem do resíduo de vidro, surge como uma opção de desenvolvimento sustentável, pois, ao utilizar resíduos alternativos como este, conseqüentemente gera-se uma diminuição do uso de recursos naturais (SIMÕES, 2013). Para Bauer (2009), o uso de resíduos de vidro na produção de concreto contribui e muito na redução da extração de um recurso natural protagonista na conformação do concreto, a areia (agregado miúdo), já que ao substituí-la parcialmente por estes resíduos, diminui-se sua extração dos leitos dos rios, o que pode significar também a diminuição de possíveis assoreamentos.

Neste contexto, o presente estudo objetiva utilizar e estudar a influência física de resíduos de vidros oriundos de vidraçarias da cidade de Itaporã-MS, na conformação de pavers de pavimentação, quando substituídos parcialmente no agregado miúdo.

OBJETIVOS

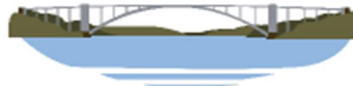
Este estudo intitulado “Incorporação Parcial de Resíduo de Vidro no Concreto para Produção de Pavers de Pavimentação”, tem como objetivo principal a utilização de resíduos de vidro em substituição parcial ao agregado miúdo na conformação de pavers de pavimentação, a fim de oferecer um destino viável a este resíduo e estudar a resistência e a durabilidade destes pavers.

METODOLOGIA

Os materiais como areia pedra brita e cimento foram adquiridos no município de Dourados – MS e foram armazenados nas dependências do Laboratório de Caracterização Mecânica de Materiais, anexo ao CEPEMAT. Já os resíduos de vidro, material utilizado na substituição parcial do agregado miúdo, foram coletados em vidraçarias do município de Itaporã-MS. A Figura 1 mostra o método utilizado na chamada pré-tritura dos resíduos, onde os mesmos foram previamente quebrados com o auxílio de um martelo.



Figura 1: Material sendo pré-triturado. Fonte: Autor do Trabalho.



Objetivando obter a menor granulometria possível, foram levados até o laboratório onde foram triturados através de um equipamento especialmente desenvolvido para este fim, conforme mostra a Figura 2, a seguir.



Figura 2: Material sendo depositado no triturador e em seguida moído manualmente. Fonte: Autor do Trabalho.

Conforme exibe a Figura 3, a seguir, para se obter a menor granulometria possível, após tritura manual, estes resíduos foram depositados em um agitador de peneiras de sete malhas que ficam posicionadas em ordem decrescente, ou seja, da maior malha para a menor, e, no ultimo compartimento, a peça que reserva somente o pó de vidro que se separa dos cacos maiores.



Figura 3: Material moído depositado no agitador de peneiras. Fonte: Autor do Trabalho.

Vale lembrar que foram utilizados apenas os resíduos das três últimas peneiras, já que se trata de um material cortante e que estas granulometrias não oferecem maiores riscos ao pesquisador, além de ser uma granulometria próxima à da areia, e que, portanto, pode ser considerada adequada para a composição da mistura. Os cacos maiores foram moídos e separados novamente, sendo que este processo se repetiu até que se adquirisse a quantidade de resíduo de vidro suficiente para o desenvolvimento do trabalho.

Foram realizados dois traços de concreto: o primeiro foi confeccionado como referência (tradicional), ou seja, composto apenas pelos materiais básicos do concreto (areia, brita, cimento e água) sem a adição parcial do pó de vidro. Este traço é feito para que seja comparado com os demais. O segundo traço consiste na substituição parcial de 5,10 e 15% do agregado miúdo pelo pó de vidro.

Conforme mostra a figura 4, no preparo da mistura utilizou-se o cimento CII-E-32, que foi adicionado aos demais materiais e misturados em uma betoneira de eixo inclinável com capacidade de 80 litros. Em seguida, a massa preparada foi dosada em formas prismáticas de dimensões de 2,5x10x20cm. Os moldes foram preparados em conformidade a ABNT NBR 5738/2015. Para cada lance de traço, foram confeccionados seis corpos de prova, sendo sempre o primeiro, o traço referência.

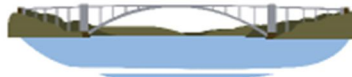


Figura 4: Materiais utilizados sendo misturados na betoneira: cimento, areia, brita, água e vidro sequencialmente. Fonte: Autor do Trabalho.

A mistura da betoneira foi transferida para formas prismáticas, sendo que as mesmas foram colocadas imediatamente sobre uma mesa vibratória para que a massa se acomodasse adequadamente. Posteriormente, a mistura descansou durante 48 horas para serem desenformadas e assim, colocadas em galpões ficando totalmente submersas na água saturada em cal para serem curados em atmosfera com 100% de umidade relativa. Para cada substituição (5,10 e 15%) foram feitas amostras com idade de 7, 14 e 28 dias de cura. A figura 5 ilustra o processo de cura dos pavers, assim como mostra como os mesmos ficam após esse processo.



Figura 5: Pavers sendo curados nos galpões, e depois de prontos. Fonte: Autor do trabalho.

Para determinar a absorção de água de cada amostra, após passarem pelo processo de cura, foi realizado o seguinte procedimento:

- 1) Todos os corpos de prova de cada amostra (0,5,10 e 15%) nas idades de 7, 14 e 28 dias, foram colocados em um recipiente com água, permanecendo imersos durante 24 horas;
- 2) Após as 24 horas, os corpos de prova foram imediatamente pesados em balança analítica;
- 3) Todas as massas foram anotadas para obtenção de resultados posteriores.

É importante lembrar que serem saturados em água, os corpos de prova foram encaminhados à estufa, durante 24 horas, para que houvesse toda a retirada de água do material. Os ensaios foram realizados conforme recomenda a NBR 9778/2009 “Argamassa e concreto endurecidos – Determinação de absorção de água, índice de vazios e massa específica”.

Para determinação da absorção foi utilizada a seguinte equação:

$$A_{\text{água}}(\%) = (M_{\text{saturada}} - M_{\text{seca}}) / M_{\text{seca}} * 100$$

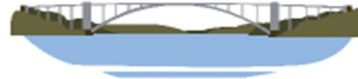
equação (1)

Onde:

$A_{\text{água}}(\%)$: absorção, após imersão em água, em porcentagem;

M_{saturada} : massa, em grama (g), da amostra saturada em água;

M_{seca} : massa, em grama (g), da amostra seca em estufa.



A determinação do índice de vazios foi realizada através da seguinte metodologia:

- 1) Os corpos de prova foram pesados novamente, porém imersos em água, como ilustra a figura 6 a seguir;
- 2) As massas foram anotadas.

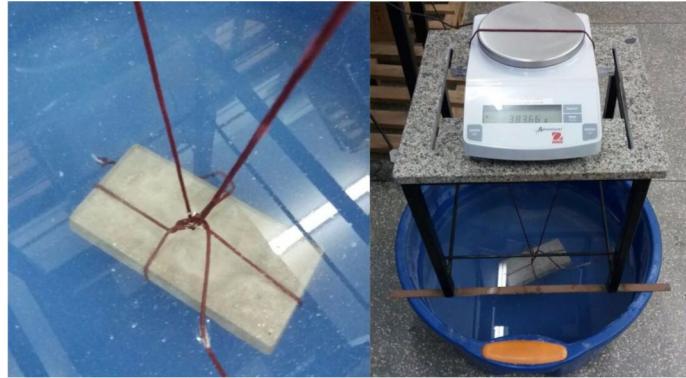


Figura 6: Pavés sendo curados nos galpões, e depois de prontos. Fonte: Autor do Trabalho.

Para o cálculo do índice de vazios após saturação em água, foi utilizada a seguinte equação:

$$I_{\text{vazios}}(\%) = \left[\frac{M_{\text{saturada}} - M_{\text{seca}}}{M_{\text{saturada}} - M_{\text{imersa}}} \right] * 100 \quad \text{equação (2)}$$

Onde:

$I_{\text{vazios}}(\%)$: índice de vazios, em porcentagem;

M_{saturada} : massa, em grama (g), da amostra saturada em água;

M_{seca} : massa, em grama (g), da amostra seca em estufa;

M_{imersa} : massa, em grama (g), da amostra imersa em água.

Os testes de resistência à compressão foram realizados em 6 corpos de prova de cada amostra (0,5,10 e 15%), nas idades de 28 dias, através de uma prensa hidráulica mostrada na figura 7, que exerce uma força sobre o corpo de prova, até que o mesmo se rompa. A NBR 5739/2007 descreve o método que deve ser utilizado nos ensaios mecânicos em busca dos melhores resultados que possam ser alcançados.

A metodologia seguida envolveu os seguintes procedimentos:

- 1) Foi adicionado à máquina, o suporte adequado para o rompimento do corpo de prova prismático;
- 2) Cada corpo de prova foi conduzido ao suporte para que ocorresse o rompimento do mesmo;
- 3) A máquina era acionada e se encarregava de realizar a compressão e gerar os resultados.



Figura 7: Prensa Hidráulica rompendo um dos corpos de prova. Fonte: Autor do Trabalho.

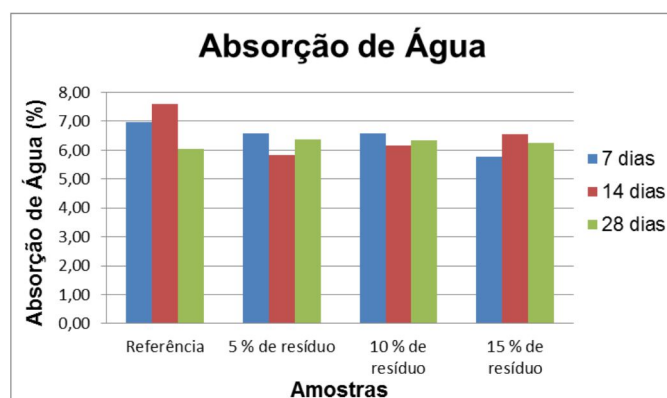
**RESULTADOS**

A absorção representa a quantidade de água absorvida pelas amostras secas em relação à massa da amostra sendo representado em porcentagem e está diretamente relacionada ao índice de vazios, pois, quanto maior a quantidade de poros no material, maior será a absorção de água e altos índices de absorção (porosidade) representam menores resistências à compressão, já que existem mais poros nas amostras, deixando-as sujeitas a fissuras. Os resultados obtidos para absorção de água e porosidade estão apresentados na tabela 1 e 2 e figuras 8 e 9 a seguir.

Tabela 1. Resultados médios obtidos de absorção de água nos corpos de prova.

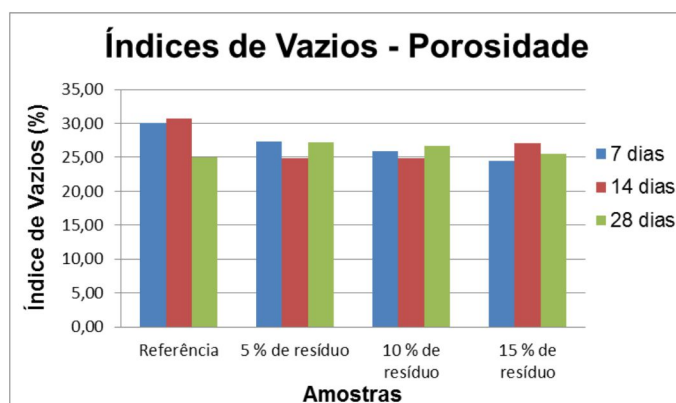
Fonte: o autor

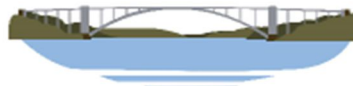
Absorção de água (%)			
Amostras	7 dias	14 dias	28 dias
Referência	6,96	7,61	6,05
5% de resíduo de vidro	6,57	5,83	6,38
10 % de resíduo de vidro	6,57	6,15	6,34
15% de resíduo de vidro	5,78	6,56	6,24

**Figura 8: Gráfico de resultados médios de absorção de água das amostras de referência (0%) e com 5,10 e 15% de adição de resíduo, nas idades de 7,14 e 28 dias. Fonte: Autor do Trabalho.****Tabela 1. Resultados médios obtidos de índice de vazios (porosidade) nos corpos de prova.**

Fonte: o autor

Índice de vazios – porosidade (%)			
Amostra	7 dias	14 dias	28 dias
Referências	30,08	30,74	24,96
5% de resíduo de vidro	27,38	24,90	27,24
10 % de resíduo de vidro	25,95	24,83	26,69
15 % de resíduo de vidro	24,42	27,02	25,48

**Figura 9: Gráfico de resultados de porosidade das amostras com 0,5,10 e 15% de adição de resíduo, nas idades de 7,14 e 28 dias. Fonte: Autor do Trabalho.**



A figura 8 apresenta os resultados médios de absorção de água de todas as amostras, os resultados de referência serão utilizados para a comparação com as demais porcentagens de adição de resíduo em substituição parcial do agregado miúdo, portanto, os resultados das amostras que estiverem iguais ou abaixo do traço de referência serão considerados adequados, já que quanto menor a absorção de água, menor a porosidade e maior a resistência do material analisado.

As amostras de referência apresentaram resultados entre 5 e 8% de absorção. A substituição do agregado miúdo por 5% de resíduo de vidro, trouxe resultados favoráveis em relação ao traço de referência, apresentando valores entre 5 e 7%, apenas a amostra com idade de 28 dias obteve resultado menor em relação às amostras de referência da mesma idade.

As amostras com 10% de adição de resíduo obtiveram resultados equivalentes as demais, sendo entre 6 e 7%, considerado adequado em comparação com o traço de referência, assim como a amostra com 15% de adição de resíduo, que garantiu resultados de absorção entre 5 e 7%.

Em se tratando da figura 9, onde são apresentados os valores médios de porosidade das amostras, certificou-se que os valores estão de acordo com os resultados de absorção, já que são equivalentes com os mesmos. Analisando de uma forma ampla, nota-se que a porcentagem que mais variou entre as 3 (5,10 e 15%), foi a última, tanto em relação à absorção quanto ao índice de vazios.

Os resultados de resistência dos corpos de prova podem ser observados na tabela a seguir, assim como na figura 10.

Tabela 3: Resultados de Resistência Mecânica obtidos para os corpos de prova de cada amostra nas idades de 28 dias. Fonte: o autor.

Resistência média adquirida pelos corpos de prova (Mpa)	
0%	31,99
5%	38,54
10%	37,45
15%	38,30

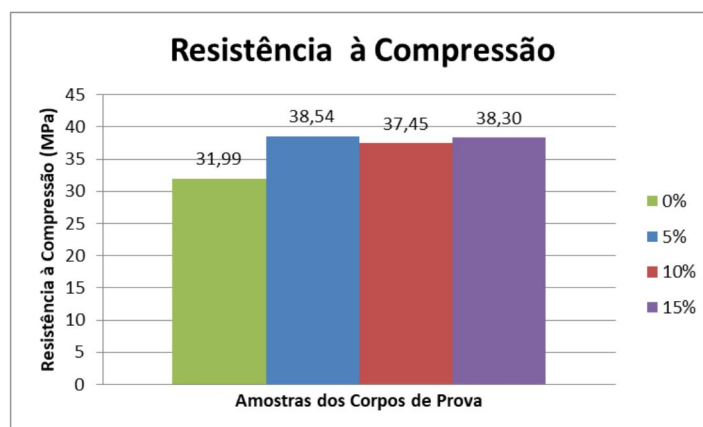
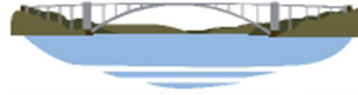


Figura 10: gráfico representativo das resistências obtidas nas amostras. Fonte: Autor do Trabalho.

A partir dos resultados médios encontrados, foi possível perceber que os corpos de prova com 5% de adição de resíduo de vidro em substituição parcial do agregado miúdo obtiveram maior resistência em comparação com o traço de referência e com as demais porcentagens de adição, apresentando ligeiro aumento na resistência que passa de 31,99 Mpa para 38,54 Mpa ao final dos 28 dias de cura.

Segundo Bauer (2009) e Della et al (2006), o vidro é um material com ótimos valores de resistência à compressão, uma vez que possui 70% de sílica em sua composição, tornando-o um resíduo com boas propriedades pozolânicas. No entanto, houve uma diminuição da resistência de 5% para 10%, que pode ser justificada pelo uso de uma granulometria maior do vidro. A NBR 12653/2015, diz que o material pozolânico é sílico-aluminoso, o que confere pouca atividade cimentícia, porém, está se torna satisfatória quando ocorre a diminuição das partículas do vidro, portanto, deveria ser utilizada granulometria menor, ou seja, a granulometria é o fator que pode justificar a diminuição da resistência dos corpos de prova com 10% de adição do resíduo.



Simões (2013), alerta que o tamanho das partículas do vidro pode influenciar na resistência dos corpos de prova uma vez que ocorre o aumento de reações alcali-silica, prejudicando a resistência dos concretos, por esse motivo, indica que seja utilizado um material com granulometria mais fina, (partículas menores), conferindo ao concreto mais estabilidade e resistência.

A cartilha Sistemas Integrados e Calçadas traz os valores mínimos admitidos para pavimentos intertravados de 6 cm de espessura, assim como suas dimensões, funções e durabilidade. Mesmo que os corpos de prova desta pesquisa não tenham a mesma espessura, são similares ao pavimento intertravado trazido pela cartilha onde admite resistência maior que 35 Mpa, ou seja, os resultados encontrados estão de acordo com a bibliografia e legislações.

Foi possível observar, ainda, que houve um aumento significativo da resistência das amostras com 15% de adição, o que era esperado, no entanto, está ainda não é a maior entre as amostras. O teor de substituição de 15% originou um concreto com resistência à compressão de 38,30 Mpa. Para obter resultados mais concretos indica-se que sejam realizadas outras pesquisas utilizando adições maiores a 15% de resíduo de vidro no concreto, assim, será possível mensurar a qualidade da substituição do resíduo em maiores proporções.

CONCLUSÃO

A utilização de resíduos de vidro em substituição parcial do agregado miúdo demonstrou ser uma alternativa viável na aplicação em pavers para pavimentação, uma vez que houve o aumento da resistência dos corpos de prova com 5% de adição de resíduo, sendo a substituição mais adequada quando comparada a adição de 10% e 15%, pois, resultou em uma resistência de 38,54 Mpa, o maior valor entre as substituições e o traço de referência. Os resultados de absorção e porosidade se mostraram coerentes aos de resistência, uma vez que as amostras com adição de 5% e 15% obtiveram absorção entre 5% e 7% e de porosidade entre 25% e 27% o que conferem maior resistência ao corpo de prova. Diferentemente da adição de 10% que obteve maior absorção (entre 6 e 7%), portanto, maior índice de vazios, levando a menor resistência à compressão. Apesar da substituição de 15% ter sido menor que a de 5% seus valores estiveram bem próximos, entretanto, esperava-se obter maior resistência com a adição de 15% de resíduo, apesar disso, há perspectivas futuras de se utilizar maiores adições ou menor granulometria, almejando chegar a resultados mais satisfatórios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 12653 de 25 de Fevereiro de 2015**. Materiais Pozolânicos – Requisitos.
2. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 5739 Concreto de 28 de maio de 2007**. Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndrica – Requisitos.
3. AKERMAN, M. **Introdução ao Vidro e sua Produção**. ABI Vidro – Escola do Vidro. Fevereiro de 2013.
4. BAUER, F. **Avaliação da Utilização de Sucata de Vidro como agregado miúdo artificial na produção de Materiais Cimentícios**. 16º Concurso Falcão Bauer. Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil Premiando a Qualidade. 2009.
5. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução no 307, de 05 de julho de 2002**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n. 136. Seção 1, p. 95-96. 17 de julho de 2002.
6. DELLA, P.V. et al. **Estudo Comparativo entre Sílica obtida por Lixívia Ácida da Casca de Arroz e Sílica obtida por Tratamento Térmico da Cinza De Casca de Arroz**. Química Nova, v. 29, n. 6, 1175-1179, 2006.
7. JOHN, V. M; AGOPYAN, V. **Reciclagem de Resíduos da Construção**. Seminário Reciclagem de resíduos sólidos domiciliares. São Paulo, 2000.
8. SILVA, A. L. B. DA, PEREIRA F. F. A., COSTA G. L. S. DA, MARQUES S. A. **Concreto Especial Produzido a Partir da Substituição Parcial do Cimento Portland por Resíduos de Vidro**. Congresso de iniciação científica do IFRN, Currais Novos, 2013.
9. SIMÕES, J. L. **Estudo da aplicação de Resíduo de Vidro Laminado na Produção de Concreto**. Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico - Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Civil, Vitória, 2013.