



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

LAURY ARAUJO ALMEIDA

**ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DA RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO E DO USO DE
ADITIVO PLASTIFICANTE NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO PRODUZIDO
COM BRITA CALCÁRIA**

MOSSORÓ
2018

LAURY ARAUJO ALMEIDA

**ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DA RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO E DO USO DE
ADITIVO PLASTIFICANTE NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO PRODUZIDO
COM BRITA CALCÁRIA**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Alves da Silva Júnior

MOSSORÓ
2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei n° 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei n° 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

A447e Almeida, Laury Araujo.
ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DA RELAÇÃO
ÁGUA/CIMENTO E DO USO DE ADITIVO PLASTIFICANTE
NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO PRODUZIDO COM BRITA
CALCÁRIA / Laury Araujo Almeida. - 2018.
67 f. : il.

Orientador: Francisco Alves da Silva Júnior.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2018.

1. Brita calcária. 2. Resistência. 3.
Concreto. I. Silva Júnior, Francisco Alves da,
orient. II. Título.

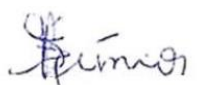
LAURY ARAUJO ALMEIDA

**ESTUDO SPBRE A INFLUÊNCIA DA RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO E DO USO DE
ADITIVO PLASTIFICANTE NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO PRODUZIDO
COM BRITA CALCÁRIA**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

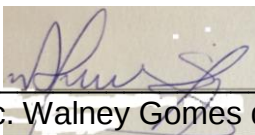
Defendida em: 11/ 04 /2018.

BANCA EXAMINADORA



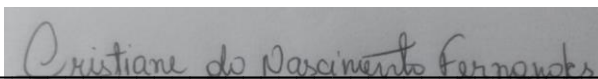
Prof. DSc. Francisco Alves da Silva Júnior

Presidente



Prof. DSc. Walney Gomes da Silva (IFRN)

Membro



MaSc. Cristiane do Nascimento Fernandes

Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus pais, pois sem eles não seria possível realizar esse sonho. Obrigada pela paciência e pelo apoio nos momentos em que eu desanimei. Sempre acreditaram mais em mim, do que eu mesma.

Agradeço a todos os que direta ou indiretamente colaboraram com a realização desse trabalho, principalmente meu amigo Júlio César, por toda a ajuda na fabricação dos traços, não teria conseguido sem você.

Agradeço a meu Orientador, Francisco Alves, por todo empenho em me orientar nesse trabalho.

Agradeço a Banca Examinadora por toda a colaboração e o enriquecimento desse trabalho.

Eu nunca perco. Ou eu ganho, ou eu aprendo.

Nelson Mandela

RESUMO

No Estado do Rio Grande do Norte, está localizada a maior reserva de calcário do país, trazendo a instalação de indústrias cimentícias. Parte das rochas calcárias utilizadas para a produção de cimento e cal são rejeitadas por não atenderem às especificações requeridas. Esta oferta pode ser beneficiada e empregada no mercado de agregado graúdo, pois esta brita possui densidades semelhantes à granítica, com desvantagem de se desgastar por abrasão e possuir muito material pulverulento. Trabalhos desenvolvidos por Silva Júnior (2014), visam o aperfeiçoamento de um concreto fabricado com brita calcária. Desta forma, o presente estudo tem como objetivo entender a influência que a variação do fator água/cimento e da proporção de aditivo plastificante resulta em concretos fabricados com brita calcária beneficiada que possam ser usados para fins estruturais, como estabelecido pela NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014). Para isto, partindo de um traço referência encontrado por Paiva Filho (2017), com melhor resistência mecânica aos 28 dias, variou-se a relação água/cimento e a concentração de plastificante para entender suas respostas a consistência e resistência mecânicas aos 28, 90 e 180 dias. Com o estudo observou-se que é possível se obter um concreto para uso estrutural com resistências a compressão superiores a 20 MPa, utilizando brita calcária, no entanto, altas quantias de aditivo plastificante podem retardar o ganho de resistência à compressão do concreto, podendo prolongar o tempo para o ganho da resistência em até 180 dias.

Palavras-chave: Brita calcária, Resistência, Concreto.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Procedimentos experimentais.....	27
Figura 2	–	Brita calcária após peneiramento, material descartado no centro.....	29
Figura 3	–	Betoneira estacionária de pequeno volume.....	30
Figura 4	–	Fluxograma de Preparo do concreto.....	31
Figura 5	–	Ensaio de tronco de cone	32
Figura 6	–	Corpos de prova após moldagem.....	33
Figura 7	–	Prensa utilizada para ensaio de compressão axial.....	35
Figura 8		Resultado dos ensaios do troco de cone.....	38
Figura 9	–	Corpos de prova após ensaio de compressão axial	41
Figura 10	–	Resistência à compressão axial média.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Requisitos para aditivo redutor de água/plastificante, para NBR 11768	20
Tabela 2	– Classificação das consistências do concreto.....	22
Tabela 3	– Recomendações das consistências do concreto.....	22
Tabela 4	– Tipos de poros no concreto.....	24
Tabela 5	– Classificação dos concretos quanto à compressão segundo Prinski.....	24
Tabela 6	– Classificação dos concretos para fins estruturais por classe de resistência	25
Tabela 7	– Nomenclatura e dosagem dos traços de concreto	28
Tabela 8	– Número de camadas para moldagem dos corpos de prova, segundo NBR 5738	32
Tabela 9	– Resultado do Abatimento do tronco de cone, <i>Slump Test</i>	36
Tabela 10	– Comparativo dos resultados de abatimento com relação ao traço TR.....	36
Tabela 11	– Classificação da consistência do concreto de acordo com Andolfato, 2002.....	38
Tabela 12	– Resultados do ensaio de compressão axial aos 28 dias	40
Tabela 13	– Resultados do ensaio de compressão axial aos 90 dias	41
Tabela 14	– Resultado do ensaio de compressão axial aos 180 dias	42
Tabela 15	– Resistências à compressão axial médias	43
Tabela 16	– Crescimento percentual da resistência à compressão	44
Tabela 17	– Comparativo dos resultados de resistência final com relação ao traço TR.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
ASTM	American Society for Testing and Materials
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	OBJETIVO	16
1.1.1	Objetivo geral	16
1.1.2	Objetivos específicos.....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	CONCRETO.....	17
2.1.1	Componentes do concreto.....	17
2.1.1.1	Cimento Portland	17
2.1.1.2	Agregados	18
2.1.1.3	Água de amassamento.....	19
2.1.1.4	Aditivo.....	19
2.2	PROPRIEDADES DO CONCRETO	21
2.2.1	Concreto no estado fresco.....	21
2.2.1.1	Consistência	21
2.2.1.2	Trabalhabilidade	22
2.2.2	Concreto no estado endurecido.....	23
2.2.2.1	Resistência à compressão.....	23
2.3	CONCRETO COM BRITA CALCÁRIA.....	25
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
3.1	AQUISIÇÃO DOS MATERIAIS	28
3.2	MÉTODOS	29
3.2.1	Beneficiamento dos agregados	29
3.2.2	Preparo do concreto	30
3.2.3	Determinação da consistência.....	31
3.2.4	Moldagem dos corpos de prova	32
3.2.5	Cura dos corpos de prova	33
3.2.6	Retificação dos corpos de prova	34
3.2.7	Ensaio de compressão axial.....	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
4.1	PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO	36
4.2	PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO	39
4.2.1	Ensaio de compressão axial aos 28 dias.....	39
4.2.2	Ensaio de compressão axial aos 90 dias.....	41
4.2.3	Ensaio de compressão axial aos 180 dias.....	42

4.2.4	Comparando resultados obtidos com o Traço Referência.....	43
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	48
	REFERÊNCIAS.....	49
	APÊNDICE.....	53

1 INTRODUÇÃO

Ao se levar em consideração o volume de cada componente utilizado na mistura do concreto, o agregado graúdo é o que possui maior representatividade em relação ao peso, podendo chegar a compor 80% do peso final do concreto (BAUER,1994).

Segundo Silva Júnior (2014a), pedra britada é um agregado de origem artificial, de tamanho graúdo. Parte das rochas calcárias utilizadas para a produção de cimento e cal, que foram rejeitadas por não atenderem às especificações requeridas, podem ser beneficiadas e empregadas no mercado de agregado graúdo.

A brita, atualmente, é o composto mais utilizado com a finalidade de utilização na fabricação de concreto. Comercialmente, a brita de origem granítica é mais procurada que a de origem calcária, para este fim, devido ao pouco conhecimento desta e à características pouco favoráveis da rocha calcária comparada à granítica (HERMETO BUENO, 2000). Segundo Silva Júnior (2014a), o valor de mercado da brita de origem granítica chega a ser o dobro do preço de comercialização da brita calcária.

Para o geólogo Otacílio Carvalho, da Secretaria de Desenvolvimento Econômico, o Estado do Rio Grande do Norte tem a maior reserva de calcário (de boa qualidade) do País. Por isso, nas últimas décadas, grandes grupos que trabalham com extração de calcário e beneficiamento de calcário instalaram unidades industriais no Estado (IBRAM, 2011).

Parte do calcário extraído para a produção de cimento e cal, é rejeitado por não estar de acordo com as especificações requeridas para essas finalidades, sendo possível realizar seu beneficiamento e destiná-lo para o mercado de agregados. O uso de brita calcária na formulação de concretos, agrega valor à esse minério abundante no Estado Potiguar.

Silva Júnior (2014a), conclui que a brita calcária possui grande semelhança à brita granítica no que diz respeito às massas específica e unitária, com distribuição granulométrica dentro dos limites estabelecidos para a brita do tipo 1, porém a brita calcária perde bastante massa com o desgaste superficial com maior facilidade.

Com a caracterização da brita calcária, conforme a norma 7211

(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009), Moraes (2016) determinou que a brita peneirada na peneira de abertura 4,75 mm foi a que melhor se enquadrou nos limites aceitáveis especificados na norma. A brita também apresentou maior módulo de finura. Já o beneficiamento por lavagem em peneiras, não contribuiu significativamente para a diminuição do material de menor granulometria.

Como se sabe, a brita calcária possui um elevado teor de absorção de água e de material pulverulento em comparação a brita granítica, resultando em um maior consumo de água de amassamento, fazendo-se necessário o uso de aditivos plastificantes, visando diminuir o consumo de água no traço e melhorando a trabalhabilidade (FONSECA, 2015).

Segundo Corrêa (2010), o uso de aditivos redutores de água, deve ser estimulado no meio da construção civil, pois estes podem proporcionar aos concretos e argamassas melhores características de resistência mecânica e de trabalhabilidade, tornando-os mais adaptáveis aos processos de aplicação, além do aspecto ambiental. Corrêa ainda cita que Mehta e Monteiro (2008, p.289) recomendam que os engenheiros que atuam na construção civil deveriam ter algum conhecimento das vantagens e limitações dos aditivos e adições comumente usados.

A redução de água utilizada no traço favorece a redução de efeitos de retração, devido a redução da relação água/cimento (CORRÊA, 2010). Porém, existem limitações para a utilização de aditivos plastificantes no traço de concreto. A utilização de plastificante de pega normal em alta quantidade, acima do recomendado pelo fabricante, retarda o tempo de pega do concreto, tornando impossível o desmolde com apenas 24h após a moldagem, sendo necessário no mínimo 48h (PAIVA FILHO, 2017).

A adição de plastificante a base de sulfonatos em altas concentrações, resulta em concretos com resistência abaixo de 20 MPa, devido ao efeito do plastificante que retarda o tempo de pega (PEREIRA, 2016).

Paiva Filho (2017), analisou a consistência e resistência à compressão em diferentes traços com fator água/cimento e porcentagem de aditivo fixos, e obteve o melhor resultado no traço 1:1,5:1,5:0,6:4,5%.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a influência que a variação do fator água/cimento e da proporção de aditivo plastificante resulta em concretos fabricados com brita calcária que possam ser usados para fins estruturais.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar a consistência no estado fresco do concreto fabricado com brita calcária;
- Analisar a resistência no estado endurecido do concreto fabricado com brita calcária;
- Determinar a interferência do aditivo no tempo de ganho de resistência do concreto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCRETO

O concreto é um material que é amplamente utilizado na engenharia civil, por ser resistente à água, facilidade de se obter diferentes elementos estruturais e grande disponibilidade dos elementos que o compõem. A razão para se utilizar a mistura ao invés de apenas cimento, advém do fato que o uso da mistura cimento e água tornaria o custo bastante elevado, além de implicar em uma elevada retração da pasta de cimento, alto consumo de água, maior fissuração e calor de hidratação elevado (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

O concreto de cimento Portland, é um material obtido da mistura de agregados e pasta de cimento, resultando em um material com a estrutura heterogênea com propriedades físicas determinadas pelos materiais utilizados em sua produção (RIBEIRO JÚNIOR, 2015).

Seu uso, proporciona a economia, pois a maior parte da mistura é composta de agregados, apresenta boa resistência às condições químicas do ambiente, também resistência à agressões como choques e vibrações, e ainda tem a capacidade de adaptação a qualquer forma na construção (FUSCO, 2008).

2.1.1 Componentes do concreto

2.1.1.1 Cimento Portland

O cimento Portland comum é classificado pela norma 5732, como aglomerante hidráulico obtido pela moagem do clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1999).

Os principais constituintes do cimento Portland são a cal (CaO), a sílica (SiO_2), o óxido de ferro (Fe_2O_3), a alumina (Al_2O_3), magnésia (MgO) e uma porcentagem de anidrido sulfúrico (SO_3), que é adicionado após a calcinação com a finalidade de retardar o tempo de pega do produto (BAUER, 2015).

Os cimentos que podem ser empregados na fabricação de estruturas de

concreto são de uma grande diversidade. Esses diferentes tipos de cimentos são produzidos para atender as necessidades usuais ou específicas de aplicação. Os componentes básicos dos cimentos são os mesmos, variando apenas a proporção dos componentes para cada tipo (FUSCO, 2008).

Segundo Fusco (2008), as normas brasileiras consideram a aplicação dos seguintes cimentos na construção das estruturas de concreto:

- **Cimento de endurecimento lento:**
 - Cimento de alto-forno AF-25, AF-32 (NBR 5735)
 - Cimento pozolânico POZ-25, POZ-32 (NBR 5736)
 - Cimento de moderada resistência a sulfatos MRS (NBR 5737)
 - Cimento de alta resistência a sulfatos ARS (NBR 5737)
- **Cimentos de endurecimento normal (cimento Portland comum):**
 - Cimento Portland CP-25, CP-32, CP-40 (NBR 5732)
- **Cimento de endurecimento rápido:**
 - Cimento de alta resistência inicial ARI (NBR 5733)

2.1.1.2 Agregados

Agregados são materiais granulares, que em geral não possuem forma nem volume definidos e são classificados quanto a sua origem, suas dimensões e seu peso específico aparente (FONSECA, 2015).

Os agregados utilizados em concreto podem ser divididos em grãos e miúdos, conforme sua composição granulométrica (FUSCO, 2008).

É definido pela norma NBR 7211, como agregado miúdo, aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha 150µm. Os agregados grãos, são aqueles cujos grãos passam pela peneira com abertura de 75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75mm (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009).

De acordo com a Especificação Brasileira EB-4, o agregado miúdo é a areia natural quartzosa ou artificial, que é resultado do britamento das rochas estáveis, com diâmetro máximo igual ou inferior a 4,8mm. Pela mesma especificação, o agregado grão é o pedregulho natural, ou a pedra britada proveniente do

britamento de rochas estáveis e com diâmetro característico superior a 4,8mm (FUSCO, 2008).

2.1.1.3 *Água de amassamento*

É a responsável por ativar as reações químicas do aglomerante, e para isso, não deve conter impurezas e estar dentro dos parâmetros recomendados pelas normas técnicas a fim de se garantir a homogeneidade da mistura (SILVA JÚNIOR, 2014a).

A água destinada ao amassamento do concreto deve ser isenta de teores prejudiciais de substâncias estranhas. No caso de águas não-potáveis é necessário controlar o conteúdo de matéria orgânica, os resíduos sólidos e também os teores de sulfatos e de cloretos (FUSCO, 2008).

2.1.1.4 *Aditivo*

Define-se como aditivo, todo o produto que tem seu uso dispensável à composição e finalidade do concreto, que é colocado imediatamente antes ou durante a mistura do concreto na betoneira, em quantidades que são geralmente pequenas e faz aparecer ou reforçar certas características (BAUER, 1994).

Aditivo para concreto é de acordo com a NBR 11768, o produto adicionado durante o processo de preparação do concreto, em quantidades não maiores que 5% da massa do cimento contido no concreto, com o objetivo de modificar as propriedades do concreto no estado fresco e/ou endurecido (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011).

No Brasil, a maioria dos aditivos em uso são os plastificantes e polifuncionais, que em geral proporcionam, uma redução do consumo de cimento no traço que vai de 6% a 15%. Entretanto, no país, o uso de aditivos em traços de concreto é feito quase que exclusivamente por consumidores de perfil técnico específico, como concreteiras, grandes canteiros de obras, fabricantes de pré-moldados e indústrias química da construção. Esses segmentos consomem cerca de 20% do cimento comercializado no país (CORRÊA, 2010).

O aditivo redutor de água (plastificante), para a norma 11768 é aquele que sem modificar a consistência do concreto no estado fresco, permite reduzir o

consumo de água de um concreto, ou ainda que sem alterar a quantidade de água, modifica a consistência do concreto, aumentando o abatimento e fluidez (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011).

Segundo Corrêa (2010), o uso de aditivos redutores de água, proporcionam ao concreto melhores características de trabalhabilidade. A melhoria da trabalhabilidade promove uma melhoria na qualidade do concreto fabricado no canteiro de obras e sua aplicação. Esta melhoria na trabalhabilidade promove um grande incremento no nível de qualidade do concreto confeccionado em canteiro de obra, devido à melhor homogeneidade das misturas quando processadas com aditivos, o que proporciona também maior regularidade entre os traços do mesmo concreto.

Tabela 1 – Requisitos para aditivo redutor de água/plastificante, para NBR 11768.

Propriedade	Método de ensaio	Requisitos
Redução de água medida pelo abatimento do troco de cone	ABNT NBR NM 67	Concreto em ensaio com redução de água $\geq 5\%$ em relação ao concreto de referência.
Teor de ar no concreto	ABNT NBR NM 47	Concreto em ensaio de teor de ar $\leq 2\%$ em volume em relação ao concreto de referência, salvo indicação contrária do fabricante.
Resistência à compressão	ABNT NBR 5739	Resistência do concreto em ensaio $\geq 110\%$ da resistência do concreto de referência, nas idades de 7 e 28 dias.

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011.

Muitos dos aditivos redutores de água também apresentam um efeito retardador da pega do cimento. Isso possibilita a concretagem de estruturas de grande volume, como por exemplo barragens. O resultado é a melhor condição de trabalho, com poucos inconvenientes em relação ao tempo de pega do cimento e ao calor de hidratação do concreto, e em uso mais comum, permite o transporte em caminhões betoneiras até ao local da obra (CORRÊA, 2010).

Devido à sua capacidade de reduzir o teor de água na mistura do concreto, em uma dada consistência, os aditivos redutores de água, podem elevar a resistência inicial e também a resistência final do concreto. Isso porque, em uma dada relação água/cimento, a presença do aditivo plastificante no concreto,

geralmente tem uma influência positiva nas taxas de hidratação do cimento e desenvolvimento da resistência inicial (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

2.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO

2.2.1 Concreto no estado fresco

O concreto fresco é composto por agregados miúdo e graúdo envolvidos pela pasta de cimento e espaços de ar. Visando a qualidade do concreto endurecido, é fundamental assegurar as propriedades do concreto fresco, que facilitem o transporte, lançamento e adensamento, sem segregação, e que depois do endurecimento, se apresente homogênea, com o mínimo de vazios (SOBRAL, 2013, p. 267).

2.2.1.1 *Consistência*

A consistência é um dos principais fatores que influenciam a trabalhabilidade, pois está em função da quantidade de água. É medida pelo ensaio de abatimento do tronco de cone (SILVA, 2005).

Uma das principais características do concreto que determina a sua aptidão para ser manuseado, é a consistência, que na tecnologia do concreto, pode ser definida como a maior ou menor capacidade do concreto de se deformar sob a ação da sua própria massa (HELENE; ANDRADE, 2010).

A consistência e a trabalhabilidade dependem da composição do concreto e da quantidade de água, da granulometria dos agregados e da presença de aditivos. Deve-se levar em conta, para a dosagem do concreto, a consistência necessária para as condições da obra (ANDOLFATO, 2002).

Tabela 2 – Classificação das consistências do concreto

Abatimento (cm)	Classificação
0 a 2	Seca
2 a 5	Firme
5 a 12	Média
12 a 18	Mole
18 a 25	Fluida

Fonte: ANDOLFATO, 2002

Andolfato (2002) ainda recomenda as seguintes faixas de abatimento apresentadas na Tabela 3, para as obras mais correntes.

Tabela 3 – Recomendações das consistências do concreto

Tipo de Construção	Abatimento (cm)
Fundações, tubulões, paredes grossas	3 a 10
Vigas, lajes, paredes finas	5 a 10
Pavimentos	3 a 5
Obras maciças	2 a 5

Fonte: ANDOLFATO, 2002

2.2.1.2 *Trabalhabilidade*

A trabalhabilidade do concreto é fundamental para se obter a compactação que assegure a densidade máxima, com aplicação de uma quantidade de trabalho compatível com o processo de adensamento a ser empregado (SOBRAL, 2013, p. 270).

Trabalhabilidade do concreto é definida pela ASTM C-125, norma do órgão Norte-americano, como a propriedade que determina o esforço exigido para manipular uma quantidade de concreto fresco, com a mínima perda de homogeneidade (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

2.2.2 Concreto no estado endurecido

No concreto endurecido, as principais características de interesse são as mecânicas, em especial as resistências à compressão e à tração (CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO, 2016, p. 33).

2.2.2.1 Resistência à compressão

A resistência de um material é definida como a sua capacidade de resistir à tensão sem se romper. O surgimento de fissuras, podem identificar a ocorrência da ruptura. Porém, muitos materiais estruturais contém fissuras finas, antes mesmos de serem submetidos a tensões externas. No concreto a resistência está relacionada à tensão máxima que a amostra de concreto pode suportar (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

A resistência mecânica é considerada como o principal parâmetro para se avaliar a qualidade do concreto na estrutura. A resistência à compressão simples, em particular, que é avaliada pela ruptura de corpos de prova moldados do concreto ao sair da betoneira, que representam a resistência potencial a qual o concreto pode atingir na estrutura (VIEIRA FILHO, 2007).

Em materiais como o concreto, a porosidade de cada componente da microestrutura pode se tornar um fator limitante para a resistência. Embora a relação água/cimento seja importante para se determinar a porosidade, e portanto a resistência do concreto, fatores como o adensamento e as condições de cura, mineralogia e dimensões do agregado, tipos de aditivos, condições de umidade e geometria do corpo de prova, podem ter efeito importante na resistência (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

O eventual uso de estruturas de concreto aparente deve levar em consideração a intrínseca porosidade do concreto, que pode permitir o ataque do meio ambiente, principalmente o CO₂, que produz o efeito da carbonatação, com risco de corrosão das armaduras (FUSCO, 2008).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), a relação Resistência-Porosidade pode ser expressa pela equação:

$$S = S_0 e^{-kp}$$

Onde: S é a resistência do material que tem uma dada porosidade p

S_0 é a resistência intrínseca sob porosidade zero

K é constante

Tabela 4 – Tipos de poros no concreto

Tipos de poros	Dimensões (mm)
Poros de compactação	0,5 a 5
Poros devido à incorporação de ar	0,05 a 0,5
Poros capilares	$0,5 \times 10^{-4}$ a 0,05
Poros do gel do cimento	$0,5 \times 10^{-6}$ a $0,5 \times 10^{-4}$

Fonte: FUSCO, 2008.

Os poros devido à compactação do concreto são decorrentes do atrito existente entre os grãos dos agregados e entre estes e as fôrmas de concretagem. Esse atrito pode provocar falhas na compactação (FUSCO, 2008).

Segundo Vieira Filho (2007), os concretos podem ser classificados de acordo com sua classe de resistência, evidenciando a simplicidade com que se adota esse parâmetro como representativo da qualidade do concreto.

Tabela 5 – Classificação dos concretos quanto à compressão segundo Prinski

Classificação	Resistência à compressão aos 28 dias (f_{ck28}) MPa
Concreto Comum	20 - 50
Concreto de Alto Desempenho	50 - 100
Concreto de Ultra Alto Desempenho	100 a 150
Concretos Especiais	> 150

Fonte: VIEIRA FILHO, 2007.

Tabela 6 – Classificação dos concretos para fins estruturais por classe de resistência

Categoria	Classe de resistência
Grupo I	C10; C15; C20; C25; C30; C35; C40; C45; C50
Grupo II	C55; C60; C70; C80

Fonte: VIEIRA FILHO, 2007.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 5738 (2003), rege as diretrizes e procedimentos para a realização do ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, tolerâncias, equação para o cálculo de resistência e informações contidas na apresentação dos resultados, que são:

- a) Número de identificação do corpo-de-prova;
- b) Data de moldagem;
- c) Idade do corpo-de-prova;
- d) Data do ensaio;
- e) Dimensões dos corpos-de-prova;
- f) Tipo de capeamento empregado;
- g) Classe de máquina de ensaio;
- h) Resultado de resistência à compressão individual dos corpos-de-prova e do exemplar;
- i) Tipo de ruptura do corpo-de-prova.

2.3 CONCRETO COM BRITA CALCÁRIA

Calcários são rochas carbonáticas que variam desde o calcário puro, composto do mineral calcita, até o dolomito puro, que consiste do mineral dolomita. Essas rochas, normalmente, contêm tanto minerais carbonatos de cálcio quanto carbonato de magnésio em várias proporções, além de impurezas como a argila e a areia (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Classifica-se o calcário como uma rocha sedimentar originada de material precipitado por agentes químicos e orgânicos. A calcita (CaCO_3) é o principal constituinte mineralógico dos calcários e mármore. O calcário encontrado no mundo é extraído de pedreiras ou depósitos que têm idades que variam desde o Pré-

Cambriano até o Holoceno, em reservas grandes e intermináveis (SAMPAIO E ALMEIDA, 2008).

As impurezas do calcário, acompanham o processo de deposição do CaCO_3 , ou ainda podem ter ocorrido em estágios posteriores à deposição. Essas impurezas podem ser fatores limitantes para o aproveitamento econômico dos calcários (SAMPAIO E ALMEIDA, 2008).

Nem todo o calcário disponível é adequado para a fabricação de cimentos, sendo classificado como material de segundo plano. Esse material não possui uma destinação conhecida (SILVA JÚNIOR, 2014a).

Silva Júnior (2014a) diz que apesar da semelhança entre brita calcária e granítica com relação às suas massas específicas e unitárias, a utilização da brita calcária na produção de concreto, devido a sua alta capacidade de absorção de água, torna necessário o uso de plastificantes no traço, para se obter a trabalhabilidade adequada do concreto.

A alta absorção de água por parte da brita calcária também está relacionada ao seu grande teor de finos. Essa característica faz com que a brita necessite passar por um processo de beneficiamento antes do seu uso na fabricação de concreto. O processo de beneficiamento por peneiramento se mostra mais eficiente na remoção de grãos com dimensões inferiores a 4,75mm se comparado ao beneficiamento por lavagem (MORAIS, 2016).

Devido ao desgaste superficial, a brita calcária perde bastante massa, somando ainda sua grande capacidade de absorção comparada à brita granítica. O que leva a inferir que concretos fabricados com brita calcária devem possuir relação água/cimento e/ou concentração de plastificantes superiores ao mesmo traço confeccionado com brita granítica, para se corrigir a trabalhabilidade (SILVA JÚNIOR, 2014b).

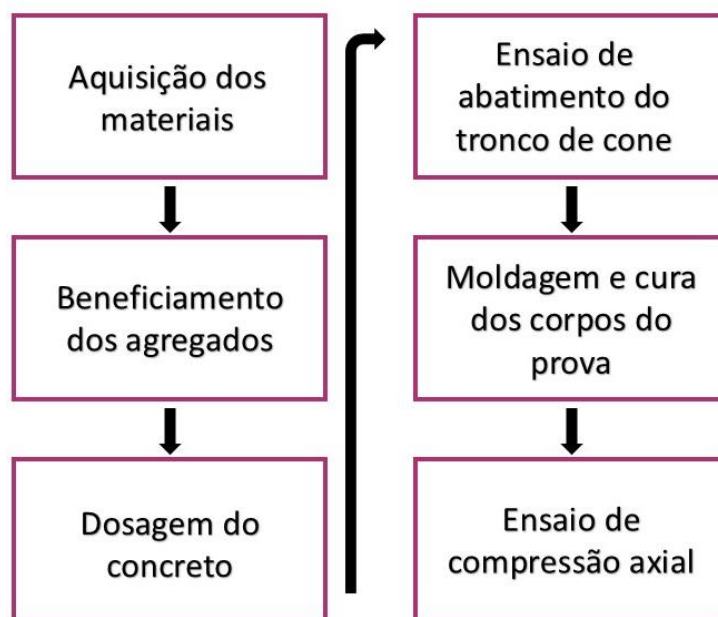
O uso de concentrações de plastificante acima do recomendado pelo fabricante, resultam em retardamento da pega de horas para dias, tornando o concreto inviável para obras devido ao grande tempo para a desforma e cura para adquirir resistência, além de baixa durabilidade e resistências abaixo de 20MPa (PEREIRA, 2016).

Segundo De Paiva Filho (2017), o uso de plastificante em altas quantidades, acima do recomendado pelo fabricante, retarda o tempo de pega do concreto, fazendo com que não seja possível desmoldá-los com apenas 24h após a

moldagem, sendo necessário no mínimo 48h, o que torna o concreto inadequado para a utilização em obras.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Figura 1 – Procedimentos experimentais.



Fonte: Autoria própria, 2018.

O estudo mostrará a influência da variação de plastificante e relação água/cimento em um traço de concreto referência 1,0: 1,5 : 1,5: 0,60 ; 4,5%, feito com brita de origem calcária estudado por Paiva Filho (2017), com a finalidade de obter traços que possam ser utilizados como concreto estrutural. Para isso, foi avaliado o seu estado fluido, assim como a resistência a compressão aos 28, 90 e 180 dias.

A partir do traço referência (TR), os demais traços foram nomeados como Traço 1 (T1), Traço 2 (T2), Traço 3 (T3), Traço 4 (T4) e Traço 5 (T5), conforme Tabela 7. Para estes inicialmente, após a aquisição e beneficiamento de materiais, confeccionou-se o concreto, em proporções do traço referência e variações de plastificante e relação água/cimento conforme Tabela 7; realizou-se a análise de consistência; Moldagem dos corpos de prova com 20 cm de altura e 10 cm de diâmetro, para após sua desmolda, serem colocados em cura e rompidos posterior a esta, conforme ilustra a figura 1.

Tabela 7 – Nomenclatura e dosagem dos traços de concreto.

Traço	Fator a/c	% Aditivo
TR	0,60	4,50%
T1	0,55	2,00%
T2	0,55	2,50%
T3	0,60	2,00%
T4	0,60	1,50%
T5	0,60	1,00%

Fonte: Autoria própria, 2018.

3.1 AQUISIÇÃO DOS MATERIAIS

A brita usada como agregado graúdo na confecção dos corpos de prova, foi a brita calcária tipo 1, de dimensões máximas de 19,00mm, que foi beneficiada por secagem natural ao ar e peneiramento na peneira de abertura 4,75 mm, eliminando o material pulverulento solto.

O agregado miúdo usado no estudo foi areia natural seca ao ar da região, beneficiada por peneiramento na peneira 4,75 mm, eliminando materiais indesejados e também possíveis torrões.

Para o trabalho foi utilizado o cimento Portland tipo CP IV – 32 RS. De acordo com a NBR 7215, o cimento possui resistência à compressão de 32 MPa aos 28 dias de cura e resistência a sulfatos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996).

A água usada na fabricação dos corpos de prova foi fornecida pelo abastecimento público de água pela Companhia de águas e esgoto do Estado do Rio Grande do Norte (CAERN), e que de acordo com a NBR 15900-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009) é considerada adequada para uso em concreto e não necessita ser ensaiada.

Na confecção dos corpos de prova moldados para o estudo, foi utilizado um aditivo plastificante a base de sais sulfanatados de pega normal.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Beneficiamento dos agregados

A brita calcária e a areia adquiridas, foram depositadas em local aberto, com incidência de sol e chuva. Em virtude disso, foi necessário separar os agregados utilizados no estudo para secar a uma temperatura ambiente, durante alguns dias, até ser atingido a umidade higroscópica.

Após a secagem da brita calcária, passou-se a mesma em peneira de abertura 4,75 mm com a finalidade de diminuir materiais de dimensões menores, assim como o teor de material pulverulento. O material de dimensões menores que 4,75 mm foram separados e posteriormente descartados, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Brita calcária após peneiramento, material descartado no centro.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Já a areia, também foi submetida à peneiramento na peneira de malha 4,75 mm, porém foi descartado o material retido nesta malha.

3.2.2 Preparo do concreto

Para cada traço estudado, foram produzidos 12 corpos de prova, sendo destes, 4 para ensaio da compressão axial aos 28 dias, 4 para ensaio da compressão axial aos 90 dias e 4 para o ensaio da compressão axial aos 180 dias de cura após a moldagem. Para o preparo do concreto foi utilizada uma betoneira estacionária, conforme a Figura 3, obedecendo a norma NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006), que dispõe os requisitos de preparo e controle da produção de concretos de cimento Portland, onde determina que os componentes do concreto devem ser misturados até formar uma massa homogênea. O tempo de mistura do concreto produzido nesse estudo foi de 5 minutos, baseando-se no trabalho realizado por Paiva Filho (2017), obtendo uma massa homogênea ao final da mistura.

Figura 3 – Betoneira estacionária de pequeno volume

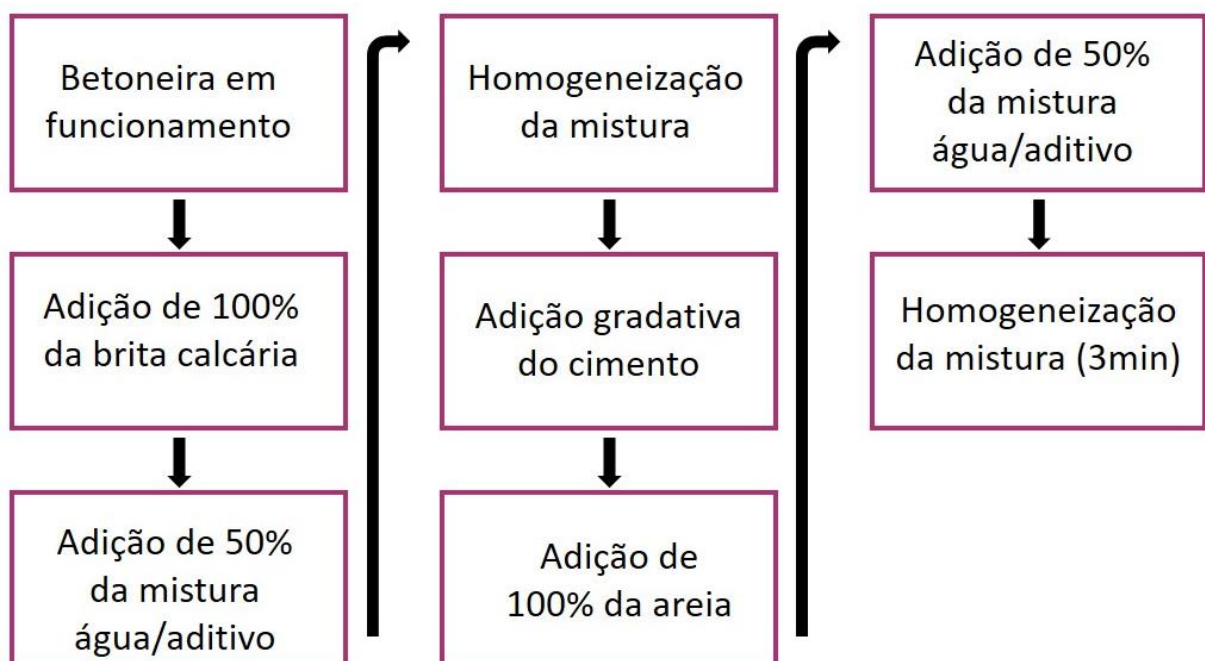


Fonte: Autoria própria, 2018.

O aditivo foi misturado à água de amassamento previamente antes de ser adicionado à mistura, não sendo colocado diretamente nos agregados secos, como recomendado pelo fabricante.

A Figura 4 ilustra o procedimento realizado para o preparo dos traços de concreto estudados nesse trabalho.

Figura 04 - Fluxograma de Preparo do concreto.



Fonte: Autoria própria, 2018.

3.2.3 Determinação da consistência

O ensaio de abatimento do tronco de cone foi realizado para determinar a consistência de todos os traços desse trabalho, de acordo com a NBR 67 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998). Utilizando para a realização dos ensaios o molde, a haste de compactação, a placa de base, colher de pedreiro, o bocal auxiliar e régua graduada, como especifica a norma e como mostra a Figura 5.

Figura 5 – Ensaio de tronco de cone.



Fonte: Autoria própria, 2018.

3.2.4 Moldagem dos corpos de prova

Para a moldagem dos corpos de prova foram utilizados molde de formato cilíndrico, com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, obedecendo o estabelecido pela NBR 5738.

Para a realização dos adensamentos, foi seguido o estabelecido na norma NBR NM 67, e feito o adensamento manual. Para o número de camadas e golpes, foi seguido o estabelecido pela NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

Tabela 8 –Número de camadas para moldagem dos corpos de prova, segundo NBR 5738.

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (mm)	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	9	225

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003.

3.2.5 Cura dos corpos de prova

Após a moldagem dos corpos de prova, estes foram colocados sobre uma superfície horizontal rígida, livre de vibrações e de qualquer outra causa que possa perturbar o concreto, como mostra a Figura 6, conforme o especificado na NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

Figura 6 – Corpos de prova após moldagem.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Os moldes foram agrupados por traço e identificados. Após o período de 24h, foi realizado o desmolde dos corpos de prova, e a cura por imersão em água durante 28 dias. Após os 28 dias de imersão os corpos de prova foram retirados da imersão e colocados em ambiente natural. Os corpos de prova destinados a ruptura aos 90 e 180 dias permaneceram abrigados a luz direta do sol em ambiente fechado até a ruptura.

3.2.6 Retificação dos corpos de prova

Para o ensaio de compressão axial é necessário o perfeito contato entre as faces do corpo de prova e da prensa, para isso os corpos de prova passaram pelo processo de retificação ou capeamento da base.

A retificação consiste na remoção, por meios mecânicos, de uma camada de material na parte superior do corpo de prova. De acordo com a NBR 5738, esse procedimento garante a integridade estrutural das camadas adjacentes à camada removida e proporciona uma superfície lisa e livre de ondulações e abaulamentos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

Os corpos de prova foram submetidos a retificação em máquina hidráulica pertencente ao Laboratório de edificações do IFRN/Mossoró.

3.2.7 Ensaio de compressão axial

Para o ensaio de compressão axial dos corpos de prova, foi utilizada uma prensa do modelo PC 200 CS da marca EMIC, mostrada na Figura 7, do Laboratório de edificações IFRN/Mossoró. A resistência à compressão, obtida nesse ensaio, é uma das principais características do concreto. Para o estudo, foi realizado o ensaio de compressão dos corpos de prova aos 28, 90 e 180 dias, de acordo com a norma NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007).

O ensaio consiste em colocar o corpo de prova entre duas placas lisas da prensa e aplicar uma carga de compressão axial, construindo um diagrama de tensão-deformação. A carga é aplicada até o momento que ocorra o rompimento do corpo de prova. Sendo esta carga, a tensão resistente do concreto.

Figura 7 – Prensa utilizada para ensaio de compressão axial.



Fonte: Autoria própria, 2018.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

A Tabela 9 mostra o resultado obtido pelo ensaio de abatimento do tronco de cone, *Slump Test*, para cada traço do estudo.

Tabela 9 – Resultado do Abatimento do tronco de cone, *Slump Test*

Traço	Fator a/c	% Aditivo	Abatimento (cm)
TR	0,60	4,50%	24,00
T1	0,55	2,00%	7,50
T2	0,55	2,50%	13,00
T3	0,60	2,00%	20,00
T4	0,60	1,50%	14,00
T5	0,60	1,00%	12,00

Fonte: Autoria própria, 2018.

Com os resultados, observa-se nitidamente um aumento de consistência, menor abatimento, quando se diminui a relação água/cimento e o teor de plastificante dos traços.

Através da Tabela 10 é possível verificar a variação do fator água/cimento, percentual de aditivo e abatimento com relação ao traço TR.

Tabela 10 – Comparativo dos resultados de abatimento com relação ao traço TR.

Traço	Fator a/c	% Aditivo	Abatimento (cm)
TR	0,60	4,50%	24,00
T1	-8,33%	-55,56%	-68,75%
T2	-8,33%	-44,44%	-45,83%
T3	0,00%	-55,56%	-16,67%
T4	0,00%	-66,67%	-41,67%
T5	0,00%	-77,78%	-50,00%

Fonte: Autoria própria, 2018.

O traço TR é produzido com um percentual de aditivo acima do recomendado pelo fabricante e tem um abatimento acima dos demais traços. Já para o traço T3,

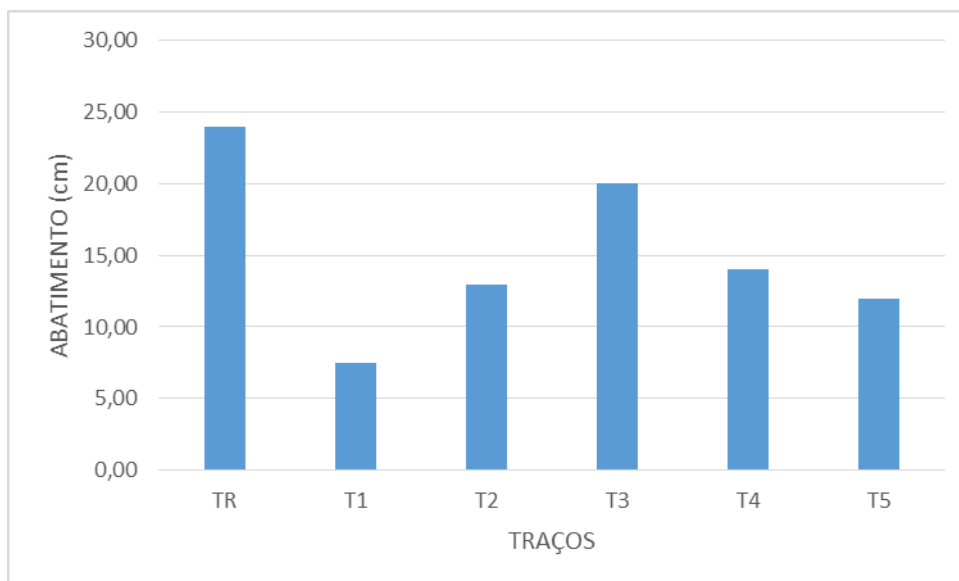
em que se manteve o mesmo fator água/cimento que o traço TR, reduziu a proporção de aditivo de 4,50% para 2,00%, obtendo assim, um concreto com consistência fluida, com abatimento de 20,00 cm. Mesmo reduzindo-se em 55,56% o percentual de aditivo no traço, houve uma redução muito pequena no abatimento de apenas 16,67% em relação ao traço de referência.

Nos traços T4 e T5, foi reduzida a proporção de aditivo para 1,50% e 1,00% respectivamente, e adotado o mesmo fator água/cimento de TR, 0,60, para esses traços os resultados do ensaio do abatimento do tronco de cone, indicaram uma redução de abatimento, obtendo-se 14,00 cm e 12,00 cm respectivamente para os traços, o que representou uma redução de 41,67% e 50,00% nessa ordem, se comparados aos resultados de TR, sendo assim classificados como de consistência mole. Com isso tem-se que, para se reduzir o abatimento pela metade sem alterar a relação água/cimento de 0,60, teve-se que diminuir o percentual de aditivo utilizado em 77,78% comparando-se ao traço referência.

Nos traços T1 e T2, tiveram-se o fator água/cimento reduzido, além da proporção de aditivo. Nesses concretos foi-se observado uma redução maior no resultado do abatimento, visto que se comparado T1 ao T3, onde ambos tiveram proporção de aditivo de 2,00%, variando-se apenas o fator água/cimento, obteve-se para T3, um abatimento de 20,00 cm e para T1 obteve-se um abatimento de 7,50cm, que foi o menor entre os traços ensaiados. Com isso, verificou-se que uma redução de aproximadamente 8% no fator água/cimento é mais eficiente na redução do abatimento que diminuir o percentual de aditivo empregado no traço.

A Figura 8, ilustra a variação dos resultados obtidos no ensaio de abatimento do tronco de cone.

Figura 8 – Resultado dos ensaios do troco de cone.



Fonte: Autoria própria, 2018.

De acordo com a classificação da consistência de Andolfato (2002), pode-se classificar os traços ensaiados conforme com a Tabela 11.

Tabela 11 – Classificação da consistência do concreto segundo Andolfato, 2002.

Traço	Abatimento (cm)	Classificação
TR	24,00	Fluida
T1	7,50	Média
T2	13,00	Mole
T3	20,00	Fluida
T4	14,00	Mole
T5	12,00	Média/Mole

Fonte: Autoria própria, 2018.

Afim de se evitar o retardamento da pega, o fabricante do aditivo plastificante, recomenda seu uso em quantidades inferiores a 1% de massa aglomerante, mas como o estudo procurou avaliar o comportamento do concreto com a variação da proporção de aditivo plastificante e do fator água/cimento, foram utilizados, em alguns dos traços, uma quantidade de aditivo maior que o recomendado pelo fabricante.

Os traços T1 e T5 apresentaram consistência média. Porém, o fator água/cimento se mostrou mais significativo na variação do abatimento do concreto que a proporção de aditivo utilizada no traço. O aumento de 0,05 no fator água/cimento e a redução de 2,00% para 1,00% no uso de aditivo, fez com que o abatimento do traço aumentasse 4,50 cm. O traços T2 e T4, apresentaram consistência mole, e a variação entre proporção de aditivo e fator água/cimento foram de 2,50% para 1,50% e 0,55 para 0,60 respectivamente. O traço T3 foi o único que apresentou consistência fluida, isso possivelmente por ter sido utilizados em sua fabricação tanto o limite máximo de fator água/cimento recomendado na norma, visto que a Associação Brasileira de Normas Técnicas com a NBR 6118 (2014), que orienta para concretos de agressividade II o uso de uma relação água/cimento menor ou igual a 0,60, e também por se utilizar adição de aditivo plastificante maior que o recomendado pelo fabricante.

Segundo Andolfato (2002), para se evitar misturas com consistência seca ou muito fluida, é recomendado para utilização em vigas, lajes e paredes finas, concretos com abatimento entre 5 a 10 cm. Dessa forma, o traço mais apropriado para uso na construção seria o T1, com abatimento de 7,50 cm.

4.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

4.2.1 Ensaio de compressão axial aos 28 dias

Após o desmolde, todos os corpos de prova foram submetidos a cura por imersão por 28 dias, em recipientes contendo água para se manter a umidade elevada e promover a cura do concreto.

A resistência a compressão é uma das principais características do concreto endurecido, e para avaliá-la os corpos de prova de todos os traços do estudo foram submetidos ao ensaio de resistência mecânica por compressão axial.

Para diminuir as possíveis interferências causadas por imperfeições nas faces superiores dos corpos de prova, estes foram submetidos a retificação das faces e em seguida submetidos ao ensaio de compressão axial.

Os resultados do ensaio de compressão axial dos traços estão na Tabela 12. Para cada traço foram utilizados 4 corpos de prova no ensaio e obtida a média das resistências, também foi calculado o desvio padrão (DP) para cada traço.

Tabela 12 – Resultados do ensaio de compressão axial aos 28 dias.

CP	T1	T2	T3	T4	T5
CP1	21,73	21,22	14,00	16,86	16,95
CP2	21,12	23,48	13,50	17,91	16,83
CP3	19,74	20,88	14,47	17,53	16,3
CP4	20,19	21,66	15,70	18,36	16,84
Média	20,70	21,81	14,42	17,67	16,73
DP	0,90	1,16	0,94	0,63	0,29

Fonte: Autoria própria, 2018.

Os traços T1 e T2 que foram os traços que correspondem aos com menor fator água/cimento, foram os que obtiveram maiores resistências a compressão, assim como maiores médias entre os corpos de prova, 20,70 MPa e 21,81 MPa respectivamente. Segundo a NBR 6118 (2014), a resistência característica do concreto para uso estrutural está compreendida entre 20 a 50 MPa. Dessa forma, os traços T1 e T2 se enquadram para esse tipo de uso, já que atingiram o mínimo exigido de 20 MPa aos 28 dias.

Os traços T3, T4 e T5 não atingiram a resistência mínima exigida pela norma para uso estrutural do concreto. Estes foram os traços que utilizaram fator água/cimento de 0,60 em sua composição, evidenciando a influência que o fator tem sobre a resistência do concreto. Embora não sejam indicados para uso estrutural, os traços T4 e T5, podem ser utilizados para fundações de obras provisórias, pois conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas nas NBR 6118 (2014) e NBR 6122 (2010) concretos com resistência superior a 15 MPa são adequados para esse uso.

A Figura 9 mostra os corpos de prova após o ensaio de compressão axial.

Figura 9 – Corpos de prova após ensaio de compressão axial.



Fonte: Autoria própria, 2018.

4.2.2 Ensaio de compressão axial aos 90 dias

Os resultados do ensaio de compressão axial aos 90 dias de todos os traços estão na Tabela 13. Da mesma forma que o realizado aos 28 dias, o ensaio aos 90 dias foi feito em 4 corpos de prova de cada traço e obteve-se suas médias e os desvios padrão (DP).

Tabela 13 –Resultado do ensaio de compressão axial aos 90 dias.

CP	T1	T2	T3	T4	T5
CP1	20,81	23,77	19,34	21,10	18,2
CP2	25,96	24,68	18,63	22,84	20,87
CP3	23,05	22,47	19,30	20,38	17,62
CP4	21,03	25,45	15,88	22,24	21,15
Média	22,71	24,09	18,29	21,64	19,46
Média 2	21,63	24,09	19,09	21,64	20,07
DP	1,23	1,28	0,40	1,11	1,63

Fonte: Autoria própria, 2018.

Alguns dos corpos de provas para o ensaio de resistência aos 90 dias, obtiveram resultado com variação maior ou igual a 10% da média, então foi eliminado esse corpo de prova e recalculada a média, para evitar que algum

possível problema na moldagem ou cura venha a interferir no resultado médio do traço.

Os traços T1, T2, T4 e T5, assim como no resultado do ensaio de compressão axial aos 28 dias, foram os que obtiveram maior resistência a compressão, atingindo valores acima de 20 MPa. O traço T3 também alcançaram uma maior resistência, comparado com os valores obtidos aos 28 dias. Esse acréscimo de resistência possivelmente ocorreu devido ao retardamento do ganho de resistência que o uso do aditivo plastificante causa no concreto.

4.2.3 Ensaio de compressão axial aos 180 dias.

Os resultados do ensaio de compressão axial aos 180 dias estão na Tabela 14. Da mesma, os resultados que obtiveram variação maior ou igual a 10% da média foram eliminados, recalculada a média da resistência e o desvio padrão (DP).

Tabela 14 – Resultado do ensaio de compressão axial aos 180 dias

CP	T1	T2	T3	T4	T5
CP1	21,53	22,67	18,45	26,22	25,71
CP2	21,82	22,46	22,10	25,90	23,85
CP3	22,20	24,02	21,19	23,48	24,91
CP4	23,78	23,44	22,50	25,57	27,09
Média	22,33	23,15	21,06	25,29	25,39
Média 2	22,33	23,15	21,93	25,29	25,39
DP	1,00	0,72	0,67	1,24	1,37

Fonte: Autoria própria, 2018.

A partir dos resultados obtidos é possível observar que os traços T1 e T2, permaneceram praticamente com a mesma resistência que já havia sido obtida aos 90 dias, enquanto que os traços T3, T4 e T5 tiveram uma maior evolução comparados aos 90 dias.

Fazendo o comparativo entre as resistências obtidas pelos traços estudados, podemos ver que os traços que mais evoluíram ao longo do tempo foram os T3, T4 e T5, isso se deve possivelmente pelo seu fator água/cimento, pois nesses três traços foram utilizados o fator 0,60 enquanto nos outros dois, T1 e T2, que haviam

obtido resistências maiores logo aos 28 dias, porém apresentaram menor crescimento ao longo do tempo, foram utilizado o fator água/cimento de 0,55.

4.2.4 Comparando resultados obtidos com o Traço Referência

Comparando-se os resultados obtidos nos ensaios de compressão axial, como mostra a Tabela 15, observa-se que todos os traços, assim como o Traço Referência (TR), tiveram um aumento significativo de resistência no intervalo de 28 para 90 dias. Porém os traços T1 e T2, foram os únicos que como o TR, não obtiveram aumento de resistência no intervalo de 90 para 180 dias, possivelmente pela maior proporção de aditivo utilizada no traço, visto que os demais traços T3, T4 e T5, nesse mesmo período obtiveram crescimento significativo da resistência à compressão.

Tabela 15 – Resistências à compressão axial médias

Traço	Fator a/c	% Aditivo	Abatimento (cm)	Resistência a compressão (MPa)		
				28 dias	90 dias	180 dias
TR	0,60	4,50%	24,00	19,08	23,49	23,28
T1	0,55	2,00%	7,50	20,69	21,63	22,33
T2	0,55	2,50%	13,00	21,81	24,09	23,15
T3	0,60	2,00%	20,00	14,42	19,09	21,93
T4	0,60	1,50%	14,00	17,67	21,64	25,29
T5	0,60	1,00%	12,00	16,73	20,07	25,39

Fonte: Autoria própria, 2018.

Ao final dos 180 dias, os corpos de prova que alcançaram o maior valor de resistência à compressão média, foram os de traço T4 e T5, os quais em suas composições foi utilizado proporção de aditivo de 1,5% e 1,0% respectivamente. Para Corrêa (2010), a introdução de aditivos no concreto promove efeitos negativos sobre as resistências mecânicas destes. Logo, comparando os resultados obtidos nos ensaios de compressão axial, verifica-se que proporções de aditivo, acima do recomendado pelo fabricante irão afetar a resistência final do concreto.

Avaliando o percentual de crescimento da resistência à compressão média dos traços estudados, como pode-se verificar na Tabela 16, que TR apresentou um crescimento significativo de resistência no intervalo de 28 para 90 dias, porém no período de 90 para 180 dias, o mesmo mostrou uma resistência estável. Já o traço T1, se mostrou com crescimento de resistência quase constante nos dois intervalos avaliados. Porém o traço T2, que no período de 28 para 90 dias havia mostrado um bom aumento de resistência, não apresentou as mesmas condições no espaço de tempo dos 90 para os 180 dias, onde se manteve estável a resistência, que deve-se provavelmente ao percentual de aditivo utilizado acima do recomendado pelo fabricante.

Os traços T3, T4 e T5, que aos 28 dias apresentaram as menores resistências entre os traços estudados, mostraram-se com as melhores taxas de crescimento da resistência à compressão axial, como mostra a Tabela 16, tanto no período de 28 para 90 dias, como no intervalo de 90 para 180 dias. Porém o uso desses traços torna-se inviável, devido ao grande período de tempo que levam para adquirir a resistência adequada para o uso estrutural.

Tabela 16 – Crescimento percentual da resistência à compressão.

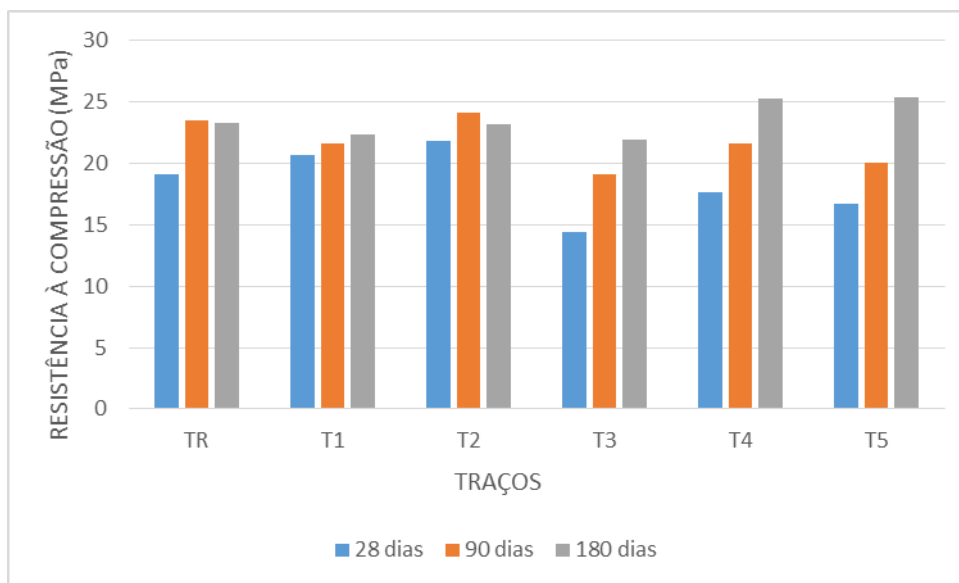
Traço	Aditivo (%)	Crescimento da resistência no período	
		28-90	90-180
TR	4,50%	23,11%	-0,89%
T1	2,00%	4,54%	3,25%
T2	2,50%	10,47%	-3,92%
T3	2,00%	32,39%	14,88%
T4	1,50%	22,47%	16,88%
T5	1,00%	19,98%	26,49%

Fonte: Autoria própria, 2018.

O traço T5 apresentou o melhor desempenho de crescimento no período de 90 a 180 dias, isso deve-se provavelmente ao fato deste traço utilizar em sua composição percentual de aditivo como recomenda o fabricante.

Na Figura 10, pode-se melhor identificar a evolução da resistência à compressão para cada traço estudado.

Figura 10 – Resistência à compressão axial média.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Tabela 17 - Comparativo dos resultados de resistência final com relação ao traço TR

Traço	Fator a/c	% Aditivo	Resistência Final
TR	0,60	4,50%	23,28 MPa
T1	-8,33%	-55,56%	-4,07%
T2	-8,33%	-44,44%	-0,57%
T3	0,00%	-55,56%	-5,80%
T4	0,00%	-66,67%	8,64%
T5	0,00%	-77,78%	9,06%

Fonte: Autoria própria, 2018.

Como pode-se verificar na Tabela 17, para os traços T4 e T5, diminuiu-se o percentual de aditivo empregado em 66,67% e 77,78%, respectivamente, com relação ao traço TR, promovendo-se uma melhora na resistência média final dos traços. No entanto para o traço T3, em que também reduziu-se o percentual de aditivo usado em comparação a TR, mas que por apresentar um ganho de resistência mais lento, como pode-se ver na Figura 10, resultou-se em um decréscimo de resistência no comparativo à resistência final do traço referência TR.

Os traços que obtiveram maior ganho de resistência com o tempo foram T3, T4 e T5, mostrando-se que a relação água/cimento superior a 0,55 somada a porcentagem de plastificante acima do recomendado pelo fabricante, retardam mais

o ganho de resistência que relações água/cimento inferiores. Mesmo os traços T1 e T2 tendo plastificante proporcionais as quantidades dos demais, obtiveram resistências iniciais superiores a estes. Desta forma, observa-se uma potencialização da ação retardadora de pega do plastificante, quando estes traços possuem elevada relação água/cimento, visto que os traços com menor fator água/cimento tenderam a estabilizar a resistência após os 90 dias, o que não ocorreu com os demais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da confecção dos corpos de prova com diferentes traços e dos resultados obtidos nos ensaios realizados nestes, pode-se concluir a partir desse trabalho que:

- O aditivo plastificante melhora a trabalhabilidade do concreto fabricado com brita calcária;
- O uso do aditivo plastificante, em proporções acima do recomendado pelo fabricante afetam na resistência mecânica final do concreto;
- Os traços em que se utilizou menor porcentagem de aditivo plastificante foram os que obtiveram maior resistência à compressão ao final do período do estudo;
- Traços com relação água/cimento de 0,60 demoraram mais para obter sua resistência final;
- O fator água/cimento acima de 0,55 potencializa o poder de retardamento de pega, quando usado com o aditivo plastificante em porcentagens acima do recomendado pelo fabricante;
- O traço que apresentou melhor desempenho foi o T2, mesmo utilizando-se proporção de aditivo plastificante acima do recomendado pelo fabricante, isso pode ter acontecido porque o fabricante testou o produto apenas em concretos fabricados com brita granítica;
- É possível se obter um concreto para uso estrutural conforme a NBR 6118 (2014), fabricado com brita calcária.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os traços de concreto fabricado com brita calcária estudados apresentaram uma boa resistência à compressão ao final dos 180 dias, e mostrou-se possível fabricar um concreto estrutural utilizando uma baixa porcentagem de aditivo plastificante na composição do traço do concreto. Porém, para aprimorar esse estudo é necessário que se obtenham resistências maiores aos 28 dias de cura do concreto. Assim, sugere-se:

- Avaliação dos traços T4 e T5, que se utilizaram menor proporção de aditivo plastificante, empregando-se um cimento com Alta Resistência Inicial, para verificar a resistência dos corpos de prova aos 28 dias;
- Estudar traços que contenham uma menor quantidade de cimento, buscando tornar o traço mais econômico;
- Buscar formas de beneficiamento da brita calcária que permitam reduzir mais o teor de partículas finas, e consequentemente, a absorção de água, diminuindo a relação água/cimento utilizada no traço.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768 – Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2011. 19p.

_____. **NBR 12655 – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2006. 18p.

_____. **NBR 15900-1– Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos.** Rio de Janeiro, 2009. 11p.

_____. **NBR 5732 – Cimento Portland comum.** Rio de Janeiro, 1999. 5p.

_____. **NBR 5738 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.** Rio de Janeiro, 2003. 6p.

_____. **NBR 5739– Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007. 9p.

_____. **NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2014. 238p.

_____. **NBR 6122 – Projeto e execução de fundações.** Rio de Janeiro, 2010. 33p.

_____. **NBR 7211 – Agregados para o concreto – Especificações.** Rio de Janeiro, 2009. 11p.

_____. **NBR NM 67 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998. 8p.

ANDOLFATO, Rodrigo P. **Controle tecnológico básico do concreto.** Universidade Estadual Paulista. Nepae. Ilha Solteira, 2002.

BAUER, Falcão. **Materiais de Construção.** São Paulo: LTC, 1994.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção**. 5ª Ed. São Paulo: LTC, 2015.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014**. 4ª ed. São Carlos, EdUFSCar, 2016. 415p.

CORRÊA, Augusto C. A. **Estudo do desempenho dos aditivos plastificantes e polifuncionais em concretos de cimento Portland tipo CP III-40**. 149p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Fluminense. Niterói. 2010.

PAIVA FILHO, J. C. **Análise da Resistência a Compressão e Consistência de Concreto Produzido com Brita Calcária e Aditivo Plastificante**. 66p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Universidade Federal Rural do Semiárido. Mossoró. 2017.

FONSECA, Josenildo G. da. **Uso de brita calcária em concreto**. 53p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2015.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do concreto estrutural**. 1ª Ed. São Paulo: PINI, 2008.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. **Concreto de Cimento Portland**. Capítulo 29. In: ISAIA, Geraldo (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2 ed. IBRACON, 2010. V.1 & v.2. p. 945-984.

HERMETO BUENO, C. F. **Tecnologia de materiais de construção**. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Viçosa, 2000.

IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **RN tem maior reserva de calcário do Brasil**. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/150/15001002.asp?ttCD_CHAVE=153706>. Acesso em: Outubro de 2017.

LIMA C. I. V. et al. **Concreto e suas inovações**. Cadernos de graduação. Maceió, v.1, n.1, p.31-40, mai. 2014, p. 32. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/index.php/fitsexatas/article/view/1285>>. Acesso em: Outubro de 2017.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutural, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 2008.

MORAIS, Andressa A. C.; SILVA JÚNIOR, F. A.; ALCÂNTRA, C. S. Análise comparativa da brita calcária, beneficiada de diferentes formas, para utilização em concreto como agregado graúdo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 22.. 2016, Natal. **Anais...** Natal: CBECIMAT, 2016. P. 688-699.

PEREIRA, Danielle D.; SILVA JÚNIOR, F. A.; GONZAGA, L. B. T. Avaliação da influência de plastificante a base de sais sulfanatos e carboidratos na trabalhabilidade do concreto contendo brita calcária beneficiada para eliminar o material pulverulento. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 22., 2016, Natal. **Anais...** Natal: CBECIMAT, 2016. p. 1264-1275.

RIBEIRO JÚNIOR, E. Propriedades dos materiais constituintes do concreto. **Especialize**, v.1, n.3, dez. 2015. Disponível em: <<https://www.ipog.edu.br/download-arquivo-site.sp?arquivo=enio-ribeiro-junior-1615287.pdf>>. Acesso em: Novembro de 2017.

SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. **Calcário e dolomito**. Capítulo 16. In: LUZ, A. B. da; LINS, F.F. (Ed.). Rochas e Minerais Industriais - Usos e Especificações. CETEM, 2008. V.1. p. 363-387.

SILVA JÚNIOR, F. A.; MARTINELLI, A. E. Análise das propriedades do agregado graúdo: brita de origem calcária, proveniente do rejeito da fabricação de cimentos, para compósitos cimentícios. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 21., 2014, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá, CBECIMAT, 2014. p. 2516-2523.

SILVA JÚNIOR, Francisco Alves da. **Avaliação do efeito da adição do resíduo de borracha de pneu e brita calcária na formação de compostos cimentícios**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia dos Materiais. Natal, 2014.

SILVA, G. J. B. **Estudo do Comportamento do concreto de cimento Portland produzido com a adição do resíduo de polimento do porcelanato**. 100p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2005.

SOBRAL, E. S. **Propriedades do concreto fresco**. Capítulo 9. In: BAUER, L. A. F. (Ed.). **Materiais de Construção**. 5 ed. LTC, 2013. V.1. p. 267-283.

VIEIRA FILHO, J. O. **Avaliação da resistência à compressão do concreto através de testemunhos extraídos: Contribuição à estimativa do coeficiente de correção devido aos efeitos do broqueamento**. 213p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

