

**CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFAAT
ENGENHARIA CIVIL**

**ALCINO RIBEIRO DA SILVA JUNIOR
CARLOS HENRIQUE RANGEL
EDUARDO MASSAO KUMAI
JOÃO LUCAS ALVES
LUCAS WAKAKI NOGUERO**

**EFEITOS DA VARIAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO EM
DOSAGEM DE CONCRETO**

ATIBAIA – 2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFAAT
ENGENHARIA CIVIL

ALCINO RIBEIRO DA SILVA JUNIOR
CARLOS HENRIQUE RANGEL
EDUARDO MASSAO KUMAI
JOÃO LUCAS ALVES
LUCAS WAKAKI NOGUERO

EFEITOS DA VARIAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO EM
DOSAGEM DE CONCRETO

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como exigência parcial
para obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia Civil pelo CENTRO
UNIVERSITÁRIO UNIFAAT.

Orientador: Prof. Me. Henrique
Raymundo

ATIBAIA – 2018

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por ter nos dado a oportunidade de cursar uma graduação e concretizá-la com sucesso.

Aos nossos pais e familiares pelo apoio, incentivo e pela presença durante esses anos de estudo.

Ao nosso professor mestre Henrique Raymundo pela orientação para este trabalho de conclusão de curso e por compartilhar seus conhecimentos durante nossa formação acadêmica.

A todos os professores e colaboradores da UniFaat que participaram direta ou indiretamente nesta jornada.

Enfim, agradecemos a todos que de alguma forma colaboraram para que pudéssemos concluir o ensino superior e por toda a experiência adquirida durante todos esses anos de estudo.

RESUMO

Diante do atual cenário da construção civil é de suma importância o conhecimento de novas tecnologias que reduzam os custos sem afetar a segurança. Com isso, o concreto leve é uma forma de reduzir o peso em toda a estrutura como um todo através da substituição da brita convencional por argila expandida. Sabe-se que a resistência à compressão do concreto leve é inferior a do concreto convencional, no entanto sua baixa massa específica gera um significativo alívio nas tensões das estruturas e conseqüentemente se tem um custo menor para a edificação. Sendo assim o presente trabalho tem por finalidade apresentar as características, vantagens e desvantagens quanto ao uso da argila expandida para a elaboração do concreto leve, bem como fazer comparativos quanto às resistências do concreto convencional e do concreto leve.

Palavras chave: Concreto leve, argila expandida, concreto convencional, brita, dosagem

ABSTRACT

Faced with the current scenario of civil construction it is very important to know new technologies that reduce costs but without affecting safety. That's why the lightweight concrete is a way of reducing weight throughout the structure as a whole by replacing conventional crushed stone with expanded clay. It is known that the compressive strength of the lightweight concrete is lower than that of the conventional concrete, however its low specific mass generates a significant relief in the tensions of the structures and consequently it has a lower cost for the building. Therefore the present work has the purpose of presenting the characteristics, advantages and disadvantages of the use of expanded clay for the preparation of lightweight concrete, as well as comparing the resistance of conventional concrete and lightweight concrete.

Keywords: Lightweight concrete, expanded clay, conventional concrete, gravel, dosage

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Moldagem dos corpos de prova	14
Figura 2 - Arrasamento da superfície de concreto	14
Figura 3 - Adensamento com haste metálica.....	15
Figura 4 - Determinação do slump	15
Figura 5 - Tanque de cura	16
Figura 6 - Teste de compressão do concreto	16
Figura 7 - Cimento Portland	17
Figura 8 - Aplicação do concreto	18
Figura 9 - Tipos de areias.....	19
Figura 10 - Diferentes tipos de britas.....	22
Figura 11 - Porosidade da argila expandida.	22
Figura 12 - Resistencia a compressão dos tipos do concreto	23
Figura 13 - Granulometria argila expandida.	25
Figura 14 - Capas de regularização com concreto leve	26
Figura 15 - Uso de concreto leve em estruturas	27
Figura 16 - Cura úmida do concreto.	27
Figura 17 - Cura térmica do concreto	28
Figura 18 - Corpos de prova – Concreto convencional.....	31
Figura 19 - Corpos de prova – Concreto leve	31
Figura 20 - Preparação do concreto convencional	32
Figura 21 - Slump e corpos de prova - Concreto convencional	33
Figura 22 - Preparação do concreto leve.....	34
Figura 23 - Slump e corpos de prova - Concreto leve.....	34
Figura 24 - Tanque de cura	35
Figura 25 - Corpo de prova com neoprene.....	36
Figura 26 - Corpos de prova 1 a 5 – Concreto convencional	37
Figura 27 - Corpos de prova 6 a 10 – Concreto convencional	37
Figura 28 - Corpos de prova 1 a 5 – Concreto leve	38
Figura 29 - Corpo de prova 6 a 10 – Concreto leve.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites de composição granulométrica do agregado graúdo	20
Tabela 2 - Comparativo entre a granulometria da argila expandida.....	24
Tabela 3 - Resistência a compressão do Concreto Convencional aos 15 e 28 dias..	36
Tabela 4 - Resistência a compressão do Concreto Leve aos 15 e 28 dias.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Justificativa.....	12
1.2 Objetivos	12
1.3 Metodologia.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Cimento Portland.....	17
2.2 Concreto.....	18
2.3 Areia.....	19
2.4 Brita.....	20
2.5 Argila expandida.....	22
2.6 Concreto leve	25
2.6.1 Resistência mecânica e massa específica	28
2.7 Método de construção de traço unitário – ABCP.....	29
3. PROCEDIMENTOS PRÁTICOS.....	31
3.1 Preparação do concreto	32
3.1.1 Concreto convencional	32
3.1.2 Concreto leve.....	33
3.2 Processo de cura	35
3.3 Processo de retífica.....	35
3.4 Ensaio de compressão – Concreto convencional	36
3.5 Ensaio de compressão – Concreto leve.....	38
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	40
5. CONCLUSÃO.....	41
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
7. APÊNDICE	45

1. INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais utilizados no ramo da construção civil e tem em sua composição o cimento Portland, água e materiais inertes (agregados miúdo e graúdo). Segundo Silvério (2012) o cimento Portland é o segundo material mais utilizado no mundo, ficando apenas atrás da água.

Conforme afirma Silvério (2012) o cimento Portland é produzido com calcário, argila e gesso, sendo assim considerado um aglomerante hidráulico já que reage na presença de água e ganha resistência mecânica após endurecido.

Já os agregados são os materiais inertes da composição do concreto e classificam-se em agregados graúdos (britas) e miúdos (na maioria das vezes areia). Pode-se dizer que os agregados são materiais inertes, pois não reagem quimicamente com o cimento, mas desempenham um papel muito importante na composição do concreto já que garantem maior resistência e durabilidade no caso da brita e trabalhabilidade no caso da areia.

O uso do concreto convencional representa, na estrutura, um acúmulo de peso próprio elevado. Isso faz com que, muitas vezes, exija uma estrutura mais reforçada para seu suporte (escoramentos). No entanto, é possível reduzir o seu peso com a adoção de agregados de menor massa específica, como a argila expandida, por exemplo, em substituição parcial ou total ao agregado graúdo.

A utilização da argila expandida como agregado graúdo traz inúmeros benefícios na utilização do concreto, como:

Menores esforços estruturais: segundo Scobar (2016) a massa específica do concreto leve é aproximadamente 40% menor em comparação com o concreto convencional, resultado este devido ao uso da argila expandida em sua composição.

Maior conforto térmico e acústico: Segundo a empresa Cinexpan publicado na revista Exame (2016) a argila expandida garante o conforto térmico e acústico e também é considerada como uma solução economicamente ecológica. Em épocas muito quentes ou cidades que suas temperaturas são consideradas muito elevadas, o uso da argila expandida pode absorver o calor em até 5 °C das edificações proporcionando um conforto térmico maior e redução em energia elétrica. A argila expandida é também utilizada como agregado no revestimento de tubos de água e esgoto em edifícios e residências, diminuindo assim o barulho.

Redução do uso de escoramento: Segundo a ABCP, citado por Carmo (2007), a redução de escoramento ocorre devido a análise de alguns pontos como: o projeto de fôrmas, projeto estrutural, custo, durabilidade, movimentação (elevadores), produtividade de montagem de escoramento, flexibilidade, segurança, facilidade de ajuste, pé direito e quantidade de elementos. Após ser feita essa análise é determinado o material a ser utilizado entre madeira e metálico, onde o metálico quando se comparado ao de madeira possui custo inicial mais alto, durabilidade maior, maior produtividade na montagem, maior segurança, melhor flexibilidade na movimentação, facilidade para efetuar ajustes necessários e maior condição de alcançar pé direito de até 4,5 metros.

Além dos citados anteriormente há outros benefícios, sobretudo em estruturas onde o peso próprio é um fator importante a ser considerado.

Sabe-se que o ramo da construção civil vem sendo revolucionado com tecnologias até então inéditas para esta área como a impressão 3D que segundo Vendrami (2018) já existe há mais de 30 anos, no entanto está sendo estudada e aperfeiçoada pelo professor Behrokh Khoshnevis da Universidade do Sul da Califórnia, nos Estados Unidos, sendo ele o responsável pela criação da Contour Crafting (Construção por Contornos), uma técnica que utiliza uma impressora 3D de grande dimensão e controlada por computador a fim de construir sem a necessidade do uso da força humana para a edificação.

O contrapiso autonivelante, Nakakura (1997) e Tutikian et al. (2008, apud Martins, 2009), citado por Souza (2013, p. 21), destaca que essa tecnologia traz inúmeras vantagens para o canteiro de obras como a redução do tempo para execução do contrapiso, cura mais rápida, textura mais fina com melhor acabamento, redução da fissuração, menor espessura, entre outros benefícios.

Já o concreto fluorescente é citado por Rubio (2016) como um material que funciona semelhante a uma bateria que carrega durante o dia e a noite emite luz. Para que haja emissão de luz é utilizado no processo elementos de sílica, resíduos industriais, hidróxido de sódio e potássio ao cimento, os mesmos alteram a microestrutura do material e reduz a opacidade do cimento. Quando usado no concreto o produto preserva suas propriedades e pode ser utilizado na iluminação sustentável de edifícios, na sinalização de ciclovias, além de servir como efeito decorativo.

Outra tecnologia é a tinta fotovoltaica que são células poliméricas que sofrem reação química para a geração de energia elétrica. Essa tecnologia de tintas é baseada na utilização de nanotecnologia e química orgânica com impressão em faixas de plásticos que são flexíveis, sendo envelopado diversos objetos para fazer a captação da luz solar para a geração de energia. Segundo o professor Dr. Ely (2014) essa tecnologia sofre um problema na absorção da faixa infravermelho com ondas superiores a 900 nanômetros, sendo necessária a utilização de semicondutores que não agredam ao meio ambiente, resultando em uma maior eficiência de absorção.

O bioconcreto segundo Silva (2017) e Passarini (2017) é um material que possui em sua constituição bactérias que quando se alimentam de lactato de cálcio liberam CaCO_3 (carbonato de cálcio) no seu processo. Logo, havendo fissuras limitadas a uma determinada espessura, o concreto consegue se regenerar e fechar essas pequenas fissuras decorrentes.

Tem-se também o concreto leve com o uso da argila expandida que segundo Scobar (2016) tem grande potencial de utilização já que reduz esforços na estrutura, possui melhor conforto térmico e acústico, gera economia em cimbramento, entre outros benefícios.

1.1 Justificativa

Pode-se afirmar que a construção civil ainda utiliza de inúmeros métodos construtivos arcaicos se comparada com o avanço tecnológico dos outros campos da engenharia, no entanto esse cenário vem mudando e novas tecnologias construtivas estão sendo desenvolvidas a fim de relativizar o tempo de uma construção, reduzir custos, evitar desperdícios e facilitar o trabalho (melhora no rendimento da execução).

Diante das tecnologias que vêm sendo desenvolvidas, o uso do concreto leve com a adoção da argila expandida como agregado graúdo vem sendo uma inovação no ramo, pois além de reduzir o peso próprio da estrutura, melhora o conforto térmico e acústico além de reduzir os custos estruturais, com a diminuição das ações advindas do peso próprio.

1.2 Objetivos

Analisar de forma teórica e experimental o comportamento estrutural quanto a resistência a compressão do concreto leve, que considera a substituição do

agregado graúdo por argila expandida, bem como comparar as características (quanto ao peso próprio final da estrutura) deste concreto e do concreto convencional, sobretudo quanto às suas resistências e trabalhabilidades.

Como objetivo secundário são analisados locais em uma estrutura de concreto armado em que a aplicação deste concreto leve (com possível menor resistência) pode ser viabilizado (considerando sempre os preceitos definidos pela ABNT NBR 6118: 2014).

1.3 Metodologia

A fim de comprovar as funcionalidades do uso do concreto leve foram realizados ensaios de corpos de provas de ambos os tipos de concretos nos laboratórios de engenharia civil da UniFaat. A composição dos traços dos concretos tomou como base os preceitos definidos pelo método da ABCP, que é amplamente difundido e aplicado no Brasil. O traço adotado para a realização dos ensaios do concreto leve foi uma matriz de cimento e areia na proporção 1:1,65, o fator água/cimento utilizado foi de 0,425 e o fator argila/cimento foi de 1 em massa de argila expandida.

A seguir, indica-se a descrição dos materiais selecionados para composição do traço e fabricação do concreto leve:

- Cimento CP II;
- Agregado miúdo: utilizou-se de areia convencional (areia média de Jacareí, a mais vendida na região). A sua granulometria varia de 0,5 mm a 1,0 mm e sua massa específica de 1300 a 1600 (kg/ m³) com a areia seca. A mesma é utilizada em praticamente todas etapas das obras como preparação do concreto, em contrapiso, assentamento de alvenaria e revestimento e também pode ser utilizada para filtragem e tratamento de água e esgoto.
- Água: segundo Scobar (2016) o fator água cimento, a trabalhabilidade e a resistência diferem no concreto leve devido a absorção de água ser diferente do agregado graúdo (brita) comumente utilizado;
- Agregado graúdo: brita 1 com massa específica de 1400 kg/m³;
- Argila expandida: para Scobar (2016) quanto maiores as dimensões do agregado, menor a resistência final apresentada pelo concreto.

Diferentemente do concreto convencional onde as britas tendem a afundar no concreto, no concreto leve a argila expandida tende a flutuar. Foi utilizada o tipo 1506 cuja massa específica é de 600 kg/m^3 e possui um tamanho reduzido em vista de outros tipos de argila expandida mais conhecidos.

Foram produzidos 10 corpos de prova para o ensaio de compressão para o concreto convencional, considerando o uso da brita como agregado graúdo. Outros 10 corpos de prova foram construídos considerando uso da argila expandida para a comparação dos resultados. Todos os corpos de prova foram moldados conforme orientações da ABNT NBR 5738: 2016.

Nas figuras 1, 2 e 3 é possível observar como ocorre a moldagem dos corpos de prova e o adensamento com a haste metálica.

Figura 1 - Moldagem dos corpos de prova



Fonte: <https://www.ufrgs.br/eso/content/?p=992>. Acesso em: 17 Abr. 2018

Figura 2 - Arrasamento da superfície de concreto



Fonte: <https://www.ufrgs.br/eso/content/?p=992>. Acesso em: 17 Abr. 2018

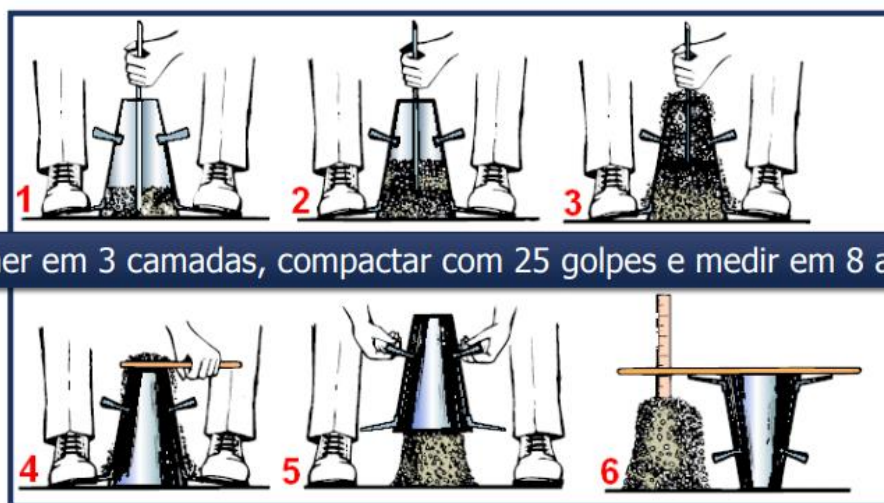
Figura 3 - Adensamento com haste metálica



Fonte: <https://www.ufrgs.br/eso/content/?p=992>. Acesso em: 17 Abr. 2018

Antes da moldagem dos corpos de prova foi realizada a determinação do slump por meio do abatimento do tronco de cone conforme os preceitos definidos pela NBR NM 67: 1998. Abaixo é possível observar na figura 4 como é realizado o procedimento.

Figura 4 - Determinação do slump



Preencher em 3 camadas, compactar com 25 golpes e medir em 8 a 12 seg.

Fonte: <https://sol.pucgoias.edu.br/professor/login.asp>. Mehta e Monteiro (2006) Acesso em 11 Dez. 2018 às 20:37 h

Passadas às 24 horas os corpos de prova foram desenformados e encaminhados a um tanque de cura por um período de 15 e 28 dias. A figura 5 abaixo ilustra essa situação.

Figura 5 - Tanque de cura



Fonte: <https://www.ft.unicamp.br/pt-br/laboratorios/materiaisdeconstrucao>. Acesso em 18 Abr. 2018 às 08:05 h

Para os ensaios de compressão para cada uma das datas definidas seguiu-se os preceitos definidos pela ABNT NBR 5739: 2018. Utilizou-se para a compressão a máquina de compressão universal e de acionamento manual do laboratório da UniFaat. A figura 6 abaixo ilustra a o equipamento.

Figura 6 - Teste de compressão do concreto



Fonte: Elaborado pelos autores

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cimento Portland

Segundo Silvério (2012) o cimento é o segundo material mais utilizado no mundo, ficando apenas atrás da água. Na construção civil isso se mostra real por conta de sua grande utilização em diversas fases das construções. O cimento, que é considerado um aglomerante hidráulico, reage em contato com a água tornando-se um elemento sólido, resistente a compressão e resistente a água e sulfatos diversos.

ABCP (2018) cita que o cimento Portland é fabricado misturando-se uma parte de argila para quatro partes de calcário, ambos moídos finamente em processo industrial. Na sequência, a mistura é aquecida e cozida a uma temperatura aproximada de 1500 °C obtendo-se assim o clínquer. Por fim o clínquer é moído mais uma vez, mas agora com uma porção de aproximadamente 5% de gesso. O resultado final é um pó extremamente fino, de coloração cinza e já chamado de cimento Portland.

Em suma, pode-se dizer que o cimento Portland é extraído a partir de rochas e transformado em um pó fino que quando em contato com água retorna ao seu estado inicial de rocha. A figura 7 ilustra como é o cimento Portland antes de ser adicionado água.

Figura 7 - Cimento Portland



Fonte: <http://www.mapadaobra.com.br/inovacao/cimento-portland-rs-e-a-melhor-solucao-para-ambientes-agressivos/>. Acesso em 01 Mai. 2018 às 21:01 h

2.2 Concreto

Para Battagin apud Pedroso (2009) “o concreto é uma mistura homogênea de cimento, agregados miúdos e graúdos, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos e adições), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento”.

A relação água/cimento é um fator que deve ser considerado pois é relevante para a qualidade final do concreto, ou seja, se a quantidade de água utilizada for muito pequena a reação química não ocorre por completo e se a quantidade for muito grande a resistência diminuirá.

A proporção da mistura desses materiais é denominada como dosagem ou traço do concreto, sendo que é possível a obtenção de inúmeros tipos de traços incorporando aditivos, pigmentos, ou outros tipos de materiais que contribuam para a melhoria das funcionalidades do concreto. Na figura 8 a imagem ilustra a aplicação do concreto por meio de mangotes que possivelmente transportam esse concreto de um caminhão betoneira até o local de aplicação.

Figura 8 - Aplicação do concreto



Fonte:

<http://www.ensino.pr.senac.br/Londrina/tecnologia%20da%20Construcao/concreto%20auto%20adensavel.html>. Acesso em 04 Mai. 2018 às 21:05 h

2.3 Areia

Segundo a definição da NBR 7225: 1993, areia é o conjunto de partículas de rochas degradadas de origem mineral constituído pela desagregação de rochas. Este processo pode ocorrer de forma natural ou ser provocado pelo homem através de processos mecanizados para a britagem de rochas.

Esse agregado pode ser encontrado em portos, rios e escavadas de taludes, porém o mesmo necessita de um processo de lavagem para ficar adequado para o uso da construção civil.

O agregado miúdo (areia) é dividido em três classificações:

- **Areia grossa** - grãos com diâmetro entre 2 a 4 mm: geralmente utilizada para produção do concreto para concretagem de lajes, colunas, pilares e contrapiso.
- **Areia média** - grãos com diâmetro entre 0,42 a 2 mm: usualmente aproveitada na massa de chapisco e esboço das paredes.
- **Areia fina** - grãos com diâmetros entre 0,05 a 0,42 mm: frequentemente usadas em massa de acabamentos.

A figura 9 ilustra os três tipos de areias existentes.

Figura 9 - Tipos de areias



Fonte: <http://www.stavias.com.br/produto/areia/>. Acesso em 04 Mai. 2018 às 10:04 h

De acordo com a NBR 9776: 1988 para o material sob a forma de agregado miúdo é preciso levar em consideração a relação entre o conceito de duas espécies de massa específica: a massa específica real e a massa específica aparente.

A massa específica real dos grãos é a massa da unidade de volume, excluindo deste os vazios permeáveis até os vazios entre os grãos. Sua determinação é feita através do picnômetro, da balança hidrostática e frasco de Chapman de acordo com a NBR 9776: 1988. Já a massa específica aparente é a massa da unidade de volume incluindo neste os vazios permeáveis ou impermeáveis.

2.4 Brita

Segunda Sbrighi (2016) é considerada para a construção civil como sendo fragmentos de rochas duras, que é o resultado dos processos de britagem e peneiramento, onde podemos definir as classificações de britas. As britas são provenientes de diversas rochas, porém para a construção civil a brita utilizada tem origem das rochas tipo: granito, gnaiss, basalto e calcário que são extraídos manualmente com maquinários, ou com explosivos. De acordo com a NBR 7211: 2009 a granulometria de peneira para a classificação de brita varia de 2,36 mm ao máximo de 75 mm, conseqüentemente sendo a classificação da brita também, conforme mostra a tabela 1.

Tabela 1 - Limites de composição granulométrica do agregado graúdo

Peneira com abertura de manha	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica d/D ^a				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0 - 5
63 mm	-	-	-	-	5 - 30
50 mm	-	-	-	0 - 5	75 - 100
37,5 mm	-	-	-	5 - 30	90 - 100
31,5 mm	-	-	0 - 5	75 - 100	95 - 100
25 mm	-	0 - 5	5 - 25 ^b	87 - 100	-
19 mm	-	2 - 15 ^b	65 ^b - 95	95 - 100	-
12,5 mm	0 - 5	40 - 65 ^b	92 - 100	-	-
9,5 mm	2 - 15 ^b	80 ^b - 100	95 - 100	-	-
6,3 mm	40 ^b - 65 ^b	92 - 100	-	-	-
4,75 mm	80 ^b - 100 ^b	95 - 100	-	-	-

2,36 mm	95 - 100	-	-	-	-
<p>^a Zona granulométrica correspondente a menor (d) e a maior (D) dimensões do agregado graúdo.</p> <p>^b Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2. Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.</p>					

Fonte: baseado na NBR 7211: 2009

Para Sbrighi (2016) a utilização da brita pode acontecer em diversas áreas da construção civil, como concreto, pavimentação, obras civis (ferrovias, túneis) e obras de infraestrutura. Para as utilizações citadas existe um tipo de brita apropriada e para atender aos requisitos é possível definir a melhor brita para utilização através de sua classificação conforme descrito abaixo:

- **Pó de pedra: > 4,8 milímetros**

Indicada para a utilização em asfalto, calçamentos, pré-moldados.

- **Brita 0 ou pedrisco de 4,8 a 9,5 milímetros**

Indicada para a utilização em vigas e vigotas, lajes pré-fabricadas, blocos e bloquetes.

- **Brita 1 de 9,5 a 19 milímetros**

Indicada para a utilização em concreto de edificações como colunas, vigas e lajes.

- **Brita 2 de 19 a 25 milímetros**

Indicada para a utilização em concreto que necessite de maior resistência, como em fundações.

- **Brita 3 de 25 a 50 milímetros**

Indicada para a utilização em drenos, aterros.

- **Brita 4 de 50 a 76 milímetros**

Indicada para a utilização em locais específicos, como fossa sépticas, sumidouros, reforços de subleitos para pistas de tráfego pesado.

A figura 10 abaixo ilustra os diferentes tipos de britas.

Figura 10 - Diferentes tipos de britas

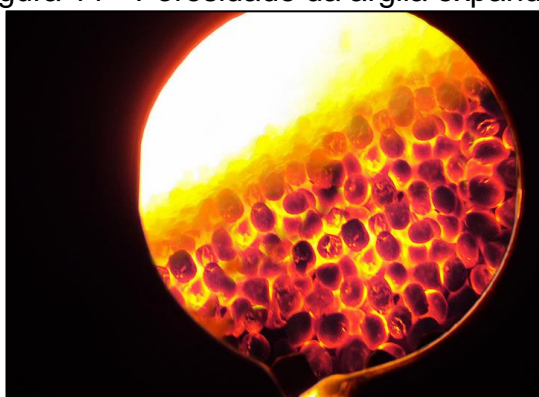


Fonte: <http://www.ineg.pt/servicos/288/>. Acesso em 11 Dez. 2018 às 21:03 h

2.5 Argila expandida

Segundo Vasconcelos (2006) a argila expandida é obtida por meio do aquecimento de vários tipos de materiais argilosos em uma temperatura de aproximadamente 1200 °C, onde uma parte deste material se torna uma massa viscosa e a outra parte se decompõe quimicamente liberando gases que se juntam com a massa viscosa, fazendo com que expanda até 7 vezes o seu volume inicial. Quanto maior a granulometria da argila expandida maior será a sua porosidade interna e, assim, devido a sua alta porosidade a argila proporciona uma redução da resistência mecânica do concreto. Esta porosidade está relacionada ao surgimento de bolhas de gases originados em seu processo de fabricação conforme é possível visualizar na figura 11 abaixo.

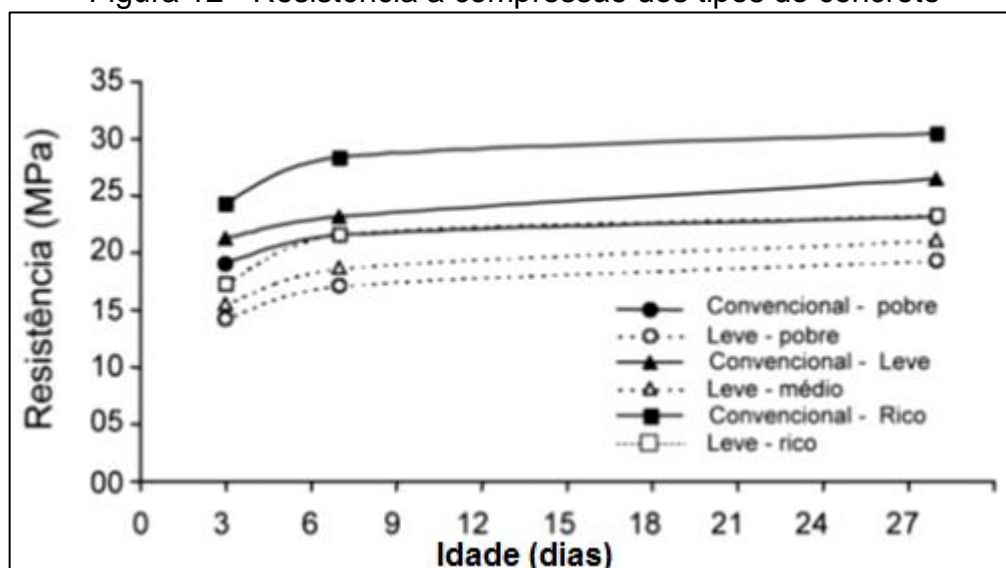
Figura 11 - Porosidade da argila expandida



Fonte: <http://www.cinexpan.com.br/fabrica-argila-expandida.html>. Acesso em 04 Mai. 2018 às 22:30 h

Na figura 12 a seguir, segundo Vasconcelos (2006), aos 28 dias de idade a argila expandida diminui a resistência final do concreto entre 15% a 24% em relação ao concreto convencional. A sua aderência na pasta hidratada de cimento é muito boa pela sua textura áspera da sua superfície, resultando em um intertravamento mecânico entre ela e a pasta de cimento, esta aderência é ainda melhorada pelo fato da alta absorção da água em seu interior que após a mistura do concreto serve para hidratação do cimento. A utilização desta argila expandida é economicamente viável na utilização de concretos leves devido a redução da massa específica do concreto que ela proporciona.

Figura 12 - Resistência a compressão dos tipos do concreto



Fonte: <https://www.researchgate.net/publication/262705446>. Acesso em 05 Mai. 2018 às 23:00 h

Segundo Gumieri et al (2004) a produção da argila expandida em forno rotativo começa com o tratamento térmico da matéria prima que em seguida é triturada e classificada granulometricamente, esses fornos são similares aos usados na produção do cimento Portland. Já a produção por sintetização contínua se dá pela umidificação da matéria prima que é transportada em uma esteira sob queimadores, fazendo com que o calor aumente gradativamente atingindo toda a espessura da camada da argila.

Ainda segundo Gumieri et al (2004) a argila expandida produzida em processo de sintetização contínua possui uma massa específica entre 650kg/m³ a 900kg/m³ e

os produzidos em forno rotativo tem entre 300kg/m^3 a 650kg/m^3 , apresenta alta porosidade comparada aos agregados convencionais e devido a esta característica possui uma alta absorção de água conforme é possível observar na tabela 2. Caso esta característica não seja atendida, a situação pode ser prejudicial ao traço do concreto que será utilizado (menos água reagindo com o cimento) onde parte da água de hidratação do concreto pode ser absorvida pela argila expandida e assim reduzir a resistência mecânica do concreto, para isso deve-se saturar o agregado ou pré-umidificar o mesmo para se adequar ao traço do concreto a ser obtido.

Na figura 13 é possível observar a granulometria da argila expandida, sendo a utilizada nos experimentos a do tipo 1506 considerada fina com grãos de 6 mm a 15 mm.

Tabela 2 - Comparativo entre a granulometria da argila expandida

Granulometria	Resistência	Absorção de água (% da massa seca)
4,0 ~ 8,0 mm	4,8 Mpa	27,0
8,0 ~ 12,5 mm	1,9 Mpa	22,7
6,3 ~ 12,5 mm	2,2 Mpa	24,5
8,0 ~ 16,0 mm	1,4 Mpa	22,8

Fonte: <https://www.sotecnisol.pt/>. Acesso em 28 Ago. 2018 às 23:00 h

Figura 13 - Granulometria da argila expandida



Fonte: <http://www.agriurbana.com.br/produto/argila-expandida-1506/>. Acesso em 11 Dez. 2018 às 21:39 h

Segundo Silva (2003), a massa específica dos concretos convencionais varia entre 2200 kg/m^3 e 2600 kg/m^3 , e a do concreto estrutural leve entre 1350 kg/m^3 e 1850 kg/m^3 . O uso do concreto estrutural leve nas edificações pode representar uma significativa redução do peso próprio da estrutura, podendo essa redução chegar à faixa de 15% do peso total.

2.6 Concreto leve

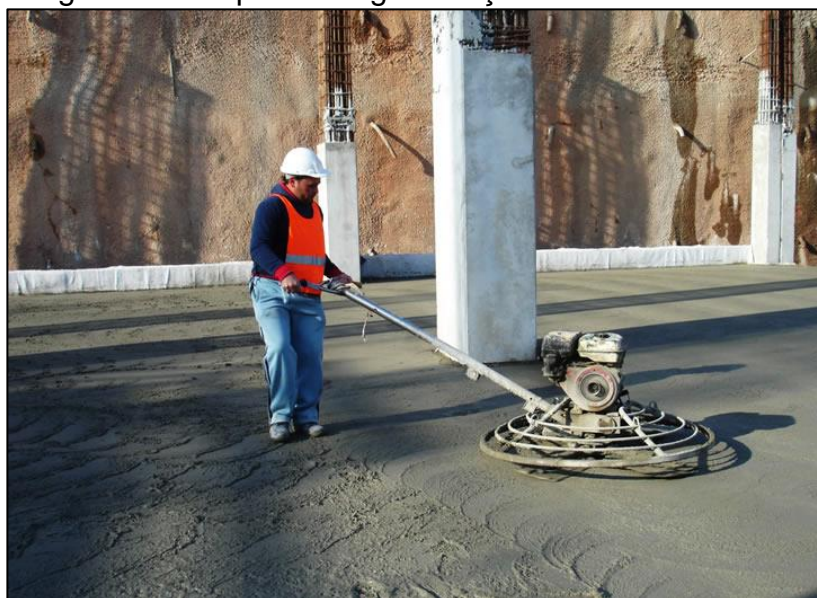
Segundo a Cinexpan, empresa especializada em concreto leve estrutural, a forma mais habitual de se obter concretos leves com resistências consideráveis é utilizando-se agregados porosos, como é o caso da argila expandida, que quando adicionada no lugar da brita propriamente dita se obtém uma carga muito inferior em relação ao comparado com o uso da brita. Sua finalidade não serve apenas para diminuição do peso próprio por m^3 , mas também há uma diminuição significativa nos custos de fundação já que sua massa específica é de em média 1800 kg/m^3 comparado aos 2500 kg/m^3 do concreto armado convencional, mostrando-se seu uso cada vez mais vantajosa se comparada a utilização de estruturas em concreto

convencional. Segundo a ACI 213R (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 2003), a massa específica do concreto leve deve ser entre 1120 a 1920 kg/m³ e a resistência compressão deve ser maior que 17 MPa. No entanto, a NBR 6118: 2014 exige resistência mínima de 20 MPa para fins de concreto estrutural.

Segundo a empresa Cinexpan a diminuição do peso representa uma redução de até 30% nos custos de fundação, gera uma melhoria no desempenho térmico e acústico e aumento da resistência ao fogo.

De acordo com a empresa Cinexpan nos últimos 5 anos tem-se observado a utilização do concreto leve com argila expandida não apenas como preenchimento de capas, como contrapisos, mas também em edifícios de múltiplos andares, pontes, recuperação estrutural e plataformas marítimas. Essas estruturas estão expostas aos mais variados ambientes, e alguns são extremamente agressivos, como é o caso das plataformas marítimas, o que demonstra a grande durabilidade e versatilidade da argila expandida. Nas figuras 14 e 15 é possível verificar duas formas de aplicação do concreto leve onde uma mostra a utilização do mesmo em uma região de laje (regularização) e outra para uma estrutura de arquibancada.

Figura 14 - Capas de regularização com concreto leve



Fonte: <https://www.cinexpan.com.br/concreto-leve-estrutural.html>. Acesso em 28 Ago. 2018 às 22:45 h

Figura 15 - Uso de concreto leve em estruturas



Fonte: <https://www.cinexpan.com.br/concreto-leve-estrutural.html>. Acesso em 22 Ago. 2018 às 23:00 h

Segundo a NBR 5738: 2016 e a NBR 5739: 2018 o processo de cura pode ser feito de duas formas: a **cura úmida**, onde é feita por meio de aplicação direta de água sobre a superfície do concreto conforme ilustra a figura 16, ou com a **cura térmica** que é um processo mais complexo realizado em câmaras onde acelera o ganho de resistência pelo aquecimento e umidade controlada assim sendo considerada a cura mais eficiente e muito utilizada em empresas de elementos pré-fabricados conforme ilustra a figura 17.

Figura 16 – Cura úmida do concreto



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 17 - Cura térmica do concreto



Fonte: <https://www.slideshare.net/davidgrubba/03-concreto-introduo?ref=>. David Grubba (2015). Acesso em 22 Ago. 2018 às 23:34 h

2.6.1 Resistência mecânica e massa específica

As principais características para a produção de um concreto estrutural são: resistência mecânica e massa específica e, claro, a relação entre as duas propriedades, mais conhecida como fator de eficiência conforme representa a equação 1 abaixo.

$$FE = \frac{Re}{\gamma}$$

(Equação 1)

Onde:

FE = Fator de Eficiência (MPa.dm³/kg)

Re = Resistência a compressão (MPa)

γ = massa específica (kg/dm³)

As construções de edifícios de múltiplos pavimentos realizadas pela Cinexpan com estruturas de concreto leve de massa específica em torno de 1.800 kg/m³ apresentam uma redução de 30% no custo da fundação em comparação com as estruturas em concreto convencional, proporcionando assim algumas vantagens como: redução do peso, redução de carga e custos na fundação, aumento da resistência ao fogo e quando se fala em enchimento suas vantagens são ainda maiores como uma resistência elevada com baixa densidade, fácil manuseio, permite

alívio de sobrecarga sobre as estruturas e tem um módulo de deformação menor quando comparado com os convencionais.

Segundo Rossignolo (2003) a melhoria no desempenho térmico do concreto leve comparado ao convencional se dá através da combinação de alguns fatores, sendo eles: menor condutividade térmica, menor coeficiente de expansão térmica e maior estabilidade dos agregados leve quando exposto em altas temperaturas.

2.7 Método de construção de traço unitário – ABCP

Para a dosagem do concreto com cimento Portland é necessário realizar um estudo de dosagem para a obtenção da melhor relação entre os materiais a serem utilizados para a fabricação do concreto, a relação entre os materiais é conhecida como traço unitário. O traço unitário pode ser feito em relação a massa ou volume do material.

O método a seguir foi obtido através da Associação Brasileira de Cimento Portland, conhecida como ABCP. Esse método se refere a materiais graúdos naturais com diâmetro de no mínimo 9,50 milímetros e o máximo de 38 milímetros. E por isso é conhecido como Traço Referência ABCP – Agregado graúdo natural.

O traço de referência utilizado foi pré-definido de acordo com a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) conforme descrito abaixo:

Cálculo da dosagem

A determinação do fator a/c é realizada por meio da relação entre o f_{cj} e a resistência do cimento aos 28 dias (Curva de Abrams).

Para a determinação do consumo de água leva-se em consideração a relação entre o diâmetro máximo do agregado graúdo e o abastecimento do tronco de cone.

A determinação do consumo de cimento é definida de acordo com a equação 2 abaixo:

$$C_c = \frac{C_a}{a/c} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

C_c = Consumo de cimento.

C_a = Consumo de água.

a/c = Fator de água/cimento.

A determinação do consumo de agregado Graúdo (C_b) é definido de acordo com a equação 3 definida abaixo:

$$C_b = V_b - MU \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

C_b = Consumo de brita.

V_b = Volume de brita, determinado pela relação entre o módulo de finura do agregado miúdo e o diâmetro máximo do agregado graúdo.

MU = Massa unitária compactada do agregado graúdo

Para a determinação do volume de areia utiliza-se da equação 4 conforme abaixo:

$$V_a = 1 - \frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_b}{\gamma_b} + \frac{C_a}{\gamma_a} \quad (\text{Equação 4})$$

Determinação do consumo de areia:

$$C_a = V_{\text{areia}} \times \gamma_{\text{areia}}$$

Por fim a apresentação do traço é descrita conforme a equação 5 abaixo:

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_a}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_{\text{água}}}{C_c}$$

(Equação 5)

3. PROCEDIMENTOS PRÁTICOS

Para a preparação do concreto será diferenciado aqui o concreto convencional (que utiliza como agregado graúdo a brita 1 comumente utilizada) do concreto leve (que utiliza como agregado graúdo a argila expandida do tipo 1506). Para o concreto convencional a resistência esperada de acordo com o seu traço seria de 25 MPa. Já para o concreto leve espera-se que o mesmo possua uma resistência inferior pois embora o traço e o fator água/cimento sejam os mesmos, a brita foi substituída pela argila expandida. Com isso, foram elaborados 10 corpos de prova para cada tipo de concreto conforme ilustram as figuras 18 e 19.

Figura 18 - Corpos de prova – Concreto convencional



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 19 - Corpos de prova – Concreto leve



Fonte: Elaborado pelos autores

3.1 Preparação do concreto

3.1.1 Concreto convencional

Para o concreto convencional utilizou-se os seguintes quantitativos de materiais:

- 20 kg de cimento;
- 33 kg de areia;
- 47 kg de brita;
- 8,5 litros de água;
- Relação a/c: 0,425.

Para o concreto convencional foi obtido um slump de 18,5 cm. As figuras 20 e 21, ilustram partes do processo de preparação do concreto.

Figura 20 - Preparação do concreto convencional



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 21 - Slump e corpos de prova - Concreto convencional



Fonte: Elaborado pelos autores

3.1.2 Concreto leve

Para o concreto leve utilizou-se os seguintes quantitativos de materiais:

- 20 kg de cimento;
- 33 kg de areia;
- 20 kg de argila expandida (sendo a argila pré-umidificada);
- 8,5 litros de água;
- Relação a/c: 0,425.

Para o concreto leve foi obtido um slump de 5,5 cm. As figuras 22 e 23, ilustram partes do processo de preparação do concreto leve.

Figura 22 - Preparação do Concreto leve



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 23 - Slump e corpos de prova - Concreto leve



Fonte: Elaborado pelos autores

3.2 Processo de cura

Passadas as 24 horas os corpos de prova foram desenformados e levados a um tanque de cura por um período de 15 e 28 dias conforme ilustra a figura 24 abaixo.

Figura 24 - Tanque de cura



Fonte: Elaborado pelos autores

3.3 Processo de retífica

Após o período de cura estipulado os corpos de prova submetidos ao ensaio de compressão devem primeiramente passar por um processo de retífica onde as superfícies são ligeiramente lixadas a fim de garantir uma área de contato mais uniforme. Com esse processo é então possível realizar o ensaio de compressão com mais eficácia de acordo com a NBR 5738: 2016. No entanto, como também é previsto em norma, utilizou-se o neoprene em substituição ao processo de retífica da peça o qual permite a realização do ensaio de compressão sem a necessidade de retífica pelo fato desse elastômero sintético possibilitar e favorecer a distribuição da carga de compressão na máquina que realiza os ensaios. A figura 25 ilustra o neoprene e sua utilização no ensaio de compressão dos corpos de prova.

Figura 25 - Corpo de prova com neoprene



Fonte: Elaborado pelos autores

3.4 Ensaio de compressão – Concreto convencional

A tabela 3 indica as resistências obtidas em cada corpo de prova aos 15 e 28 dias de cura, e nas imagens 26 e 27 é possível observar a realização dos ensaios bem como os corpos de prova já rompidos após os ensaios.

Tabela 3 - Resistência a compressão do Concreto Convencional aos 15 e 28 dias

Corpo de prova	Resistência a compressão 15 dias (MPa)	Resistência a compressão 28 dias (MPa)	Corpo de prova
CP 1	13,93	20,45	CP 6
CP 2	18,76	17,23	CP 7
CP 3	15,95	19,06	CP 8
CP 4	16,77	16,52	CP 9
CP 5	14,05	19,05	CP 10
MÉDIA DAS RESISTÊNCIAS	15,89	18,46	MÉDIA DAS RESISTÊNCIAS

Fonte: elaborado pelos autores

Figura 26 - Corpos de prova 1 a 5 – Concreto convencional



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 27 - Corpos de prova 6 a 10 – Concreto convencional



Fonte: Elaborado pelos autores

3.5 Ensaio de compressão – Concreto leve

A tabela 4 indica as resistências obtidas em cada corpo de prova aos 15 e 28 dias de cura, e nas imagens 28 e 29 é possível observar a realização dos ensaios bem como os corpos de prova já rompidos após os ensaios.

Tabela 4 - Resistência a compressão do Concreto Leve aos 15 e 28 dias

Corpo de prova	Resistência a compressão 15 dias (MPa)	Resistência a compressão 28 dias (MPa)	Corpo de prova
CP 1	10,36	11,61	CP 6
CP 2	10,38	8,3	CP 7
CP 3	11,36	10,84	CP 8
CP 4	9,68	12,5	CP 9
CP 5	11,47	9,94	CP 10
MÉDIA DAS RESISTÊNCIAS	10,65	10,64	MÉDIA DAS RESISTÊNCIAS

Fonte: elaborado pelos autores

Figura 28 - Corpos de prova 1 a 5 – Concreto leve



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 29 - Corpo de prova 6 a 10 – Concreto leve



Fonte: Elaborado pelos autores

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com o ensaio de ambos os tipos de concreto observou-se inúmeras características distintas e já esperadas na preparação e moldagem dos corpos de prova. Iniciando-se pelo concreto convencional foi possível observar em seu preparo a sua elevada densidade, já que o mesmo possui um alto peso específico devido a sua composição e especialmente devido ao uso da brita como agregado graúdo. Apesar do fator água/cimento utilizado de 0,425 o concreto apresentou uma boa fluidez depois de preparado chegando-se a um slump de 18,5 cm, no entanto a resistência final em 15 e 28 dias não apresentaram valores muito diferenciados sendo obtido 15,89 e 18,46 MPa respectivamente, diferentemente do esperado para esse concreto que era 25 MPa aos 28 dias. Após moldados, desenformados e curados os corpos de prova apresentaram uma massa média de 3,6 kg e densidade de 45,83 g/cm³.

O volume de agregado graúdo (brita) utilizado no concreto convencional resultou em uma massa de 47 kg. Já no concreto leve o mesmo volume do agregado graúdo (argila expandida) resultou em uma massa de 20 kg. Após o preparo obteve-se um valor bem pequeno de slump chegando-se a 5,5 cm, ou seja, um concreto com baixa fluidez que provavelmente tenha apresentado essa característica devido a absorção de parte da água pela argila expandida ainda que a mesma já tivesse sido umidificada antes do seu uso. Quanto as resistências em 15 e 28 dias as mesmas mantiveram-se iguais, e não apresentaram aumento durante esse intervalo, sendo obtido um valor de 10,64 MPa e apresentando no rompimento dos corpos de prova uma ruptura aproximada ao tipo cônico e bipartido conforme indica a NBR 5739: 2007. Esperava-se que a resistência fosse maior com 28 dias, no entanto não foram obtidos resultados significativos, algo que não ocorre em um concreto convencional, por exemplo. Após moldados, desenformados e curados os corpos de prova apresentaram uma massa de 2,3 kg e densidade de 29,28 g/cm³, indicando assim sua vantagem em relação ao concreto convencional devido a sua massa ser quase 40% menor.

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos dos ensaios realizados é possível chegar à conclusão de que o concreto leve com o uso da argila expandida apresenta uma resistência inferior ao concreto convencional. Isso se dá devido a algumas causas como a alta porosidade da argila, sua resistência mecânica inferior e eventualmente devido a menor interação entre o agregado e a pasta de cimento se comparado ao uso de uma brita convencional.

Para o aumento da resistência do concreto leve em possíveis ensaios futuros é necessário que algumas medidas sejam tomadas a fim de incrementar a resistência final. A adoção de um novo traço com a redução do fator água/cimento, a redução da quantidade de argila expandida utilizada ou a prévia imersão total da argila em água para evitar absorção da água no traço poderiam garantir melhores resultados para a resistência final do concreto. Enfim, demais medidas que favoreçam ainda mais o aumento da resistência e conseqüentemente o uso do concreto leve.

Ainda que a exigência mínima por norma seja o uso de concreto com resistência mínima de 20 MPa conforme a NBR 6118: 2014 no caso em questão não é possível utilizar o concreto leve em nenhuma aplicação estrutural. No entanto vale destacar que com a adoção de um novo traço seria possível adequá-lo a esse parâmetro de resistência já que segundo a empresa Cinexpan especializada em concreto leve estrutural afirma que o concreto leve pode ser obtido com uma resistência de 30 MPa a partir de um traço pré-definido, podendo fazer uso desse concreto em estruturas como lajes a fim de reduzir os esforços solicitantes e conseqüentemente reduzir o custo de estruturas de fundação, por exemplo. Além disso o concreto leve vai muito além de apenas resistir a esforços de compressão já que o mesmo também pode servir como elemento de vedação ou como um isolante térmico nas edificações sem necessariamente exercer uma função estrutural.

Logo, conclui-se que o estudo dos usos do concreto leve é interessante para a engenharia pois traz inúmeros benefícios para a construção civil como um todo. Se houvesse possibilidade o ideal seria o desenvolvimento de um novo concreto a ser testado com as devidas correções identificadas no primeiro ensaio, sendo possível com isso readequar o traço e garantir uma resistência melhor. Novas tecnologias

como essa devem ser disseminadas a fim de aumentar o leque de possibilidades em soluções para a engenharia.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 33**: Concreto — Amostragem de concreto fresco: Rio de Janeiro, 1998. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 67**: Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone: Rio de Janeiro, 1998. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738**: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova: Rio de Janeiro, 2016. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739**: Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos: Rio de Janeiro, 2007. 13 p.

CINEXPAN. **Concreto Leve Estrutural**. Disponível em: <<https://www.cinexpan.com.br/concreto-leve-estrutural.html>>. Acesso em: jun. 2018.

Concreto e construções. Concreto: material construtivo mais consumido no mundo. **IBRACON**, São Paulo, mar. 2009. Disponível em <http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/revista_concreto_53.pdf> Acesso em: mai. 2018.

EXAME ABRIL. **Argila expandida garante conforto térmico, economiza energia e combate à dengue**. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/negocios/dino/argila-expandida-garante-conforto-termico-economiza-energia-e-combate-a-dengue-dino89081422131/>>. Acesso em: mai. 2018.

MARTINS, Paulo Benjamim Moraes. **Influência da granulometria agregado miúdo na trabalhabilidade do concreto**. 2008. 93 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Agregados para construção civil**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P22_RT30_Perfil_de_br_ita_para_construcao_civil.pdf/01c75ac7-ecd2-4d85-a127-3ecddec2a31>. Acesso em: mai. 2018.

ROSSIGNOLO, João Adriano. **Concreto Leve de Alto Desempenho modificado com SB para Pré-Fabricados Esbeltos – Dosagem, Produção, Propriedades e Microestrutura**. São Carlos 2003. 211p. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ROSSIGNOLO, João Adriano. **Concreto Leve Estrutural: influência da argila expandida na microestrutura da zona de transição pasta agregado.** Disponível

em: <<https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/8712/7048>>.

Acesso em out. 2018.

SANTOS, Altair. **Para cada tipo de concreto, um tipo de brita.** Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/para-cada-tipo-de-concreto-um-tipo-de-brita/>>. Acesso em: mai. 2018.

SANTOS, Altair. **Universidade mexicana cria cimento fosforescente.** Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/universidade-cimento-fosforescente/>>. Acesso em: jun. 2018.

SCOBAR, Renan Luna. **Concreto leve estrutural: substituição do agregado graúdo convencional por argila expandida.** 2016. 46 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

SERNA, Humberto Almeida de La. **Agregados para a Construção Civil.** Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/8-1-2013-agregados-minerais>>. Acesso em: abr. 2018.

SILVA, F. P. C.; PASSARINI, V.C. Bioconcreto: a tecnologia para construção sustentável. **INOVAE**, São Paulo, v. 5, p. 41 ~ 52, dez. 2017. Disponível em <<http://www.revistaseletronicas.fmu.br/index.php/inovae/article/view/1678/1264>> Acesso em: mai. 2018.

SILVÉRIO, Telma. Segundo material mais usado no mundo está cada vez mais versátil. **Jornal Cruzeiro do Sul**, Sorocaba, 11 ago. 2012. Disponível em <<http://www2.jornalcruzeiro.com.br/materia/410254/segundo-material-mais-utilizado-no-mundo-esta-cada-vez-mais-versatil>> Acesso em: 19 mai. 2018.

SOUZA, Natália Cerqueira de. **Análise de desempenho do contrapiso autonivelante em relação ao sistema tradicional.** 2013. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

VENDRAMI, Júlia May. **O uso da impressora 3D na construção civil.** Disponível em: <<http://pet.ecv.ufsc.br/2016/09/o-uso-de-impressora-3d-na-construcao-civil/>>. Acesso em: mai. 2018.

7. APÊNDICE

Corpos de provas rompidos



Fonte: Elaborado pelos autores

Corpos de provas rompidos



Fonte: Elaborado pelos autores

Distribuição da argila expandida no concreto leve



Fonte: Elaborado pelos autores.