

Análise da resistência característica a compressão do concreto produzido com vidro como parte do agregado miúdo

(Analysis of characteristic resistance to compression of the concrete produced with glass as part of the small aggregate)

Luiz Carlos de Alvarenga Júnior¹; Diego Henrique Simão²; Fabio Braga da Fonseca³

¹Graduação – Centro Universitário UNIFAFIBE – Bebedouro SP
Junior_alvarenga@hotmail.com.br

²Centro Universitário UNIFAFIBE – Bebedouro SP
simao-tva@hotmail.com

³Docente – Centro Universitário UNIFAFIBE – Bebedouro SP
fabiobf31@yahoo.com.br

Abstract. *The constructive sector is one of the biggest responsible for the economy heating and development of a country. Amongst the construction works, concrete is the most used material. For its manufacturing, a large amount of raw material is required. At the same time we live a problem dealing with solid waste in Brazil, such as the improper disposal of glass. The objective of this work is to analyze the main characteristic of the concrete, resistance to compression and its behavior when replacing part of the small natural aggregate by recycled ground glass making a comparison to the normal concrete, respecting the technical norms of ABNT. Comparing the traces it was observed that the concrete produced in 20% of replacement is 10.30% times more resistant compared to the standard.*

Keywords. *glass recycling; ground glass; raw material for concrete; aggregates; concrete.*

Resumo. *O setor construtivo é um dos principais responsáveis pelo aquecimento da economia e desenvolvimento de um país, dentre as obras, o concreto é o material mais usado, para sua fabricação demanda-se grandes quantidades de matéria prima. Em paralelo vivemos um problema na gestão de resíduos sólidos no Brasil dentre eles encontra-se o descarte inadequado de vidro. O objetivo deste trabalho é analisar a principal característica do concreto, resistência a compressão e seu comportamento a partir da substituição de parte do agregado natural miúdo por vidro reciclado moído fazendo uma comparação ao concreto normal respeitando as normas técnicas da ABNT. Comparando os traços observou-se que o concreto produzido em 20% de substituição apresenta 10,30% vezes mais resistência comparado ao padrão.*

Palavras-chave. *reciclagem de vidro; vidro moído; matéria prima para concreto; agregados; concreto.*

1. Introdução

O ramo da construção civil é classificado como um dos principais setores produtivos devido à importante colaboração na economia brasileira. Pois o mesmo não só proporciona o crescimento e desenvolvimento da nação, mas também gera inúmeras vagas de emprego, atuando de maneira direta no âmbito social, oferecendo oportunidades de trabalho e moradia ao indivíduo (SILVA, 2009).

Para que uma nação possa se desenvolver é fundamental que seus habitantes tenham condições mínimas de sobreviver, toda uma infraestrutura a sua disposição tais como moradia, saneamento básico, rodovias para se locomover, segurança entre outros. Políticas públicas de desenvolvimento favorecem o crescimento do setor construtivo, porém trabalhadores desqualificados, a fim de baratear os custos e visando lucros cada vez maiores, praticam a ignorância em manusear adequadamente os materiais, resultando no desperdício de matéria prima (DELONGUI et al., 2011).

Na construção civil o concreto é um bem consumido em larga escala sobrepondo os outros materiais. É usado em praticamente todas as obras desde as mais simples como, por exemplo, residência até as mais complexas como grandes edifícios (FONSECA, 2010).

Para produção do concreto, cimento, areia, brita e água, demanda-se grandes quantidades de matéria-prima, promovendo relevante impacto na natureza, sendo o cimento o maior responsável. Seu consumo em média é de 2 bilhões de toneladas/ano. Para sua fabricação, além da extração de rochas é emitido cerca de 7 % de CO₂ na atmosfera, gás responsável pelo aquecimento global (SANTOS, 2013).

Pensando em reduzir o impacto ambiental provocado na fabricação de concreto e para garantir um progresso sustentável, é preciso investir em novas práticas, sendo uma delas a redução do uso de agregados provenientes da natureza trocando seu uso por agregados recicláveis. Essa prática diminui os impactos gerados pela extração de matéria e simultaneamente diminui toneladas de dejetos que são indevidamente descartados na natureza (DE OLIVEIRA CAPANEMA, 2014).

Em alguns países da Europa dentre eles, os principais são Holanda, Espanha e Inglaterra passam por problemas devido à escassez de matéria prima desde a virada do novo milênio. A partir daí, essas nações começaram a implementar novas tecnologias na busca por utilização de agregados reciclados (LEVY; HELENE, 2002).

Em paralelo, o gerenciamento de resíduos sólidos produzidos pela população e indústria brasileira vem tornando-se com o passar dos anos um problema ambiental de grandes dimensões. Têm-se cada vez mais desperdícios de materiais e faltam espaços apropriados para o descarte correto dos mesmos, agravando ainda mais a poluição. Sendo assim é preciso repensar o modo de como lidar com esta nova situação (RIBEIRO et al., 2014).

O Brasil é responsável por produzir cerca de 800 mil toneladas de vidro por ano e apenas 27,6 % deste total é reciclado. Esse baixo índice compreende-se pela dificuldade encontrada em reciclar este material, o alto custo com transporte e impurezas que dificultam a separação do mesmo (LÓPEZ; AZEVEDO; BARBOSA NETO, 2005).

O objetivo deste trabalho é analisar a principal característica do concreto, resistência a compressão e seu comportamento a partir da substituição de parte do agregado natural miúdo por vidro reciclado moído fazendo uma comparação ao concreto normal.

2. Referencial Teórico

2.1. Características do concreto fresco

O concreto é o resultado da homogeneização de agregados (areia e brita), aglomerante (cimento) e água. A mistura deve obedecer a critérios, sendo feita de maneira racional. O concreto pós-mistura deve ter a capacidade para adaptarem-se as condições ambientais podendo ser moldado, característica conhecida como plasticidade (AMBROZEWICZ, 2012).

Outras características do concreto a serem consideradas é a sua consistência, capacidade no estado fresco de se deformar na medida em que é submetido a esforços. Também está relacionada à etapa do transporte, adensamento e lançamento, podendo variar de acordo com as propriedades físicas dos agregados e quantidade de água na mistura. A consistência é determinada pelo teste de abatimento, também conhecido como slump test (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2010).

A trabalhabilidade, outra característica do concreto fresco, pode ser definida como a capacidade do concreto em se adensar independentemente do processo em que o mesmo é submetido sem perder a sua homogeneidade. Está relacionada à sua fluidez (consistência) e também a coesão (WEIDMANN, 2008).

Este conceito de trabalhabilidade ideal depende do tipo de aplicação do concreto, pois para o setor viário de pavimentações a trabalhabilidade ideal seria de um concreto seco, já para um material bombeável a trabalhabilidade ideal deve ser de uma fluidez alta (RECENA, 2002).

A forma de como o arranjo de agregado graúdo está disposto no concreto, de maneira uniforme e coberto pela pasta de cimento garantirá ao concreto maior impermeabilidade, e proteção a armadura caso seja utilizado em estruturas de concreto armado. Essa distribuição uniforme é caracterizada como homogeneidade do concreto. Logo quanto mais uniforme maior será sua homogeneização e melhor será a qualidade do material (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2010).

2.2. Características do concreto enrijecido

As propriedades mais importantes do concreto são as mecânicas, sendo a resistência à compressão e resistência à tração as mais relevantes (NEVILLE; BROOKS, 2013).

A resistência à compressão é a principal delas, pode ser determinada por simples ensaio de compressão axial. São vários os fatores que influenciam na resistência do concreto enrijecido como o traço definido no estudo de dosagem, e a idade do concreto. O concreto possui pouca resistência à tração. Devido este fato, não podemos dispor desta característica, porém é importante conhecê-la, pois esta correlacionada com a eficiência da peça, atuando em esforços cortantes na fissuração (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2010).

Normalmente o teste de compressão axial em corpos de prova cilíndricos é realizado no vigésimo oitavo dia, onde já é possível ter uma ideia da resistência final do concreto. Lembrando-se que o concreto continua a ganhar resistência após os 28 dias, porém em menor taxa de crescimento (BOTELHO; MARCHETTI, 2015).

A abrasão é uma propriedade importante, que possui uma relação diretamente proporcional à resistência característica do concreto. Trata-se da capacidade que o material tende a resistir ao desgaste, muito importante nas superfícies onde o fluxo de pessoas e transição de cargas é grande (OLIVEIRA, 2000b).

A durabilidade é a característica que o material possui em resistir à deterioração, em condições na qual o mesmo foi projetado. A deterioração pode ocorrer devido a fatores externos ambientes. Um concreto de ótima qualidade oferece maior durabilidade porém em condições extrema, não é sinônimo de durável. Outro fator que ajuda na durabilidade é o quanto o concreto

é impermeável, pois dificulta que ocorra fluxo de fluídos para o interior de seus poros (RIBEIRO, 2002).

2.3. Agregados: classificação, características, qualidade da água e suas interferências

Compreende-se como agregado todo material de grandezas e características inertes e pertinentes à utilização em obras de engenharia. Cumprindo função importante em argamassas e concretos, seja ele econômico ou tecnológico. São os principais responsáveis pela qualidade, e propriedades mais importantes do concreto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL, 2007).

Cerca de $\frac{3}{4}$ volume de concreto é constituído por agregados, surge dessa proporção à importância de que todos sejam agregados de boa qualidade, pois não só atuam na resistência mecânica do concreto, mas também na durabilidade e no desempenho (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Em relação a sua procedência, os agregados podem ser de origem natural, ou seja, são aqueles disponíveis na natureza que não necessitam de processos mais complexos para sua seleção ou lavagem. Também existem os de origem artificial, que apesar de serem encontrados na natureza em grandes dimensões, necessitam ser processados industrialmente para o uso, como exemplo a britagem (AMBROZEWICZ, 2012).

Uma forma de caracterização do agregado é a partir de sua massa unitária, razão entre massa e volume (kg/dm^3) incluindo os vazios, os agregados são considerados leve se a razão for menor que um, normal quando a razão estiver entre um e dois, e pesados quando for maior que dois (RIBEIRO, 2002).

Normalmente os concretos são feitos com a dimensão máxima do agregado variando de 10 a 50 mm, portanto o valor mais usual é de 20 mm. Para concretos onde não é exigida altíssima qualidade pode-se empregar agregados com uma variação maior (NEVILLE; BROOKS, 2013).

A umidade deve ser estudada pelo profissional, pois provoca o fenômeno do inchamento nas areias. Conforme aumenta a umidade diminui a massa unitária. O inchamento pode provocar um aumento de 30 % em volume nas areias, chegando até 50% para agregados reciclados. Para determinação do traço deve-se corrigir este teor de umidade (FONSECA, 2002; AMBROZEWICZ, 2012).

É preciso um padrão mínimo de qualidade dos agregados, estes por sua vez podem ser medidos através de ensaio laboratoriais, devem-se avaliar critérios como resistência a esforços mecânicos, desgaste e possíveis presenças de substâncias prejudiciais ao concreto, como os álcalis (RIBEIRO, 2002).

Certamente, a resistência dos agregados não pode ser menor que a resistência da pasta (mistura de água e cimento), a resistência do agregado apesar de difícil pode ser obtida em laboratório por ensaios. O objetivo destas informações é o ponto de vista econômico a fim e reduzir o consumo de materiais mais caros, como o cimento (NEVILLE; BROOKS, 2013).

É comum encontrar certas impurezas, tanto no agregado miúdo quanto nos grãos, que prejudicam o concreto ou argamassa. Torrões de argila, materiais pulverulentos e até mesmo a matéria orgânica são alguns exemplos (AMBROZEWICZ, 2012).

A água usada para produção do concreto obrigatoriamente tem que ser de boa qualidade, livre de impurezas físicas tais como gravetos e folhas, ou químicas como teor de ferro de sulfatos solúveis e pH. Caso o profissional suspeite da procedência da mesma deve-se realizar testes em laboratório (SALGADO, 2014).

A crença de que a água boa para concreto é a água potável muitas vezes falha, pois só o critério de potabilidade muitas das vezes não é o suficiente. Deve-se levar em conta também a concentração de sódio e potássio dissolvido na água (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Possíveis substâncias presentes na água, por exemplo, íons, interferem no pega e enrijecimento do concreto, podendo iniciar o processo de corrosão, e conseqüentemente o comprometendo-a armadura. A norma que regulamenta esse controle é a NBR 6118/ 2014 (FREIRE; BERALDO, 2003).

2.4. Cimento Portland e sua fabricação

Cimento Portland é a designação global ao material habitualmente conhecido no setor construtivo como cimento. Comercializado em forma de pó, sua característica é de um material aglomerante hidráulico que se enrijece ao entrar em contato com a água. Após esse processo de enrijecimento, caso o material entre em contato com a água novamente o mesmo não altera suas características (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002).

O cimento Portland é constituído de clinker, (silicatos hidráulicos de cálcio, sulfato de cálcio) e de adições que alteram as suas propriedades e simplificam sua aplicação (JACQUES, 2013).

Provindas do gesso, escórias de alto forno, materiais pozolânico e materiais carbonáticos, quando misturados ao clinker na fase de moagem, possibilitam a produção dos vários tipos de cimentos Portland, cada qual com suas características (OLIVEIRA, 2000a).

O gesso empregado junto ao clinker possui o objetivo de atuar no tempo de pega do material quando adicionado a água. Sem ele a mistura entrando em contato com a água enrijeceria de maneira quase instantânea, tornando inexecutável a aplicação do cimento nas obras (ANTUNES; JOHN, 2000).

Materiais carbonáticos ou calcário pulverizado são materiais que possuem carbonato de cálcio em sua composição. Adicionado ao clinker, faz com que o produto final da obra, concreto ou argamassa, ganhe em trabalhabilidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002).

O emprego adequado de pozolana no cimento Portland melhora o material em alguns aspectos como trabalhabilidade e aumento da impermeabilidade sem interferir na resistência mecânica (OLIVEIRA, 2000a).

2.5. Dosagem e cura do concreto

A característica predominante do concreto enrijecido é a resistência característica à compressão, (f_{ck}). Será determinada pelo projetista de estruturas. No concreto fresco, sua característica fica em função do transporte, adensamento, lançamento, cura e até mesmo da geometria da peça onde o mesmo será lançado. Cabe ao tecnólogo em concreto satisfazer essas exigências visando sempre um concreto econômico. A dosagem de concreto compreende-se pela ciência que busca a melhor relação entre agregados e aglomerantes. Esta relação é conhecida como traço (TUTIKIAN; HELENE, 2005).

A cura trata-se de um local adequado, nos primeiros dias de endurecimento do concreto. Esta etapa concede a hidratação do concreto, garantindo sua resistência. Deve-se ter o controle da temperatura e da água que é perdida pelo concreto, pois isto afeta negativamente na resistência e na durabilidade. Seu objetivo é garantir que o concreto fique saturado ou o mais perto disto, pois a cura inadequada fará com que o elemento perca água por evaporação e seja incapaz de atingir a resistência adequada (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Dando início à pega, ocorre a hidratação do concreto, esta água tende a escapar pelos poros. Logo o processo de hidratação será prejudicado fazendo com que o concreto sofra retração de volume. Esse fenômeno provoca tensões de tração no concreto recém-adensado e

com pouca resistência. Logo ocorrerão fissuras que diminuem a resistência característica do mesmo (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2010).

Uma boa temperatura de cura varia de 15 a 35 ° C, onde se compreende a temperatura da maioria das obras. Neste intervalo é possível notar um rápido ganho em resistência desde que o processo de cura atenda as exigências de manter o concreto úmido respeitando o tempo determinado (BAUER; BAUER, 2000).

2.6. Ensaio de compressão axial

A resistência característica do concreto é a característica na qual o projetista elabora o dimensionamento da estrutura logo a segurança depende muito dessa propriedade, que deve ser maior ou igual a do projeto. Uma forma de garantir a resistência é testando-a em laboratórios através do ensaio de compressão axial, embasados nas normativas respeitando os padrões de cura e preparos para o ensaio (PACHECO; HELENE, 2013).

A ideia dos ensaios a compressão é antiga, e sempre feita aos 28 dias devido a ideia de que o concreto já atingiu grande parte da sua resistência final, apesar de que é possível notar aumento da resistência até os 360 dias. Após isso o ganho é insignificante, mais gradativo (BAUER; BAUER, 2000).

O ensaio de resistência à compressão é a razão entre a carga aplicada de ruptura e a área de contato do corpo de prova onde é obtida a tensão de ruptura (RIBEIRO, 2002).

Geralmente os corpos de provas são moldados em moldes cilindros reutilizáveis de base igual a 15 mm e altura 30 mm (15 x 30), porém a norma permite o uso de cilindros de menores dimensões em função do diâmetro máximo do agregado (NEVILLE; BROOKS, 2013).

No Brasil o ensaio de compressão que atende a NBR 5739/2007, é feito em duas etapas. A primeira preenche-se os moldes em camadas e com auxílio do bastão e são golpeadas doze vezes por camada. Após a cura do concreto na segunda etapa o mesmo é levado à prensa, com velocidade de carregamento estabelecido por norma de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s, até alcançar a carga de ruptura (PACHECO; HELENE, 2013).

2.7. Vidros, propriedades características e reciclagem

Considerado um elemento inorgânico, homogêneo e amorfo, resultante do processo de fusão, as principais características do vidro são transparência e dureza, além de ser um bom

isolante tem baixo índice de dilatação e condutividade térmica e é considerado material não poroso e nem absorvente (AMBROZEWICZ, 2012).

O vidro é produzido a partir da fusão de matérias prima, o mais comum deles é o vidro de silicatos, cerca de 75 % do seu peso é composto de sílica (SiO₂) como complemento temos os óxidos de sódio (Na₂O) 15%, e óxido de cálcio (CaO) 10% (ASKELAND; PHULÉ, 2008).

Considerando a aplicação estrutural certas propriedades mecânicas dos metais são importantes e devem ser consideradas quando o assunto é vidro e cerâmicas, os metais possuem altos índices de deformação plástica ao contrário dos vidros e cerâmicas que se rompem com facilidade, por outro lado estes materiais possuem grande resistência a compressão assemelhando-se ao ferro fundido (SHACKELFORD, 2008).

Em nível mundial o vidro descartado representa cerca de 7,5% em peso do lixo doméstico produzido, tornando-se um problema tanto financeiro quanto ambiental, devido ao fato de que o processo de reciclagem não é um negócio vantajoso. Porém o interesse voltado para a reciclagem do vidro nos remete a economia de energia e de matéria prima, em números para cada quilograma de vidro reciclado, moído, substitui cerca de 6,6 quilogramas de areia no processo de fabricação (ASSIS, 2006).

Atualmente o vidro proveniente da reciclagem passou a ser estudado como parte do agregado miúdo em concreto, alguns países como a Austrália já adotam esse método. Já no Brasil não detêm-se essa consciência, pois ainda possui matéria prima em abundância e aterros sanitários são uma opção barata para estes descartes (LÓPEZ; AZEVEDO; BARBOSA NETO, 2005).

3. Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido no laboratório do centro Universitário Unifafibe, Bebedouro/SP. Analisou-se a resistência a compressão do concreto produzido com a substituição da areia em percentuais de vidro moído.

Para a comparação foram elaborados dois tipos de concreto, o de referência sem adição de vidro e o produzido com vidro, substituindo a areia nos seguintes percentuais 10% e 20% em peso, a partir do traço padrão.

Para a caracterização do agregado miúdo determinou-se a sua composição granulométrica segundo a NBR 7217/ 87. Também foram analisados os formatos dos grãos de vidro com auxílio de um microscópio com lente de aumento em 40 vezes.

A partir da estatística descritiva foi possível reunir os dados de maneira resumida e organizada, analisar os resultados através de medidas centrais como a média e medidas de dispersão, como desvio padrão. Para cada tipo de concreto foi produzido 6 moldes, com isso tornou-se possível assegurar se ocorreram perdas, aumento de resistência, ou, se não modificou as características do concreto.

O preparo dos moldes e a cura dos corpos de prova foram feitos obedecendo as especificações da NBR 5738/ 2003. Já o ensaio de compressão de corpos cilíndricos segundo a NBR 5739/2007.

O vidro utilizado é do tipo garrafa long neck, descartado pela população da cidade de Bebedouro-SP. Todo o material foi lavado apenas com água para retirada de impurezas como restos de produto líquido, torrões de terra ou até mesmo adesivos da marca. Com o auxílio de um pilão e peneira, o material foi triturado e peneirado.

Para elaboração da pesquisa também foram utilizados, cimento Portland CP II E - 32, areia grossa seca, brita 1, água da rede pública, betoneira, prensa hidráulica universal, facetadora, câmara úmida, desmoldante, moldes de corpos de provas cilíndricos de 10 x 20 cm, haste de adensamento, balança, peneiras e agitador mecânico de peneiras.

3.1. Determinação do traço, dosagem do concreto

O traço foi determinado pela dosagem experimental, um método que exige conhecimentos específicos, todo o material a ser usado deve ser conhecido suas propriedades, massa específica, massa unitária e granulometria. Para isso existem ensaios experimentais de laboratório (RECENA,2002).

Dos métodos de dosagem existente, são comuns no Brasil, o American Concret Institute (ACI), método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), Método do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) e o método do Instituto Nacional de Tecnologia (INT) (RIBEIRO, 2002).

O traço padrão em massa, para este trabalho foi determinado pelo método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e apresenta a seguinte composição 1: 2,47: 3,01: 0,47 (cimento, areia, brita e água, respectivamente).

Por praticidade, tanto na obra quanto em laboratório, para o preparo do traço, suas unidades foram convertidas para volumes, em litros, como mostra a tabela 1.

Tabela 1. Materiais utilizados para elaboração de cada traço de concreto, convertidos para volume em litros.

-	Cimento (L)	Areia (L)	Vidro (L)	Brita (L)	Água (L)
Padrão	1	2,30	0	3,50	0,75
10%	1	2,05	0,25	3,50	0,75
20%	1	1,85	0,45	3,50	0,75

Fonte: Autoria própria (2017).

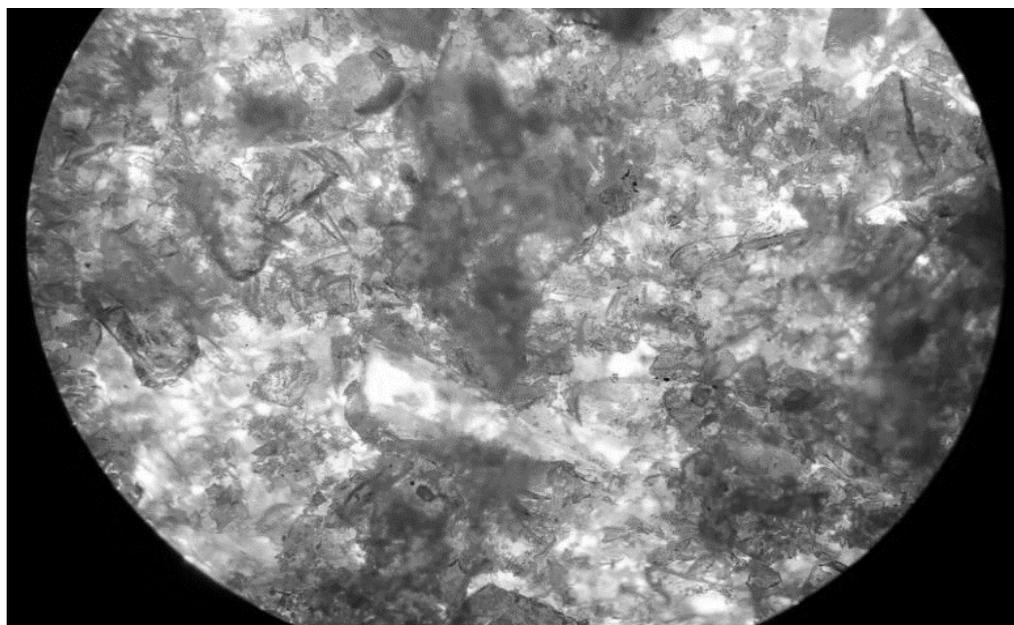
Após o preparo do concreto, para cada traço, verificou-se a sua consistência através do teste de abatimento, também conhecido como slump test.

4.Resultados e Discussão

Após uma primeira análise visual do agregado miúdo, vidro moído, com o auxílio do microscópio e lente de aumento em quarenta vezes, percebeu-se que suas partículas não possuem formato uniforme sendo elas irregulares como mostra a figura 1.

A forma como se apresenta os grãos interfere na fluidez das argamassas e concretos, ou seja partículas de formato arredondado tem menor ângulo de atrito entre si comparada as partículas laminares o que facilita a fluidez (FABRO et al., 2011).

Figura 1. Análise visual do agregado miúdo, vidro moído, com o auxílio do microscópio aumentado em 40 vezes.



Fonte: Autoria própria (2017).

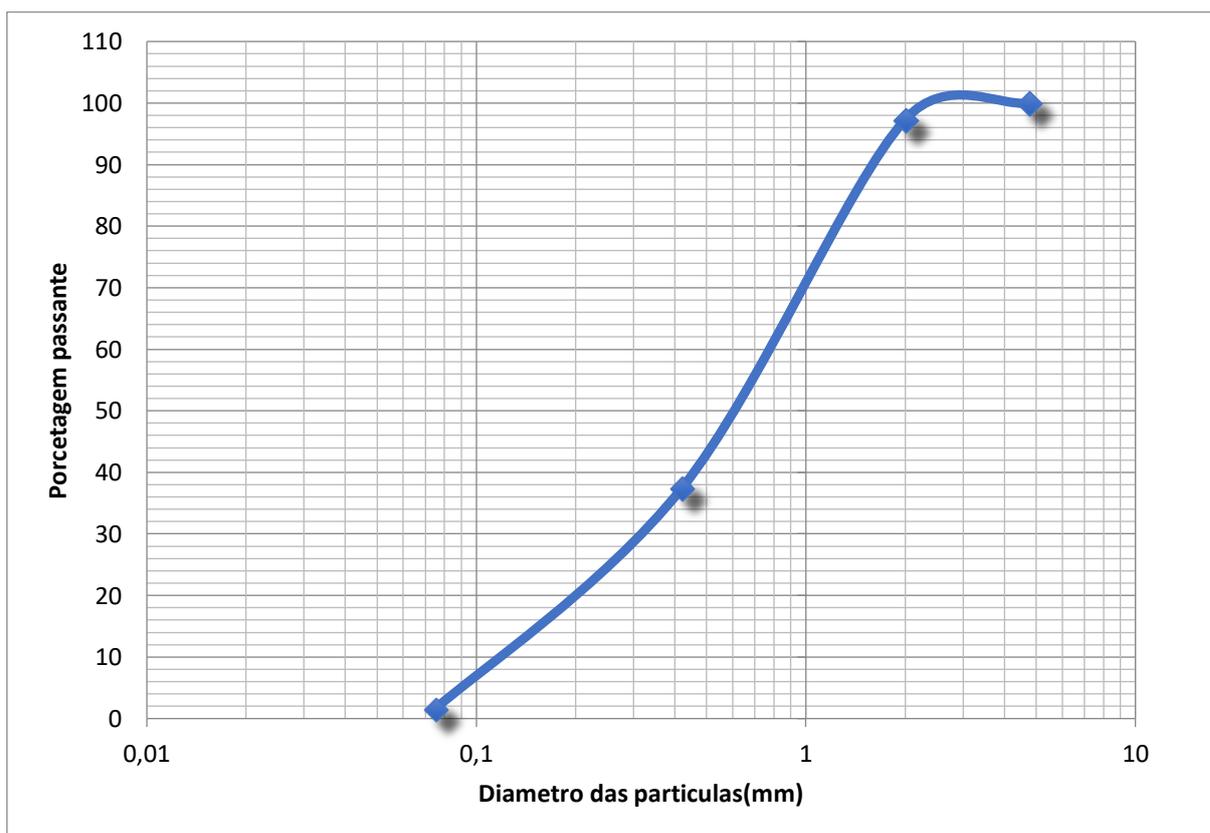
Posteriormente, a verificação do slump para o traço padrão obteve um abatimento zero. O mesmo se repetiu nos demais traços, com substituições de 10 % e 20% de vidro em sua composição de agregados miúdos, ambos apresentaram um abatimento zero.

O abatimento do concreto está diretamente ligado a característica física do agregado miúdo, laminar. O atrito gerado entre as partículas e o baixo fator água cimento utilizado da dosagem do concreto contribuíram para um concreto mais consistente.

O ensaio granulométrico, segundo NBR 7211, classifica os agregados e os miúdos, sendo os miúdos subdivididos em quatro tipos (fina, media fina, media grossa e grossa). A granulometria influencia na trabalhabilidade, no estado plástico e na resistência depois de enrijecido (RIBEIRO, 2002).

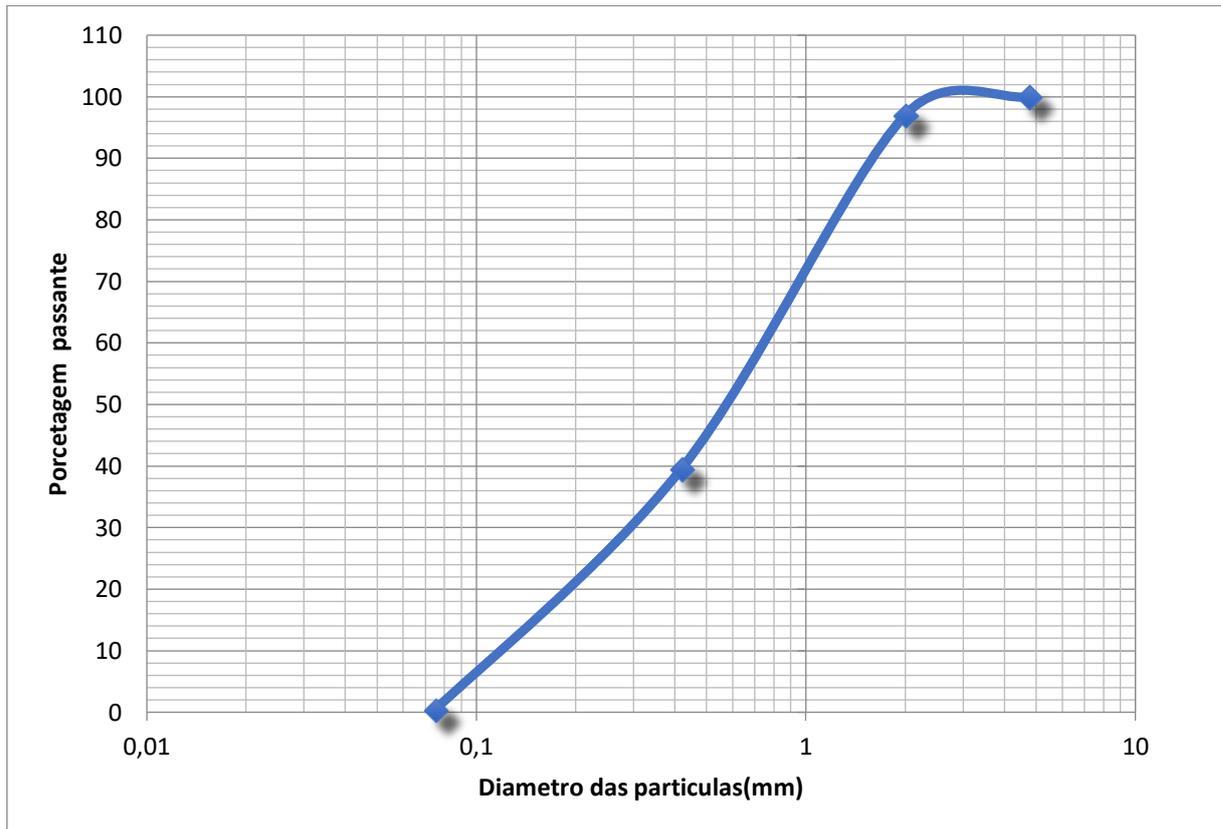
No ensaio de granulometria dos agregados miúdos tanto do vidro quanto a areia foi possível traçar as suas curvas granulométricas representadas nas figuras 2 e 3 respectivamente, e determinar o seu módulo de finura cujo resultado de ambos foi de 1,63 caracterizando-os como agregados finos.

Figura 2. Curva granulométrica do vidro.



Fonte: Autoria própria (2017).

Figura 3. Curva granulométrica da areia.



Fonte: Autoria própria (2017).

A análise da resistência característica a compressão do concreto foi feita, por meio do ensaio de compressão axial, após 28 dias de cura.

O traço padrão apresentou resistência média de $6,79 \pm 0,45$ MPa, já o concreto com substituição da areia em 10 % apresentou resistência média de $5,99 \pm 0,21$ MPa e o concreto com substituição de areia em 20 % apresentou resistência média de $7,47 \pm 0,60$ MPa.

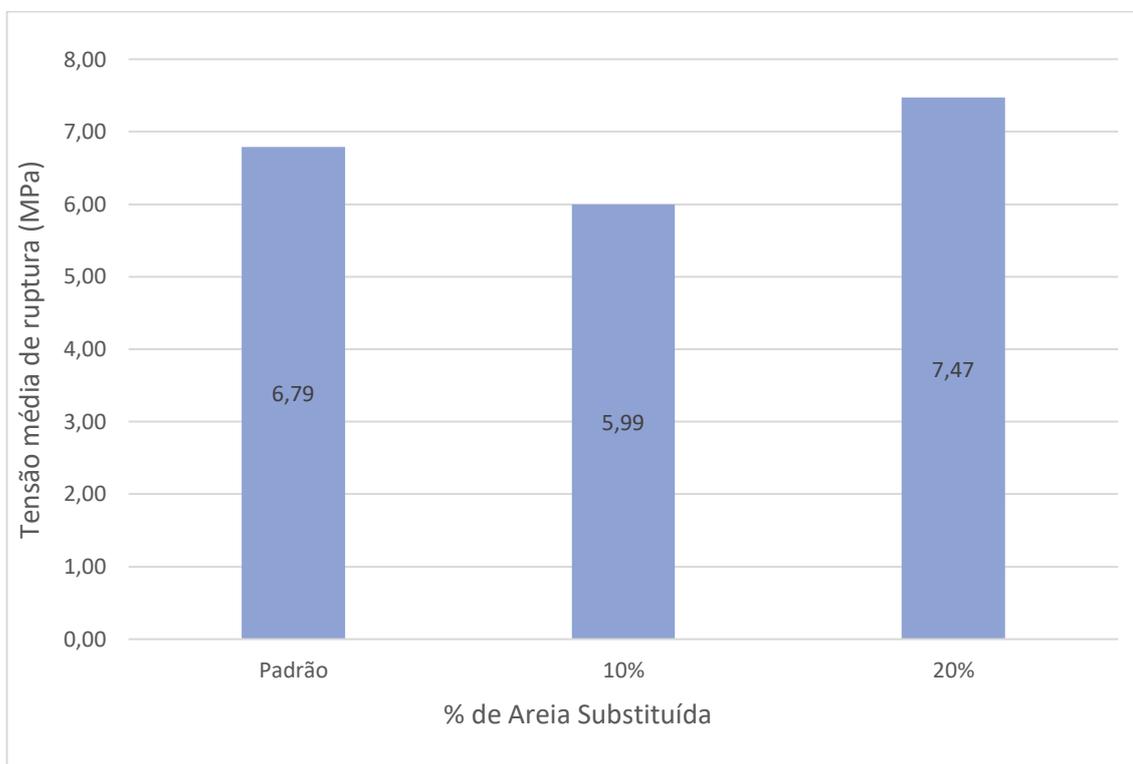
Pode-se observar a tensão média de ruptura em MPa de cada traço de concreto, e também notar que o concreto com substituição de vidro em 20 % resistiu de 10,3% vezes mais quando comparado ao concreto padrão, como mostra a figura 4.

O concreto no qual houve maior resistência ocorreu no traço onde havia maior porcentagem de vidro, pois o material estudado apresentava partículas menores que a areia e com formato laminar gerando atrito entre si.

Este acréscimo de resistência do concreto, pode estar relacionado a vários fatores, dentre eles a granulometria mais fina do agregado decorrente da mistura de areia e vidro, fazendo com que o concreto se torne mais denso, pois com o aumento de finos no concreto ocasiona-se um

melhor preenchimento de vazios deixados por partículas maiores (LÓPEZ; AZEVEDO; BARBOSA NETO, 2005).

Figura 4. Tensão média de ruptura em MPa, para o concreto padrão e para os concretos com substituição de areia em peso nos percentuais de 10% e 20% respectivamente.



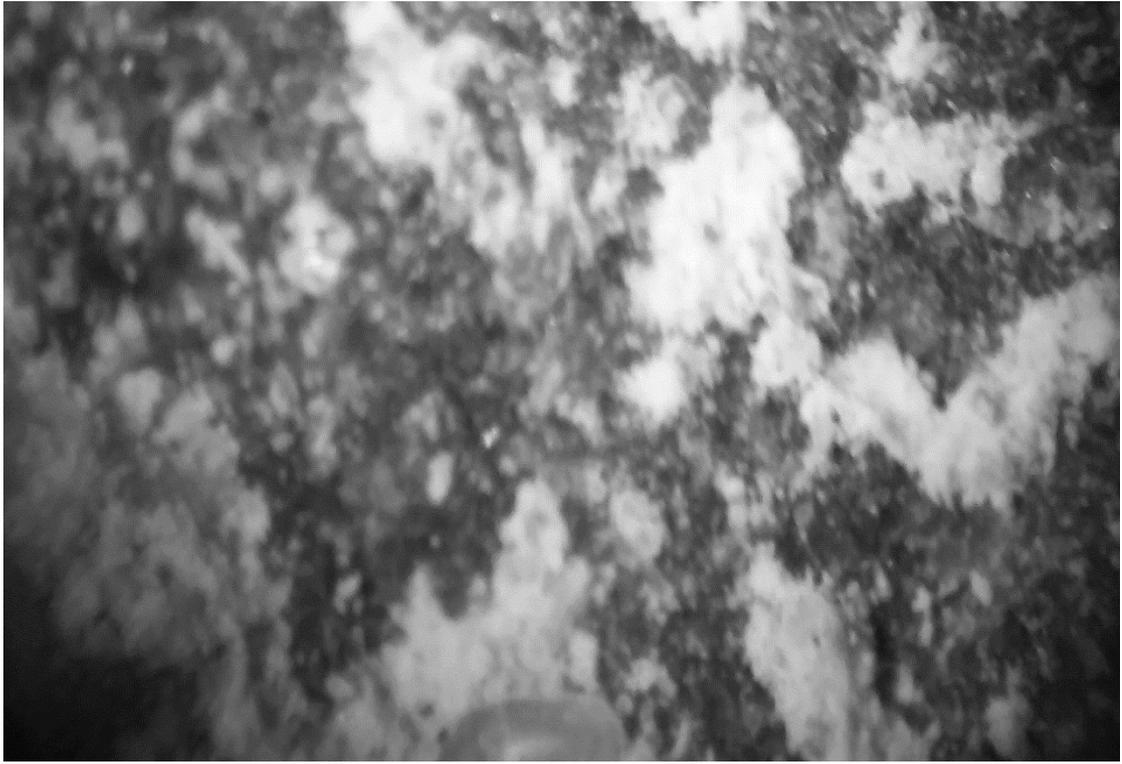
Fonte: Autoria própria (2017).

Após a rupturas dos CP's tendo uma baixa média de resistência, feito uma análise visual do material detectou-se que o concreto estava seco, logo no processo de cura não teria ocorrido uma perfeita hidratação do cimento, com o auxílio de um microscópio foi possível notar o descolamento da pasta de cimento dos agregados, como mostra a figura 5.

De modo geral, o pega significa mudança do concreto fluido para um concreto rígido. Conseqüentemente ao aumento de resistência da pasta de cimento. A água faz com que o silicatos e os aluminatos se transformem no produto de hidratação. Os aluminatos hidratados junto ao gesso usado nas adições do cimento formam a etringita, as responsáveis pelo pega (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Deste modo, é fundamental verificar se está ocorrendo o início de pega, pois se o concreto for manuseado neste período, os cristais formados durante a hidratação se desprenderá dos agregados, logo o processo será prejudicado, afetando as características do concreto, dentre elas a resistência a compressão.

Figura 5. Descolamento dos cristais formados pela pasta de cimento e água dos agregados, imagem visualizada por lupa.



Fonte: Autoria própria (2017).

5. Conclusão

Com o crescimento da população surge a necessidade de explorar a natureza para sua sobrevivência e desenvolvimento, torna-se cada vez maior um problema para a gestão ambiental, pois geram conflitos em relação a utilização destes recursos.

A extração de matéria prima feita de forma inadequada, resultam em escassez de recursos não renováveis. O concreto, material presente na maioria das obras de engenharia, 80% da sua composição volumétrica é constituída de agregados, e todo este material é extraído da natureza.

Com a dificuldade de aquisição de matéria prima, gerado pelo problema de extração, encontra-se uma solução nos resíduos, materiais muitas vezes descartados de maneira incorreta, ao invés de se tornar um outro problema pode ser transformado em agregados reciclados para aplicação em concretos.

Os concretos especiais, são diferentes do concreto tradicional, mistura de pasta de água e cimento com agregados tradicionais como a areia e brita, pois o mesmo possui adições diferentes que proporcionam novas características ao material. Surge daí a necessidade de se investir em novas pesquisas, nas quais, pesquisadores buscam novos materiais e melhor desempenho.

Esta pesquisa demonstra os resultados do estudo do emprego de vidro moído, retirado do lixo para ser reaproveitado como agregado fino para concreto, propiciando uma nova opção para este resíduo, visto que sua reciclagem é um processo difícil e caro para ser realizado.

Os resultados foram obtidos através do ensaio de compressão axial, o trabalho foi dividido em três traços, o padrão, o traço com substituição de areia por vidro em 10 % e em 20% para efeito de comparação.

Mesmo com o ocorrido no tempo de pega do concreto, onde não aconteceu uma perfeita hidratação do cimento, observou-se que o concreto na faixa de substituição de 20 % apresenta 10,30 % vezes mais resistência comparado ao traço padrão.

Este aumento se dá pelo fato das partículas finas de vidro preencherem os espaços vazios do concreto, tornando- mais denso e menos poroso. Tornando viável uma real aplicação deste material na construção civil, para que isto aconteça é preciso investir em novas pesquisas, tais como sua resistência quando submetido a variações de temperatura e sua interação com o aço, caso seja uma estrutura em concreto armado.

Referências

AMBROZEWICZ, P. H. L. *Materiais de construção: normas, especificações, aplicação e ensaios de laboratório*. São Paulo: Pini, 2012

ANTUNES, R.P.N.; JOHN, V. M. *O conceito de tempo útil das pastas de gesso*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP).

ASKELAND, D. R.; PHULÉ, P. P. *Ciência e engenharia dos materiais*. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

ASSIS, O. B. G. O uso de vidro reciclado na confecção de membranas para microfiltração (The use of recycle glass in microfiltration membrane processing). *Cerâmica*, v. 52, p. 105-113, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL (ABESC). *Manual do concreto dosado em central*. São Paulo, 2007. 36p. Disponível em: <<http://www.abesc.org.br/pdf/manual.pdf>>. Acesso em: 9 out. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Guia básico de utilização do cimento Portland*. 7. ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106). Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106_2003.pdf>. Acesso em: 9 out. 2016.

BAUER, L. A. F.; BAUER, R. J. F. Controle tecnológico do concreto. In: BAUER, L. A. F. (Coord.). *Materiais de construção*. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000. cap. 13, p. 375-403.

BOTELHO, M. H. C.; MARCHETTI, O. *Concreto armado: eu te amo*. 8.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2015.v. 1.

CARVALHO, R.C; FIGUEIREDO FILHO, J. *Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118: 2003*.São Carlos: EdUFSCar, 2010.

DELONGUI, L. et al. Panorama dos resíduos da construção civil na região central do Rio Grande do Sul. *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, n. 18, p. 71-80, nov.2011.

DE OLIVEIRA CAPANEMA, D. C. et al. Estudo do uso de rejeitos como agregados para o concreto. *Percurso Acadêmico*, Belo Horizonte, v. 4, n. 7, p. 135-144, jan./jun. 2014.

FABRO, F. et al. Influência da forma dos agregados miúdos nas propriedades do concreto. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais* v. 4, n. 2, p. 191-212, jun. 2011.

FONSECA, F. B. *Desempenho estrutural de paredes de alvenaria de blocos de concreto de agregados reciclados de rejeitos de construção e demolição*. 2002. 167 p. Dissertação (Mestrado)- Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

FONSECA, G.C. *Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: uma abordagem epistêmica*. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

FREIRE, W. J.; BERVALDO, A. L. *Tecnologias e materiais alternativos de construção*. Campinas: Unicamp, 2003.

JACQUES, J. R. *Estudo da viabilidade técnica da utilização de concreto reciclado como agregado graúdo em concreto de cimento Portland*. 63 p. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, RS, 2013.

LEVY, S. M.; HELENE, P. R. L. *Evolução histórica da utilização do concreto como material de construção*. São Paulo: EPUSP, 2002 (Boletim Técnico BT/PCC/318).

LÓPEZ, D. A. R.; AZEVEDO, C. A. P.; BARBOSA NETO, E. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado fino. *Cerâmica*, v. 51, p. 318-324, 2005.

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

OLIVEIRA, H. M. Cimento Portland. In: BAUER, L. A. F. (Coord.). *Materiais de construção*. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000a. cap. 3, p. 35-62.

_____. Propriedades do concreto endurecido Portland. In: BAUER, L. A. F. (Coord.). *Materiais de construção*. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000b. cap. 10, p. 284-313.

PACHECO J.; HELENE, P. *Boletim Técnico 09*. Porto Alegre: ALCONPAT-BR, 2013. Disponível em: <<http://alconpat.org.br/wp-content/uploads/2012/09/BT-09-Paulo-Helene-e-J%C3%A9ssika.pdf>>. Acesso em: 09 out. 2016.

RECENA, F. A. P. *Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland*. 3. ed. Porto Alegre: Edipucrs, 2002.

RIBEIRO, C. C. *Materiais de construção civil*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2002.

RIBEIRO, L. C. S. et al. Aspectos econômicos e ambientais da reciclagem: um estudo exploratório nas cooperativas de catadores de material reciclável do Estado do Rio de Janeiro. *Nova Economia*, v. 24, n. 1, p. 191-214, 2014.

SALGADO, J. *Técnicas e práticas construtivas para edificações*. 3. ed. São Paulo: Érica 2014.

SANTOS, S. *Concreto com sustentabilidade*. Florianópolis: CREA-SC, 2013. Disponível em:<http://www.crea-sc.org.br/portal/index.php?cmd=artigos-detalle&id=2660#.V9Bgx_krLIU>. Acesso em: 7 set. 2016.

SHACKELFORD, J. F. *Ciência dos materiais*. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

SILVA, C. A. R. *Estudo do agregado reciclado de construção civil em misturas betuminosas para vias urbanas*. 2009. 194 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. Dosagem dos concretos de cimento Portland. In: ISAIA, G. C. (Coord.). *Concreto: ciência e tecnologia*. São Paulo: IBRACON, 2005. v. 2, cap. 12, p. 439-471.

WEIDMANN, D. F. *Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento Portland*. 295p. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.