

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
CAMPUS ARACAJU
DIRETORIA DE ENSINO
COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

GABRIEL SANTOS SILVA

**DOSAGEM DE CONCRETOS COVENCIONAIS UTILIZANDO MATERIAIS
COMERCIALIZADOS NO ESTADO DE SERGIPE PELO MÉTODO IPT/EPUSP**

MONOGRAFIA

**ARACAJU
2020**

GABRIEL SANTOS SILVA

**DOSAGEM DE CONCRETOS COVENCIONAIS UTILIZANDO MATERIAIS
COMERCIALIZADOS NO ESTADO DE SERGIPE PELO MÉTODO IPT/EPUSP**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, da Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju.

Orientador: Prof. Dra. Carla Cristina Nascimento Santos Pereira

**ARACAJU
2020**

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Geocelly Oliveira Gambardella / CRB-5 1815,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Silva, Gabriel Santos

S586d Dosagem de concretos convencionais utilizando materiais
comercializados no estado de Sergipe pelo método IPT/EPUSP. / Gabriel
Santos Silva. - Aracaju, 2020.

55f. : il.

Orientadora: Carla Cristina Nascimento Santos Pereira.
Monografia (Graduação - Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto
Federal de Sergipe, 2020.

1. Dosagem. 2. Concreto. 3. Proporção. 4. Método IPT/EPUSP. I.
Pereira, Carla Cristina Nascimento Santos. II. Título.

CDU 691(81)



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA**

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
Av. Jorge Amado, 1551 Loteamento Garcia, Bairro Jardins - CEP 49025-330 Aracaju/SE
Fone: (79) 3711 1400-E-mail: reitoria@ifs.edu.br

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia N° 179

**DOSAGEM DE CONCRETOS COVENCIONAIS UTILIZANDO MATERIAIS
COMERCIALIZADOS NO ESTADO DE SERGIPE PELO MÉTODO IPT/EPUSP**

GABRIEL SANTOS SILVA

Esta monografia foi apresentada às 09h00min do dia 11 de dezembro de 2020 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. M.Sc. Euler Wagner Freitas
Santos

(IFS – Campus Aracaju)

Prof. M.Sc. Marcílio Fabiano Goivinho da
Silva

(IFS – Campus Aracaju)

Prof. Dr^a. Carla Cristina Nascimento
Santos Pereira

(IFS – Campus Aracaju)
Orientador

Prof. Dr. Pablo Gleydson de Sousa

(IFS – Campus Aracaju)
Coordenador da COEC

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus pela dádiva da vida.

Adiante, agradeço aos meus pais, Ednalva e Genival, por todo amor, carinho, cuidado e paciência, eles são o combustível que me faz ir além, amo vocês.

A meus irmãos Filipe e Larissa, por acreditarem em mim, também amo vocês.

A toda minha família pelo suporte, amor e apoio. Aos meus tios e tias: Edilma e Marcos, Edileuza e Dudu, Tia Idinha, Tio Naldinho. Em especial meu avô materno, Hernani, o qual tenho grande admiração. A Tio Júnior, o qual considero um segundo pai e a Tia Maria, Tio Neném e Tia Elisângela os quais me acolheram em Aracaju e deram todo suporte necessário durante essa jornada.

Aos meu primos e primas, em especial Thais, Juliana, Eduardo, Karol, Guilherme os quais deleitei os melhores momentos da minha vida e os considero como irmãos. Aos demais, Mateus, Beatriz, João, Laylla, Júlia e Bianca, assim como todos os primos e primas por parte de pai que se encontram longe, é um carinho indescritível, de cuidado, de companheirismo e irmandade, amo todos vocês.

Aos irmãos que a faculdade me deu: Denisson, Geversson e Lucas. Os quais compartilhamos de diversos momentos, sonhos, perdas e conquistas. Obrigado por tudo.

Aos amigos que de alguma maneira se fizeram presentes e compartilharam dessa caminhada: Aron, Daniele, Gustavo, Gabrielly, Hendryck, Higo, Igor, Isabele, Maria, Nivaldo e demais que fizeram parte do CAEC e Empreeng enquanto estive presente nestes.

Agradeço a minha orientadora Prof. Dr. Carla Cristina, por toda sabedoria compartilhada, pelos conselhos, momentos de descontração e motivação. Não poderia ter escolhido melhor profissional para me orientar nesse trabalho.

Ainda, agradeço aos técnicos Danilo, Rafael e Denisson pelo suporte e por sempre serem solícitos quando necessário

RESUMO

SILVA, Gabriel Santos. **Dosagem de concretos convencionais utilizando materiais comercializados no estado de Sergipe pelo método IPT/EPUSP**. 55 folhas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2020.

Ao se mencionar engenharia civil, construções e estruturas, o primeiro material que nos vem à cabeça é o concreto de cimento Portland, o qual tem como principal característica a resistência à compressão e que dependendo das proporções dos materiais utilizados podem apresentar diferentes trabalhabilidade e resistências. Assim, o objetivo principal deste trabalho foi realizar um estudo de dosagem detalhado, utilizando os materiais comercializados no estado de Sergipe e identificar possíveis discrepâncias no concreto no estado fresco e endurecido. Para isso, definiu-se como variáveis dependentes: Abatimento de tronco de cone, resistência à compressão axial e a tração por compressão diametral. Onde foram fixados os valores dos parâmetros de mistura: teor de argamassa seca ($\alpha\%$), relação água/materiais secos (H%) e proporção de agregados (m), obtendo os valores da relação água/cimento (a/c) e consumo de cimento (C), utilizando como método de dosagem o IPT/EPUSP. Assim, depois de analisar os resultados obtidos notou-se que possivelmente houve variabilidade dos materiais utilizados nesse trabalho, o que ocasionou uma discrepância nos resultados de abatimento e resistências mecânicas, e que, mesmo com os resultados de resistência à compressão distantes da linha média, o ábaco de dosagem apresentou-se de acordo com a bibliografia utilizada. Ainda, apesar da variabilidade dos materiais apresentarem discrepâncias nas consistências, não influenciou tanto nas resistências à compressão e tração, visto que ambas tendiam a aumentar na medida em que os valores da proporção de agregados diminuía.

Palavras-chaves: Dosagem. Concretos. Proporção.

ABSTRACT

SILVA, Gabriel Santos. **Dosage of conventional concrete using materials commercialized in the state of Sergipe by the IPT/EPUSP method.** 55 folhas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2020.

When mentioning civil engineering, constructions and structures, the first material that comes to mind is Portland cement concrete, which has as its main characteristic the resistance to compression and which depending on the proportions of the materials used can present different workability and strengths. Thus, the main objective of this work was to carry out a detailed dosage study, using the materials sold in the state of Sergipe and to identify possible discrepancies in the concrete in the fresh and hardened state. For this, the following variables were defined as: Conical trunk reduction, resistance to axial compression and traction by diametrical compression. Where the values of the mixing parameters were fixed: dry mortar content ($\alpha\%$), water / dry material ratio (H%) and proportion of aggregates (m), obtaining the values of the water / cement ratio (a / c) and cement consumption ($\mathbb{C}$), using IPT / EPUSP as the dosing method. Thus, after analyzing the results obtained, it was noted that there was possibly variability in the materials used in this work, which caused a discrepancy in the results of slump and mechanical strengths, and that, even with the results of compressive strength far from the midline, the dosing abacus was presented according to the bibliography used. Still, despite the variability of the materials showing discrepancies in consistencies, it did not influence the compressive and tensile strengths as much, since both tended to increase as the values of the proportion of aggregates decreased.

Keywords: Dosage. Concrete. Proportion

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma das variáveis estudadas.....	27
Figura 2 - Cimento Portland	28
Figura 3 - Propriedades físicas e químicas do cimento	28
Figura 4 – Agregado miúdo	29
Figura 5 - Determinação da massa específica do agregado miúdo pelo método de Chapman.....	30
Figura 6 – Agregado graúdo.....	32
Figura 7 - Abatimento do tronco de cone	36
Figura 8 - Moldagem dos corpos de prova.....	37
Figura 9 - Cura dos corpos de prova.....	37
Figura 10 - Máquina utilizada nos ensaios de compressão.....	38
Figura 11 - Corpos de prova (3 traços diferentes).....	39
Figura 12 - Rompimento de corpo de prova a compressão	39
Figura 13 - Rupturas tipo F e G.....	42
Figura 14 - Ábaco de dosagem	43

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva granulométrica da areia	31
Gráfico 2 - Curva granulométrica da brita	33
Gráfico 3 - Correlação proporção de agregados (m) versus abatimento.....	44
Gráfico 4 -Correlação proporção de agregados (m) versus consumo de cimento (C)	45
Gráfico 5 - Correlação consumo de cimento (C) versus abatimento	45
Gráfico 6 - Correlação resistência a compressão versus consumo de cimento (C) ..	46
Gráfico 7 - Correlação relação água/cimento versus resistência a compressão	47
Gráfico 8 - Correlação relação água cimento versus resistência a tração	47
Gráfico 9 - Correlação proporção de areia (a) versus abatimento.....	48
Gráfico 10 - Correlação proporção de brita (p) versus abatimento.....	49
Gráfico 11 - Correlação proporção de agregados (m) versus resistência a compressão.....	50
Gráfico 12 - Correlação proporção de agregados (m) versus resistência à tração por compressão diametral	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição granulométrica da areia	31
Tabela 2 - Resultados do ensaio de massa específica do agregado graúdo (g/cm^3)	32
Tabela 3 - Resultados do ensaio de massa unitária do agregado graúdo (Kg/cm^3) ..	33
Tabela 4 - Traços	34
Tabela 5 - Quantidade de materiais	35
Tabela 6 - Resultados do ensaio de resistência a compressão axial	41
Tabela 7 - Resultados do ensaio de resistência a tração por compressão diametral	42
Tabela 8 – Resultados das variáveis independentes e dependentes.....	43

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	12
2.1. OBJETIVO GERAL	12
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1. EVOLUÇÃO DO CONCRETO CONVENCIONAL	12
3.2. MÉTODO DE DOSAGEM DE CONCRETO IPT/EPUSP	16
3.3. PARÂMETROS DE MISTURA	19
3.3.1. Resistência de dosagem (f_{cj})	19
3.3.2. Teor de Argamassa Seca ($\alpha\%$)	21
3.3.3. Relação água/materiais secos ($H\%$).....	22
3.3.4. Proporção de agregados totais (m)	22
3.3.5. Consumo de cimento (Φ).....	23
3.4. TRABALHOS SEMELHANTES.....	24
4. METODOLOGIA.....	27
4.1. MATERIAIS.....	28
4.1.1. Aglomerante	28
4.1.2. Agregado miúdo	29
4.1.3. Agregado graúdo	31
4.1.4. Água	33
4.2. MÉTODOS	34
4.2.1. Dosagem do concreto.....	34
4.2.2. Execução.....	35
4.2.3. Determinação da Consistência pelo Abatimento do tronco de cone (Slump Test)	36
4.2.4. Moldagem e cura dos corpos de prova.....	37
4.2.5. Resistência à compressão e a tração.....	38
5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	41
6. CONCLUSÃO.....	52
REFERÊNCIAS.....	53

1. INTRODUÇÃO

Na antiguidade, por volta de 2750 a. C., no Egito, a rocha começou a ser utilizada para grandes construções, as pirâmides demonstram o grande domínio dos egípcios em construir utilizando blocos de rocha, mas não conseguiram obter o total potencial desse material. Já na Idade Média, os engenheiros conseguiram utilizar deste material de forma mais abrangente, com construções espetaculares de igrejas, explorando os limites construtivos de estruturas em rocha.

Em meados do século XIX, acompanhado dos grandes avanços tecnológicos consequentes da Revolução Industrial, há o surgimento do concreto. Essa descoberta foi um grande salto na arte de projetar e construir estruturas, onde seu uso intensivo no século XX o transformou no material mais consumido pelo homem depois da água (HELENE E ANDRADE, 2010).

Quando se menciona engenharia civil, construções e estruturas, o primeiro material que nos vem à cabeça é o concreto de cimento Portland, dado que a maioria das estruturas desenvolvidas no Brasil são construídas com concreto armado.

O concreto de cimento de Portland é composto essencialmente por cimento Portland (aglomerante), areia (agregado miúdo) e brita (agregado graúdo). Sendo sua principal característica a resistência a compressão, o qual é fator determinante nos cálculos das estruturas de concreto armado. Dependendo da proporção e das características dos materiais utilizados, o concreto pode apresentar diferentes trabalhabilidade e resistência.

Desse modo, o concreto que anteriormente era produzido de forma empírica precisou ser estudado e aperfeiçoado, surgindo o estudo de dosagem, o qual analisa características e proporções dos materiais utilizados. Assim, a dosagem visa obter a proporção ideal e a mais econômica dos componentes do concreto de uma determinada região.

Logo, faz-se necessário realizar uma análise detalhada utilizando uma grande variabilidade de traços, utilizando o método IPT/EPUSP, para saber qual traço melhor se adequa para materiais utilizados no estado de Sergipe.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desse trabalho é realizar um estudo de dosagem detalhado, utilizando os materiais comercializados no estado de Sergipe e identificar possíveis discrepâncias nos resultados tanto no estado fresco, como também do estado endurecido.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Encontrar o diagrama de dosagem detalhado, considerando a variabilidade de proporções de materiais consideradas;
- Determinar a influência das diversas proporções de materiais no abatimento de tronco de cone;
- Determinar a influência dos diversos traços no ensaio de resistência à compressão;
- Determinar a influência das diversas proporções de materiais no ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. EVOLUÇÃO DO CONCRETO CONVENCIONAL

Concreto convencional é um material de construção, o qual não apresenta características especiais provenientes da mistura, de forma proporcional, de cimento Portland, agregado miúdo (areia), agregado graúdo (pedra ou brita) e água.

O concreto de cimento Portland é o mais importante material estrutural e de construção civil da atualidade. Mesmo sendo o mais recente

dos materiais de construção de estruturas, pode ser considerado como uma das descobertas mais interessantes da história do desenvolvimento da humanidade e sua qualidade de vida. (HELENE e ANDRADE, 2010)

Inicialmente os compósitos eram usados sem muita responsabilidade estrutural e, conseqüentemente, as regras de proporcionamento eram inteiramente empíricas e provinham do conhecimento tradicional do proporcionamento de argamassas. Estavam limitadas à obtenção de conglomerados nos quais os ligantes eram cales aéreas e cales combinadas com pozolanas, denominadas cales hidráulicas. Nestes casos, resultavam em proporções fixas e independentes da natureza dos materiais constituintes. Alguns desses critérios eventualmente são utilizados, assegurando uma certa compacidade com excesso de aglomerante, o que implica em misturas não econômicas (HELENE e TERZIAN, 1993).

Até o início do século XIX pouco se sabia acerca das qualidades a serem exigidas dos materiais constituintes dos concretos e argamassas. A postura com relação ao proporcionamento dos materiais e sua influência no comportamento dos conglomerados foi alterando-se a partir dessa época em função da descoberta do cimento Portland e sua fabricação em escala comercial (Helene e Terzian, 1993, p. 55 apud Coutinho, 1973).

Em 1824, Joseph Aspdin inventa o cimento Portland, através da queima do calcário e argila finamente moídos e misturados a altas temperaturas até que o gás carbônico fosse retirado. O material obtido era moído. Aspdin denomina este cimento como cimento Portland (KAEFER, 1998).

Ainda no século XIX, pesquisadores como, Louis Vicat, Chatelier e René Féret trataram de tornar esse novo material mais confiável e conhecido, resultando no interesse generalizado de uso em estruturas (HELENE e ANDRADE, 2010).

Louis Vicat, em 1828, publica informações que o colocam como precursor nos conhecimentos atuais sobre a importância da quantidade de água de amassamento e da granulometria da areia na resistência das argamassas. Estabelecendo regras clássicas da composição granulométrica que só muito mais tarde foram quantificadas. Vicat ainda registra a influência da compacidade sobre a resistência e os inconvenientes do excesso de água

e da consistência fluída, antecipando o definitivo predomínio da relação água/cimento sobre as propriedades dos conglomerados, comprovados anos mais tarde por Ferét e Abrams.

Em 1827, Henry Le Châtelier determina quais os compostos presentes nos cimentos Portland e indica como se dão as reações principais através de observações efetuadas. Alguns anos depois, René Ferét descobre a lei fundamental que relaciona a resistência da argamassa com sua compacidade. Estudando misturas com mesmo cimento, areia, mesma idade e condições de cura. Ferét verificou que a resistência à compressão de argamassas inicialmente plásticas é função somente da relação do volume de água mais o volume de vazios da argamassa com cimento. (HELENE e TERZIAN, 1993).

Segundo Reis (2008), o desenvolvimento da construção civil permitiu o aprimoramento de técnicas empregadas em edificações, assim como o surgimento de novas tecnologias e materiais que possibilitaram melhorias ao concreto e o surgimento de novos tipos de concretos.

Ainda não é possível substituir o cimento Portland, apesar de seus danos e riscos. O ideal é encontrar formas de otimizar a sua produção e reduzir o seu consumo, mitigando assim o impacto negativo à natureza. No processo produtivo, as principais evoluções ocorridas são na redução do consumo de energia e no uso de energias alternativas, além do incremento de adições aos cimentos. Outra grande evolução do processo produtivo que também contribui para reduzir o consumo é o aumento da classe de resistência dos cimentos.

Segundo Corrêa (2010), além das adições, melhorias na qualidade e no processo produtivo, a outra forma para se reduzir o consumo de cimento é com o uso de aditivos químicos. No Brasil a maioria dos aditivos em uso são os plastificantes e polifuncionais que geralmente proporcionam uma redução no consumo de cimento no traço entre 6 e 15%.

A concepção do aditivo polifuncional foi a partir da mistura das bases químicas dos aditivos plastificantes e superplastificantes, objetivando obter um aditivo com plasticidade elevada e um bom tempo de manutenção da trabalhabilidade, assim, atendendo a demanda de um concreto com plasticidade maior, mas que pudesse ser dosado a partir da central de

concreto, sem a necessidade de executar dosagens depois da chegada do caminhão betoneira ao canteiro.

Corrêa (2010) realizou testes utilizando aditivo polifuncional, onde em dosagem de 0,5% sobre a massa do cimento, escolhidas a partir de testes de redução de cimento, a amostra de concreto teve um incremento de abatimento de 60mm para 200mm, com um excelente aspecto, sem segregação. Ainda, com essa mesma dosagem o incremento médio de resistência a compressão foi de 15% e redução de água superior a 11%. Porém, foram notados efeitos de retardamento e incorporação de ar exagerada, por isso, dosagens muito elevadas devem ser testadas antes da aplicação do concreto em canteiro, e deve-se ter em conta que os resultados obtidos com dosagens medianas até 0,7% já trazem benefícios elevados.

Nunes et al. (2014) realizaram testes de resistência a compressão aos 7, 14, 21 e 28 dias utilizando um determinado aditivo polifuncional, visando uma resistência de 25 MPa e utilizando uma quantidade de 6,3 litros de água para os corpos de prova (CP's) sem aditivo e 5,9 litros de água para os CP's com aditivo. Assim, observando os resultados obtidos, os CP's com aditivo polifuncional mostraram-se superiores, os quais alcançaram maior resistência que o concreto sem aditivo, 26,83 MPa com aditivo e 22,36 sem aditivo, o que comprova a capacidade do polifuncional em reduzir a quantidade de água usada na mistura sem perder a resistência

Barreto (2019), buscando obter um concreto permeável trabalhável para produção em caminhão betoneira, realizou ensaios de caracterização de materiais componentes e ensaios de propriedades do concreto no estado fresco e endurecido utilizando 3 tipos de aditivos polifuncionais, sendo P1 utilizado onde há necessidade de redução de água de amassamento, P2 ocasiona alta plastificação e o P3 indicado para concretos com cimentos de tempo de pega rápido. Além disso, foram realizadas as combinações desses polifuncionais com estabilizadores (P1C, P2C e P3C). Assim, através dos resultados obtidos, verificou-se que os traços que continham o polifuncional 1 apresentaram resistências à compressão superiores aos demais e o traço com o polifuncional 3, apresentou maior índice de permeabilidade, segundo NBR 16416/2015 – Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos, dentre os traços utilizados.

A história demonstra que ainda vale a pena pesquisar, projetar, dosar e construir, sempre buscando tirar proveito desse material de construção, explorando seu elevado desempenho e usando-o corretamente sob o ponto de vista da proteção ambiental e da sustentabilidade (HELENE e ANDRADE, 2010).

Em 100 anos, o concreto superou todos os limites e fronteiras do conhecimento em Engenharia de projeto e de construção. O qual ainda se encontra em evolução, não sendo possível prever o futuro e nem definir seus limites.

3.2. MÉTODO DE DOSAGEM DE CONCRETO IPT/EPUSP

O método IPT/EPUSP foi desenvolvido através de uma atualização e generalização feita na Escola Politécnica da USP, tendo como base o método desenvolvido inicialmente no IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (BOGGIO, 2000).

De acordo com Menezes (2017, pág. 21 apud Petrucci, 1995) esse método tem como principal característica o emprego dos agregados disponíveis em obras, sem que haja um conhecimento prévio da composição granulométrica. Recomenda-se considerar o conhecimento dos outros materiais de composição do concreto, isto é, verificar as características físicas desses materiais, devido suas influências na dosagem do concreto. Sendo assim, o método IPT/EPUSP avalia os seguintes fatores:

- Trabalhabilidade geral do concreto de forma qualitativa (Estabilidade, plasticidade e bombeabilidade);
- Consistência do concreto;
- Resistência característica do concreto aos 28 dias (f_{ck});
- Obtenção da relação água/cimento (sendo o parâmetro mais importante para os concretos estruturais, tanto para resistências mecânicas, quanto durabilidade);
- Obtenção das proporções de areia e pedra britada para cada unidade de cimento;

- Diâmetro máximo dos agregados.

Segundo Toralles et al. (2018) o método IPT/EPUSP é dividido em duas etapas. A primeira delas consiste na determinação do teor de argamassa ideal, e, a segunda, no traçado de um diagrama de dosagem.

Assim, o método procura adquirir traços com teores mínimos de argamassa, os quais possibilitem o atendimento das necessidades de transporte, lançamento, adensamento e acabamento do concreto na obra (BOGGIO, 2000).

Entende-se que a melhor proporção disponível entre os agregados, consiste no menor consumo de quantidade de água para a obtenção de um dado abatimento exigido e faz-se isso considerando a interferência do aglomerante (cimento + adições) na proporção total de materiais. Logo, não se trata de obter a máxima compacidade do esqueleto granular, mas sim de obter o mínimo consumo de água para uma consistência pretendida, o que vai resultar na máxima resistência à compressão daquele concreto (TUTIKIAN e HELENE, 2011).

Boggio (2000) constata que o método estabelece a construção de um diagrama de dosagem, para que, de forma ampla, seja resolvido o problema de proporção de concretos com características de trabalhabilidade, resistência e acabamento. Esse diagrama de dosagem determina como resultado final um gráfico sobre três quadrantes onde são apresentadas “leis de comportamentos”, as quais correlacionam a resistência à compressão (f_c), a relação água/cimento (a/c), a relação agregado/cimento (m) e o consumo de cimento/ m^3 de concreto ($\mathbb{C}$). Expressas pelas correlações apresentadas a seguir:

Lei de Abrams: A resistência de um concreto, numa determinada idade, é inversamente proporcional à relação água/cimento (a/c), expressa pela equação:

$$f_{cj} = \frac{k_1}{k_2^{(a/c)}}$$

Onde:

f_{cj} – Resistência a compressão axial em Mpa, à idade de j dias;

a/c – Relação água/cimento, em massa (kg/kg);

k – Depende exclusivamente dos materiais agregados.

Lei de Lyse: Fixados o cimento e agregados, a consistência do concreto fresco, depende preponderantemente da quantidade de água por m^3 de concreto

$$M = k_3 + k_4 \times (a/c)$$

Onde:

a/c – Relação água cimento;

k_i – Dependente exclusivamente dos materiais empregados.

Lei de Molinari: O consumo de cimento por m^3 de concreto varia na proporção inversa da relação em massa seca de agregados/cimento (m), dada a equação:

$$C = \frac{1000}{k_5 + k_6 \times m}$$

Onde:

C – Consumo de cimento por metro cúbico de concreto (kg/m^3);

m – Relação agregados secos/cimento em massa (kg/kg);

k_i – Depende exclusivamente dos materiais empregados.

Helene e Terzian (1993) expõem que o estudo experimental parte do princípio que são necessários três pontos para montagem do diagrama de dosagem. Os quais se iniciam na mistura em betoneira do traço de 1:5,0 (cimento: agregados secos totais) e com base no resultado obtido, realize-se mais duas, com traços de proporção 1:3,5 e 1:6,5, chamados de traço rico e traço pobre, respectivamente.

O método IPT/EPUSP é essencialmente experimental e inicialmente demanda poucas informações quanta às características dos agregados, podendo ser desenvolvido em um laboratório de campo, montado com o mínimo de equipamentos especiais. Apesar do método não exigir

conhecimentos prévios do cimento, agregados e adições, sempre é conveniente contar com informações de ensaios anteriores, como: reatividade álcali-agregado, matérias carbonosas, presenças de pó e de argila, presença de sulfatos e outros.

Ainda, deve-se atentar para os ajustes dos traços adotados inicialmente, para conseguir o teor de argamassa ideal e abatimento procurado. Esse processo de ajuste pode ser adiantado ao se preparar de forma antecipada as quantidades de cimento e areia, para conseguir teores de argamassa crescentes. Caso estas medidas não sejam realizadas, o processo de ajuste pode trazer perdas de água por diversos fatores, como a absorção de água por parte dos agregados não saturados completamente ou pelos grãos de cimento e evaporação para o meio ambiente do laboratório (BOGGIO, 2000).

Embora, a fundamentação teórica do método de dosagem seja simples e não se aprofunde na procura de composições melhores dos materiais constituintes, a realização do mesmo, com procedimentos laboratoriais e equipamentos simples, e com custos operacionais um tanto baixos, busca a construção de um diagrama de dosagem que possibilita uma análise rápida e objetiva dos traços (BOGGIO, 2000).

3.3. PARÂMETROS DE MISTURA

Os parâmetros de mistura são fundamentais para o desenvolvimento de traços de concreto, principalmente se tratando do método de dosagem adotado, o do IPT/EPUSP.

3.3.1. Resistência de dosagem (f_{cj})

A resistência à compressão do concreto é um parâmetro que depende, dentre outros, da qualidade dos materiais empregados, das proporções de mistura, meios de produção e execução dos ensaios. Considerando que este parâmetro utiliza dos resultados obtidos dos corpos

de prova cilíndricos, dos quais os valores são variáveis e dependentes da qualidade da produção do concreto, torna-se importante definir uma forma de avaliação da qualidade e a resistência potencial do concreto (ASSUNÇÃO, 2002).

Desta forma, têm-se usado modelos estatísticos como forma de melhor apresentar as variabilidades de resultados obtidos. A experiência demonstra que a dispersão desses resultados individuais se ajusta muito bem a uma distribuição estatística normal ou de Gauss.

A função de distribuição de Gauss depende do valor da média dos resultados e do desvio-padrão, que define a variabilidade dos resultados em torno da média (DAFICO, 1997).

Dafico (1997), ainda afirma que o interesse do calculista é saber qual é o valor de resistência que tem a mínima probabilidade de ocorrer, não interessando qual é o valor médio, sendo possível uma segunda simplificação na representação da distribuição de resistências, que é o recurso da fixação de um valor característico (f_{ck}). Já para o tecnólogo, o número que interessa é a resistência média da mistura endurecida a se dosar. A fixação dessa resistência média que se pretende atingir vai depender do valor f_{ck} fornecido e da variabilidade com que o concreto costuma ser produzido, isso, por sua vez, depende do rigor que são preparadas as misturas e da variabilidade dos materiais, os quais são representados pelo desvio-padrão dessa produção.

Assim, a resistência de dosagem é determinada através de uma expressão que correlaciona a resistência característica (f_{ck}) com o desvio padrão de dosagem (S_d). O valor do desvio padrão de dosagem é sugerido pela NBR 12665/2015 – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento, sendo que o concreto realizado com maior controle de produção, terá menor valor de desvio, enquanto que, inversamente, o concreto com o menor controle de produção deverá ser proporcionado com maiores valores de desvio padrão.

Caso um laboratório ou concreteira possua em seu arquivo o valor de resistência de um número significativo de exemplares, a empresa pode calcular seu desvio padrão próprio.

A resistência de dosagem pode ser calculada através da equação abaixo:

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 * S_d$$

Onde:

f_{cj} – Resistência de dosagem;

f_{ck} – Resistência característica do concreto;

1,65 – Constante que garante confiabilidade de 5% usando uma g ;

S_d – Desvio padrão de dosagem.

3.3.2. Teor de Argamassa Seca ($\alpha\%$)

O teor ideal de argamassa da mistura depende do volume de vazios deixados pelo agregado graúdo no concreto e da capacidade de “lubrificação” da argamassa, o qual é dependente das características do cimento e da areia. Esse teor de argamassa é independente da relação água/cimento do concreto e é melhor determinado experimentalmente, pela aparência do concreto fresco no abatimento desejado, e ao demonstrar boa estabilidade da massa (DAFICO, 1997).

O teor de argamassa seca é a relação entre as quantidades de cimento e areia pelas quantidades de cimento, areia e brita. Este teor possui influência determinante na coesão do concreto, o que implica diretamente no cobrimento das armaduras das estruturas de concreto armado. O teor de argamassa seca tem que permanecer dentro de intervalo de 30% a 90% e é expresso pela seguinte equação:

$$\alpha(\%) = \frac{1 + a}{1 + a + p} * 100$$

Onde:

$\alpha(\%)$ - Teor de argamassa seca em percentual;

1:a:p – Proporção de cimento, areia e brita, respectivamente.

3.3.3. Relação água/materiais secos (H%)

A relação água/materiais secos ou H(%) é o principal influenciador da consistência do concreto e expressa na verdade, o teor de água do traço. Esta relação deve estar entre 5% e 12%.

Assunção (2002) diz que por este princípio é válida a lei de Inge Lyse. Por onde, considera-se praticamente constante a quantidade de água total para concretos para uma dada trabalhabilidade, independentemente da variação do traço de cimento: agregado (1:m). Esse teor de água é calculado pela equação abaixo:

$$H(\%) = \frac{a/c}{1 + a + p}$$

$$H(\%) = \frac{a/c}{1 + m} * 100$$

Onde:

H(%) = Relação água/materiais secos;

a/c = Relação água cimento;

1;a;p;m = Proporção de cimento, areia, brita e proporção de agregados, respectivamente.

3.3.4. Proporção de agregados totais (m)

O parâmetro de proporção de agregados totais ou parâmetro “m” diz respeito à soma das proporções de agregado miúdo e graúdo expressa pela equação abaixo:

$$m = a + p$$

Onde:

m – Proporção de agregados secos;

a – Proporção de areia;

p – Proporção de brita.

Assim, um traço de concreto é dado sob a forma 1:m ou 1:a:p:a/c, onde:

1 – Proporção de cimento;

a/c – Relação água/cimento.

Lembrando que, como trata-se de proporções todos são obtidos em relação ao consumo de cimento:

$$\begin{aligned} \mathbf{1} &= \frac{\text{Quantidade de cimento}}{\text{Quantidade de cimento}} \\ \mathbf{a} &= \frac{\text{Quantidade de areia}}{\text{Quantidade de cimento}} \\ \mathbf{p} &= \frac{\text{Quantidade de brita}}{\text{Quantidade de cimento}} \\ \mathbf{a/c} &= \frac{\text{Quantidade de água}}{\text{Quantidade de cimento}} \end{aligned}$$

3.3.5. Consumo de cimento (C)

O consumo de cimento é definido como a quantidade de cimento gasta para desenvolver um metro cúbico de concreto. Esse dado é importante quando se pensa na dosagem do concreto, principalmente em dosagens empíricas em que as Normas Brasileiras, como a ABNT NBR 6118:2014 e 12655:2015, recomendam um consumo mínimo entre 260 a 360 quilogramas de cimento por metro cúbico (kg/m³) de concreto.

Segundo Helene e Andrade (2010) tem-se como conceito básico para concretos produzidos com o mesmo cimento e agregados, fixando a relação

água/cimento, quanto maior for seu abatimento, maior será o consumo de cimento. De outra forma, mantendo fixo o abatimento, quanto menor a relação água/cimento do concreto, maior será seu consumo, implicando em um maior desempenho mecânico e de durabilidade.

A curva de consumo de cimento em função do traço é obtida após a determinação experimental da massa específica do concreto fresco, valendo a lei de Molinari. Assim, o consumo de cimento é dado pela equação:

$$\phi = \frac{1000 - (\%)ar}{\frac{1}{\rho_{o,cim}} + \frac{a}{\rho_{o,areia}} + \frac{p}{\rho_{o,brita}} + (a/c)}$$

Onde:

$\rho_{o,cim}$ - Massa específica do cimento em g/cm³;

$\rho_{o,areia}$ - Massa específica da areia em g/cm³;

$\rho_{o,brita}$ - Massa específica da brita em g/cm³;

(%)ar - Teor de ar aprisionado que gira em torno de 1% a 2%;

1;a;p;m;a/c = Proporção de cimento, areia, brita, agregados e relação água/cimento.

3.4. TRABALHOS SEMELHANTES

Menezes (2017) avaliou três métodos de dosagem (ABCP, ITERS/Eládio Petrucci e IPT/EPUSP) para materiais utilizados no estado de Sergipe, com o objetivo de avaliar qual método de dosagem, dentre os estudados, melhor se adequaria aos materiais comercializados no estado de Sergipe. Desta forma, chegou-se à conclusão que o método IPT obteve maior adequação nas dosagens feitas com os materiais comercializados no estado.

Pereira (2018) analisou e verificou a dosagem do concreto composto por agregados da região de João Pessoa com alto consumo de cimento baseando-se no método de Helene e Terzian (1993). Após experimentos realizados, concluiu que o concreto no seu estado plástico mostrou um ótimo comportamento, com trabalhabilidade ótima e com consumo de cimento adequado. A relação água/cimento foi coerente para os valores de abatimento

e gerou, visualmente, um concreto com pouca porosidade. Ainda, as características do concreto endurecido não puderam ser definidas devido à alta variabilidade dos resultados. Além disso, devido ao desgaste do neoprene, os resultados de resistência a compressão aos 28 dias se deram incoerentes. Em geral, os materiais da região metropolitana de João Pessoa demonstraram um bom desempenho.

Nascimento e Junior (2017) analisaram os métodos de dosagem de concreto de cimento Portland ABCP e IPT/EPUSP, apresentando o desempenho de cada um. Onde através dos resultados obtidos, concluíram que os dois métodos apresentaram resultados similares quanto a resistência a compressão, porém o método IPT/EPUSP apresentou melhor desempenho quanto a trabalhabilidade.

Toralles et al. (2018) compararam por meio teórico e prático, os aspectos funcionais e operacionais de três métodos (ABCP, O'Reilly e IPT) de dosagem para concretos convencionais, para uma resistência fixada em 25 MPa e a comparação deu-se por meio das respostas das misturas nos estados fresco e endurecido. Assim, concluíram que o método IPT se mostrou o mais eficiente em termos de otimização da performance mecânica dos materiais disponíveis na região de Londrina, devido ao traçado de curvas de dosagem.

Com os objetivos de identificar a tipologia, características físicas e granulométricas dos agregados miúdos e graúdos, oriundos da região noroeste do Paraná, na cidade de Maringá, e confeccionar com os materiais disponíveis no local, dosagens experimentais de concreto utilizando o método de dosagem IPT/EPUSP para definir famílias e traços através do Diagrama de dosagem proposto pelo método. Assunção (2002), concluiu que o fato de utilizar diferentes britas para um mesmo tipo de areia não altera significativamente as qualidades da mistura no aspecto da resistência e o consumo de cimento para uma mesma consistência e relação água/cimento. E ainda, para um mesmo tipo de areia, as diferenças de resistência encontradas são muito pequenas.

Neto (2018) realizou um estudo de dosagem de concretos convencionais por meio da análise dos resultados obtidos experimentalmente, realizados com agregados da região de João Pessoa. A análise foi feita

através do ensaio de abatimento e de ruptura à compressão. Concluindo que 0,58 de teor de argamassa é o valor equivalente a trabalhabilidade mínima, pois acima desse valor são obtidos concretos sem bloqueio de agregados. Entretanto, mesmo com bloqueio de agregados para teores abaixo de 0,58, foi possível obter concretos coesos e plásticos em todos os traços, além de possibilitar a moldagem de corpos de prova com superfície lisa e sem vazios. Ainda, quanto as resistências, o teor de argamassa que apresentou melhor resistência foi o de 0,52 para trabalhabilidade mínima, com tendência de aumento na resistência para teores menores. Ademais, os resultados de resistência a compressão aos 28 dias apresentaram-se menores que o os com 14 dias, apresentando variabilidade da resistência do concreto.

Barbosa (2009) estudou a influência de diferentes tipos de agregados graúdos da região de Goiânia no comportamento do módulo de deformação tangente inicial do concreto e com base nos resultados obtidos, constatou-se um aumento na resistência à compressão na ordem dos agregados micaxisto, granulito e basalto considerando a mesma dosagem para todos. Da análise tem-se que o tipo de agregado graúdo é o fator que mais influencia sobre o módulo tangente inicial do concreto e tipo de nível de resistência adotado como um segundo fator de influência. De forma geral, identificou-se um crescimento no módulo de elasticidade, juntamente com a resistência a compressão, em todos os concretos dosados por essa pesquisa. Entretanto não foi na mesma proporção.

Guimarães e Júnior (2019) utilizaram o método IPT/EPUSP para determinação das curvas de dosagem de concreto convencional, utilizando brita e seixo rolado disponível na cidade de Porto Nacional – TO. Realizando análise comparativa entre os dois materiais. Após ensaios realizados, chegou-se à conclusão que utilizando cimento Portland CII-E32 o fck limite para atendimento normativo pelo concreto, em que se utilizou o seixo foi de 26 MPa e para os concretos acima de 24 MPa a brita se tornou mais economicamente viável que o seixo.

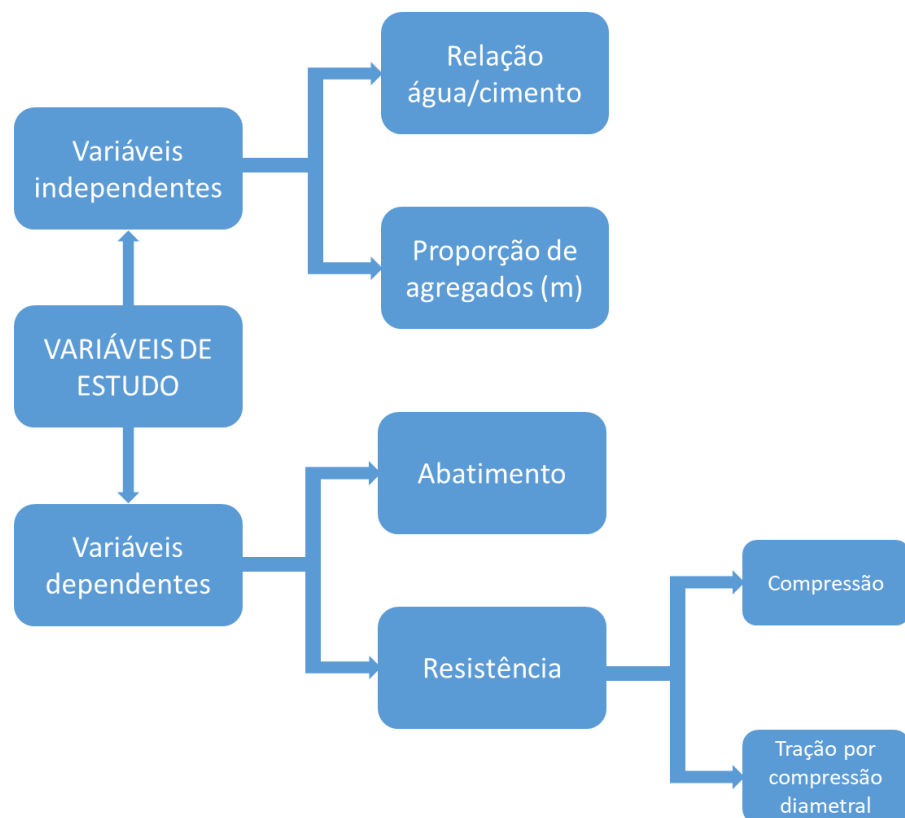
Ferreira (2016) analisou a resistência à compressão de concretos produzidos em construções de pequeno porte na cidade de Toledo – PR. Após os ensaios e resultados obtidos, verificou-se que apenas 33,33% das obras analisadas apresentaram uma resistência a compressão maior que a

resistência mínima de projeto, que é de 20 MPa. A disposição de agregados não foi um fator que pudesse interferir nos resultados de resistência, pois todas as obras apresentaram um padrão quanto à acomodação da areia, pedra britada, água e cimento. Notando que a relação água/cimento seria o melhor indicador quanto à resistência.

4. METODOLOGIA

O esquema representativo da metodologia, está apresentado a seguir, como mostra a figura 1.

Figura 1 - Fluxograma das variáveis estudadas



Fonte: O autor (2020)

Assim, as variáveis independentes do estudo foram a relação água/cimento (a/c) e a proporção de agregados (m), onde procurou-se avaliar a influência destas em relação às variáveis dependentes.

4.1. MATERIAIS

4.1.1. Aglomerante

O cimento utilizado foi o CP II-F 32 RS, onde pela ABNT NBR 16697/2018 é designado como cimento Portland composto com material carbonático (fíler calcário), com classe de resistência aos 28 dias de 32 MPa e resistente a sulfatos.

Figura 2 - Cimento Portland



Fonte: O autor (2020)

A tabela a seguir mostra as propriedades do cimento estudado fornecida pela empresa cimentícia.

Figura 3 - Propriedades físicas e químicas do cimento

9 – PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS	
a) Estado físico:	Sólido, pó cinza.
b) Odor:	Sem cheiro.
c) pH em Solução Aquosa 12 ≤ pH ≤ 14	k) Densidade Relativa do Vapor a 20°C Não aplicável.
d) Ponto de Fusão Não aplicável	l) Massa Específica Aparente 0,9 a 1,2 g/cm ³ a 20°C.
e) Ponto de Ebulição Não aplicável	Massa Específica Absoluta 2,8 ≤ γ ≤ 3,2 g/cm ³ a 20°C.
f) Ponto de Fulgor (vaso fechado) .. Não aplicável	m) Solubilidade em Água até 1,5g/l a 20°C.
g) Taxa de Evaporação Não aplicável	n) Coeficiente de Partição Octanol/Água Não aplicável.
h) Inflamabilidade Não aplicável	o) Temperatura de Autoignição Não aplicável.
i) Limite de Explosividade, % vol no ar ... Nenhum	p) Temperatura de decomposição Não aplicável.
j) Pressão de Vapor (mm Hg) Não aplicável	q) Viscosidade Não aplicável.
	r) Velocidade de Evaporação (acetato de butila = 1) Não aplicável.

Fonte: FISPQ (2020)

4.1.2. Agregado miúdo

A areia utilizada para o trabalho foi areia lavada proveniente do rio Paramopama, na cidade de São Cristovão. A areia foi fornecida pelo laboratório de materiais de construção do Instituto Federal de Sergipe – campus Aracaju.

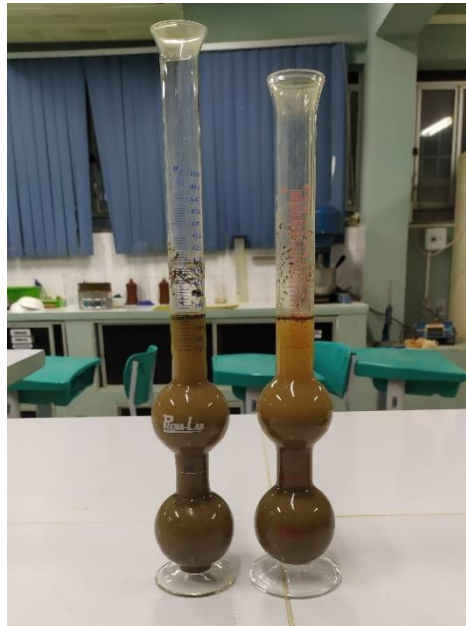
Figura 4 – Agregado miúdo



Fonte: O autor (2020)

A massa específica da areia foi definida a partir do método do frasco de Chapman, no qual foram recolhidas duas amostras para execução do ensaio, como mostrado na figura 5. As duas amostras tiveram o mesmo resultado, obtendo uma massa específica de $2,63 \text{ g/cm}^3$.

Figura 5 - Determinação da massa específica do agregado miúdo pelo método de Chapman



Fonte: O autor (2020)

A granulometria foi apurada utilizando as recomendações prescritas na NBR NM 248/2003 – Agregados – Determinação da composição granulométrica a partir do peneiramento, sendo utilizada uma série normal de peneiras.

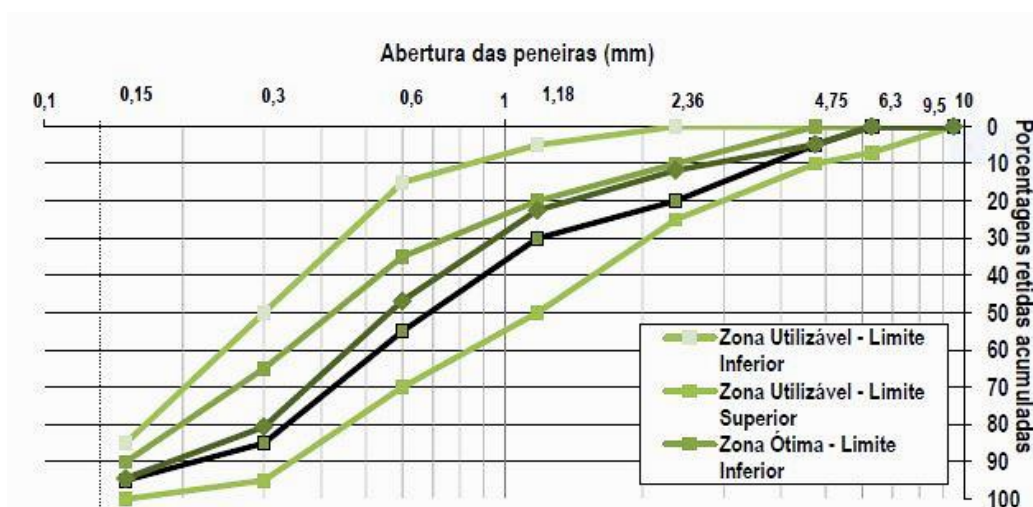
A tabela 1 mostra os resultados obtidos dos ensaios de granulometria do agregado miúdo realizados de acordo com a norma. A curva granulométrica obtida é exposta no gráfico 1.

Tabela 1 - Distribuição granulométrica da areia

Resumo da análise granulométrica do agregado miúdo											
Abertura das Peneiras (mm)	Massa retida (gr)		Massa retida (%)		Variação das % retidas ± 4%	Média das massas retidas (%)	Massa retida acumulada (%)	Faixas em relação as % retidas			
	Ensaio nº 1	Ensaio nº 2	Ensaio nº 1	Ensaio nº 2				Limites inferiores		Limites	
								Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9.5	0.0	0.0	0%	0%	0%	0%	0%	0	0	0	0
6.3	0.0	0.0	0%	0%	0%	0%	0%	0	0	0	7
4.75	17.6	11.5	6%	4%	1.9%	5%	5%	0	0	5	10
2.36	22.2	20.0	7%	7%	0.6%	7%	12%	0	10	20	25
1.18	33.0	32.2	11%	11%	0%	11%	23%	5	20	30	50
0.6	73.6	73.7	24%	25%	0.6%	24%	47%	15	35	55	70
0.3	101.4	102.7	33%	34%	1.2%	34%	81%	50	65	85	95
0.15	42.0	41.7	14%	14%	0.2%	14%	94%	85	90	95	100
Fundo	16.4	17.3	5%	5.8%	0.5%	6%	100%	100	100	100	100
Total	306.0	299.0	Módulo de Finura = 2.62					Diâmetro máximo = 4.75			

Fonte: O autor (2020)

Gráfico 1 - Curva granulométrica da areia



Fonte: O autor (2020)

A partir dos ensaios, foram obtidos os valores de 2,62% para o módulo de finura e o diâmetro máximo da areia de 4,75 mm.

4.1.3. Agregado graúdo

Para o agregado graúdo utilizou-se a pedra britada 3/4, proveniente de Itabaiana-SE. A qual foi fornecida pelo laboratório de materiais de

construção do IFS – campus Aracaju. Estes agregados foram utilizados conforme disponibilizados, não sofrendo qualquer tipo de preparo ou adequação as faixas granulométricas.

Figura 6 – Agregado graúdo



Fonte: O autor (2020)

A tabela 2 e 3 mostram, respectivamente, os resultados obtidos pelos ensaios de massa específica do agregado graúdo determinado pela ABNT NBR NM 53/2009 – Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água e o de massa compactada unitária pela NBR NM 45/2006.

A curva granulométrica do agregado graúdo é exposto no gráfico 2 de acordo com NBR NM 53/2009.

Tabela 2 - Resultados do ensaio de massa específica do agregado graúdo (g/cm³)

Massa específica do agregado graúdo (g/cm³)		
Massa seca (g)	Massa ao ar na condição saturada (g)	Massa em água da amostra (g)
3000	3000	1871
Massa específica do agregado graúdo (g/cm³) $m = \frac{m}{m - m_a}$		2,657

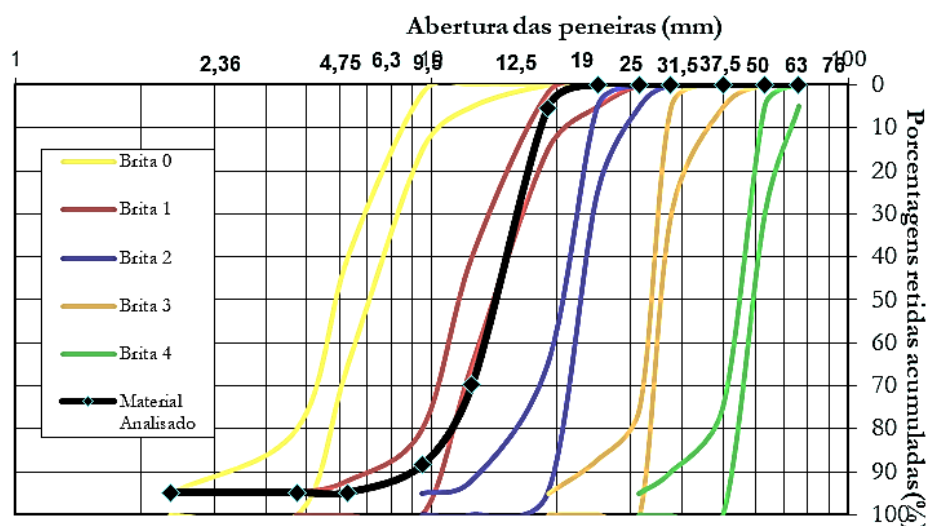
Fonte: O autor (2020)

Tabela 3 - Resultados do ensaio de massa unitária do agregado graúdo (Kg/cm³)

Massa unitária do agregado graúdo (Kg/cm³)		
Amostra 01 (Kg)	Amostra 02 (Kg)	Amostra 03 (Kg)
38,482	38,189	38,286
Massa média do agregado graúdo (Kg)		38,319
Massa unitária do agregado graúdo (Kg/cm³)		1,916
$m = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{3} / 20$		

Fonte: O autor (2020)

Gráfico 2 - Curva granulométrica da brita



Fonte: O autor (2020)

A partir dos ensaios realizados obteve-se os valores de 2,66 g/cm³ para massa específica e 1,916 Kg/cm³ para a massa unitária, com diâmetro máximo de 19 mm.

4.1.4. Água

Para realização dos ensaios foi utilizada água disponível na rede de abastecimento do laboratório do Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju, a qual é fornecida pela DESO, empresa de abastecimento de água de Sergipe.

4.2. MÉTODOS

4.2.1. Dosagem do concreto

Inicialmente, a partir do traço piloto de 1:5,0 proposto pelo método utilizado, determinou-se o teor de argamassa em 54% e a relação água/materiais secos em 9,17%.

Posteriormente, foram concebidos os traços auxiliares. Com isso, foram gerados, além dos traços rico ($m=3,5$) e pobre ($m=6,5$), mais oito traços, para montagem do diagrama de dosagem. O traço de referência junto aos traços auxiliares apresentarão em seu teor de agregados totais (m) uma diferença de 0,3 para menos ou mais. Os mesmos, estão apresentados na tabela 4 junto a seus respectivos traços unitários: proporção de cimento (c), areia (a), brita (p) e a relação água/cimento (a/c).

Tabela 4 - Traços

m	c	a	p	a/c
3,5	1	1,43	2,07	0,41
3,8	1	1,59	2,21	0,44
4,1	1	1,75	2,35	0,47
4,4	1	1,92	2,48	0,50
4,7	1	2,08	2,62	0,52
5	1	2,24	2,76	0,55
5,3	1	2,40	2,90	0,58
5,6	1	2,56	3,04	0,61
5,9	1	2,73	3,17	0,63
6,2	1	2,89	3,31	0,66
6,5	1	3,05	3,45	0,69

Fonte: O autor (2020)

Após a obtenção dos traços individuais para cada teor de agregados totais, estimou-se a quantidade necessária de material para moldagem dos corpos de prova de cada um dos traços. Assim, adotou-se uma quantidade de concreto de 20 quilogramas (kg).

Com a quantidade concreto já determinada, divide-se este valor pela massa de cada traço, e assim, obtêm-se as quantidades de cada material para

a produção do concreto de seu determinado traço. Os valores obtidos são apresentados na tabela 5.

Tabela 5 - Quantidade de materiais

m	Qc (kg)	Qa (kg)	Qp (kg)	QH ₂ O (kg)
3,5	4,071	5,822	8,427	2,000
3,8	3,817	6,076	8,436	1,679
4,1	3,592	6,301	8,441	1,688
4,4	3,393	6,500	8,415	1,697
4,7	3,214	6,679	8,421	1,671
5	3,053	6,839	8,426	1,679
5,3	2,908	6,985	8,433	1,687
5,6	2,776	7,117	8,439	1,693
5,9	2,655	7,238	8,416	1,673
6,2	2,544	7,348	8,421	1,679
6,5	2,443	7,450	8,428	1,686

Fonte: O autor (2020)

4.2.2. Execução

Foram executados os 11 traços propostos anteriormente. Todo o processo neste tópico foi repetido para a produção do concreto dos diferentes traços.

Inicialmente, umedeceu-se a bandeja de mistura a fim de diminuir a perda de água do concreto para o equipamento e esperou-se a secagem da mesma para a adição dos materiais. Posteriormente colocou-se toda brita e areia, além de, aproximadamente, 80% da quantidade de água preestabelecida, em seguida foi sendo adicionado o restante da água, gradativamente. Seguindo as verificações e observações seguintes:

- Ao passar a colher de pedreiro sobre a superfície do concreto fresco, introduziu-se na massa e a levantou em sentido vertical, verificando se a mesma encontrou-se com teor de vazios na superfície, indicando a falta de argamassa de preenchimento.
- Verificou-se o desprendimento do agregado graúdo da massa, retirando uma parte dela com a colher de pedreiro e em seguida, virando-a de cabeça para baixo analisando se a

massa cairia de modo homogênea e compacta, indicando que o concreto estava bem argamassado.

- Por fim, determinou-se o abatimento do concreto através do ensaio de tronco de cone.

4.2.3. Determinação da Consistência pelo Abatimento do tronco de cone (Slump Test)

Após retirada de toda a mistura, procedeu-se para o ensaio de abatimento conforme NBR NM 67/1998 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, mostrado na figura 7. Para a realização deste ensaio utilizou-se a seguinte aparelhagem:

- Haste de compactação com diâmetro de 16mm e comprimento de 600mm;
- Molde tronco – cônico com diâmetro da base de 200 mm, diâmetro superior de 100 mm e altura de 300 ± 2 mm;
- Placa de base plana, quadrada, com dimensões mínimas de 500 x 500 mm.

Figura 7 - Abatimento do tronco de cone



Fonte: O autor (2020)

4.2.4. Moldagem e cura dos corpos de prova

Os corpos de prova foram moldados e curados seguindo os critérios da ABNT NBR 5738/2016 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova. Foram utilizados corpos de prova com dimensões de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura. Como mostra as figuras 8 e 9.

Figura 8 - Moldagem dos corpos de prova



Fonte: Menezes (2017)

Figura 9 - Cura dos corpos de prova



Fonte: Menezes (2017)

4.2.5. Resistência à compressão e a tração

Após os 28 dias de cura, os corpos de provas foram submetidos ao ensaio de compressão axial e tração por compressão diametral normatizado pela ABNT NBR 5739/2018 – Determinação da resistência a compressão e ABNT NBR 7222/2011 – Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos cilíndricos, respectivamente, realizado no laboratório de materiais de construção do IFS – Campus Aracaju. O ensaio foi executado em máquina específica de modelo Emic MUE 100, mostrada na figura 10.

Figura 10 - Máquina utilizada nos ensaios de compressão



Fonte: O autor (2020)

Como explicitado anteriormente foram utilizados para os ensaios de compressão axial e resistência a tração por compressão diametral, 2 corpos de prova para cada, totalizando 4 corpos de provas para cada traço. Como mostra a figura 11.

Figura 11 - Corpos de prova (3 traços diferentes)



Fonte: O autor (2020)

Antes do início do ensaio à compressão axial acoplou-se nas extremidades dos corpos de prova, uma peça de neoprene, com tamanho suficiente para nivelar o corpo de prova. Esse método de nivelamento ajuda na aplicação da força exercida pela prensa de maneira distribuída em toda a superfície de topo e base do corpo de prova. Após o rompimento do corpo de prova, anotou-se o comportamento da ruptura do concreto, como mostra a figura 12, e os resultados de tensão fornecidos pelo equipamento.

Figura 12 - Rompimento de corpo de prova a compressão



Fonte: O autor (2020)

Para o ensaio de resistência a tração por compressão diametral, utilizou-se uma peça de fixação na base para que o corpo de prova não escapasse e uma peça maciça de aço na parte superior para que a força exercida pela prensa no corpo de prova ocorresse de maneira equivalente. Em seguida do rompimento anotou-se os valores das forças para posterior cálculo de tensão, visto que a tensão dada pelo equipamento não é a real.

Repetiu-se ambos os processos para todos os corpos de prova dos traços estudados.

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir estão expostos os resultados apresentados e posteriormente a análise desses.

Na tabela 6 estão apresentados os resultados obtidos no ensaio de resistência a compressão e o tipo de ruptura sofridos pelos corpos de provas analisados.

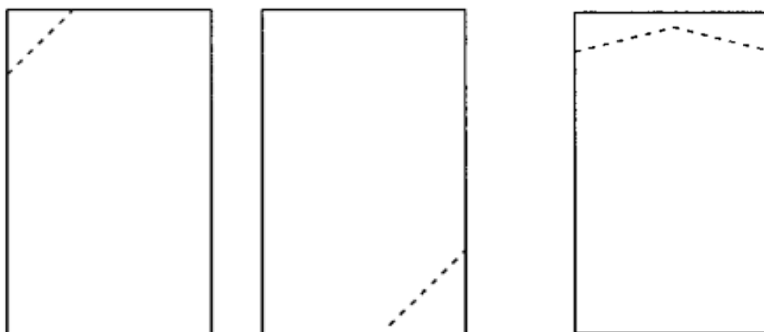
Tabela 6 - Resultados do ensaio de resistência a compressão axial

m	Resistência a compressão CP1 (MPa)	Resistência a compressão CP2 (MPa)	Tipo de Ruptura CP1	Tipo de Ruptura CP2
3,5	36,44	33,92	F	F
3,8	35,79	33,38	F	F
4,1	26,58	24,69	F	F
4,4	25,64	14,61	F	F
4,7	29,01	27,49	A	F
5	26,09	27,48	F	F
5,3	23,93	23,97	F	B
5,6	21,93	20,22	B	F
5,9	18,96	18,40	B	F
6,2	12,79	14,90	F	F
6,5	19,5	18,86	F	F

Fonte: O autor (2020)

Quando a dispersão entre resultados de um mesmo exemplar for significativa, convém investigar o tipo de ruptura, pois defeitos na moldagem e/ou arremate dos topos e bases dos corpos de prova podem ser identificados e sanados. Geralmente, quando isso ocorre, a ruptura enquadra-se nos tipos F e G (com fraturas junto ao topo e/ou base) como mostra a figura 13 abaixo. Portanto as dispersões apresentadas por alguns dos resultados provavelmente foram ocasionadas pela regularização insuficiente dos corpos de prova.

Figura 13 - Rupturas tipo F e G



Fonte: ABNT NBR NBR 5739/2018.

Na tabela 7 estão explicitados os resultados obtidos através do ensaio de resistência a tração por compressão diametral.

Tabela 7 - Resultados do ensaio de resistência a tração por compressão diametral

m	Força (kgf) CP3	Força (kgf) CP4	Resistência a tração CP3 (MPa)	Resistência a tração CP4 (MPa)
3,5	8079,78	10362,32	2,54	3,26
3,8	6776,92	7887,89	2,13	2,48
4,1	6105,29	6196,18	1,92	1,95
4,4	5741,70	6100,24	1,80	1,92
4,7	11453,09	13851,78	3,60	4,35
5	11816,68	10806,71	3,71	3,40
5,3	6388,08	5277,11	2,01	1,66
5,6	5357,91	6054,79	1,68	1,90
5,9	5610,40	5155,91	1,76	1,62
6,2	4650,93	4034,84	1,46	1,27
6,5	5135,71	5135,71	1,61	1,61

Fonte: O autor (2020)

Na tabela 8 estão descritos os resultados das variáveis dependentes dos traços obtidos: Proporção de agregados (m), Consumo de cimento (C), Abatimento (mm), Resistência média a compressão, Resistência média a tração por compressão diametral.

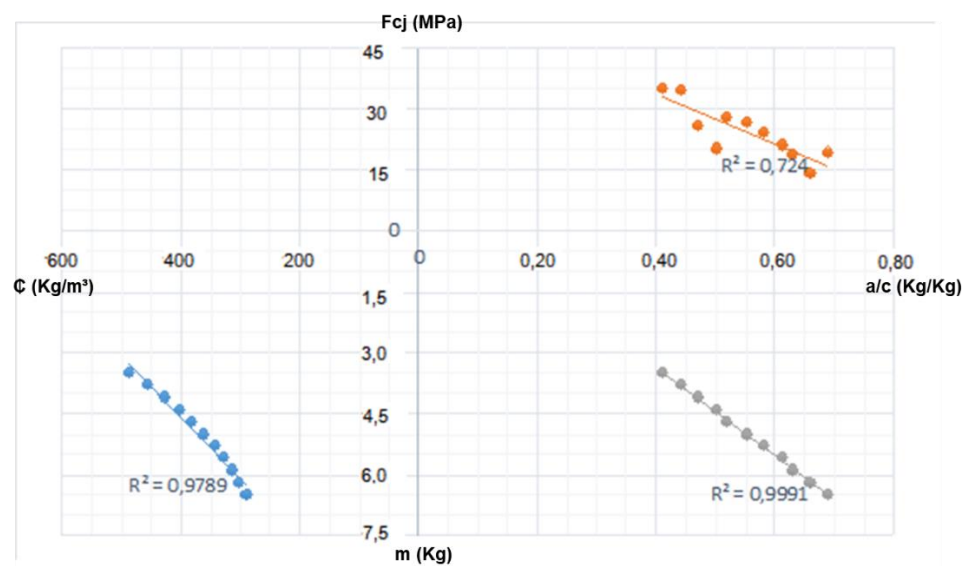
Na figura 14 está representado o ábaco com as informações de leitura referente ao método de dosagem IPT/EPUSP.

Tabela 8 – Resultados das variáveis independentes e dependentes

m	a/c	Ɔ (Kg/m³)	Abatimento (mm)	Resistência média a compressão (MPa)	Resistência média a tração por compressão diametral (MPa)
3,5	0,41	486,60	60	35,18	2,90
3,8	0,44	455,36	55	34,59	2,30
4,1	0,47	427,89	130	25,64	1,93
4,4	0,50	403,54	150	20,13	1,86
4,7	0,52	381,82	125	28,25	3,98
5	0,55	362,32	160	26,79	3,55
5,3	0,58	344,71	145	23,95	1,83
5,6	0,61	328,73	155	21,08	1,79
5,9	0,63	314,17	140	18,68	1,69
6,2	0,66	300,85	180	13,85	1,36
6,5	0,69	288,60	140	19,18	1,61

Fonte: O autor (2020)

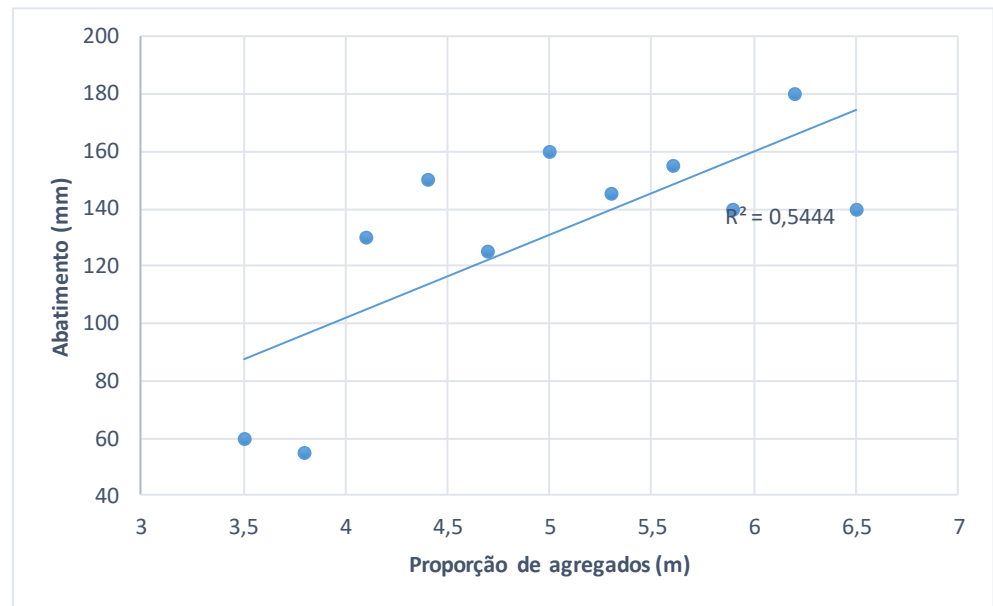
Figura 14 - Ábaco de dosagem



Fonte: O autor (2020)

A seguir estão apresentados, no gráfico 3, valores que correlacionam a proporção de agregados (m) e o abatimento de tronco de cone (*Slump test*):

Gráfico 3 - Correlação proporção de agregados (m) versus abatimento

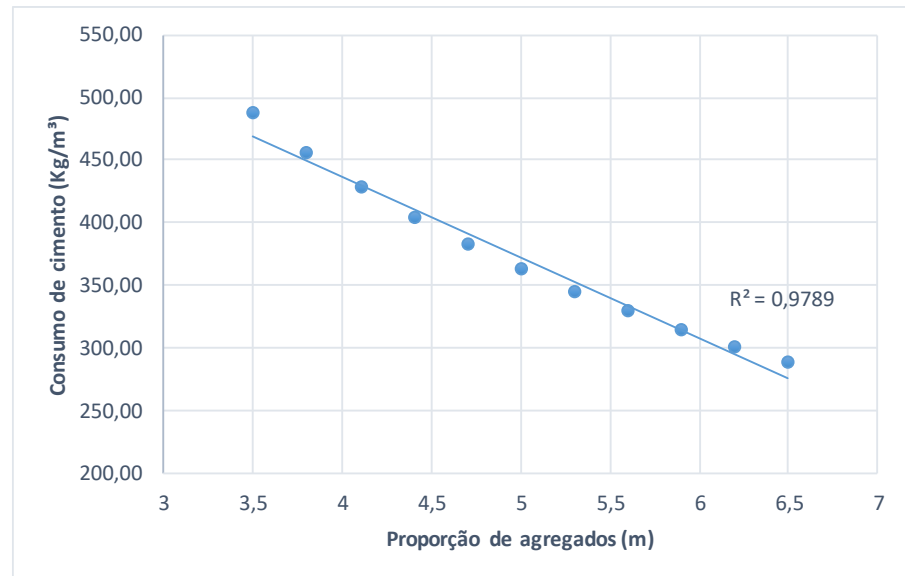


Fonte: O autor (2020)

Pode-se observar que, com o aumento da proporção de agregados totais o abatimento apresenta uma leve tendência a também aumentar, sendo que os concretos que resultaram em comportamentos diferentes dos demais foram os com valores de m igual a 3,5 e 3,8, que correspondem a concretos onde não foi realizado nenhum tipo de ajuste das misturas.

Em seguida apresenta-se a correlação entre a proporção de agregados (m) e o consumo de cimento (C)

Gráfico 4 -Correlação proporção de agregados (m) versus consumo de cimento (C)

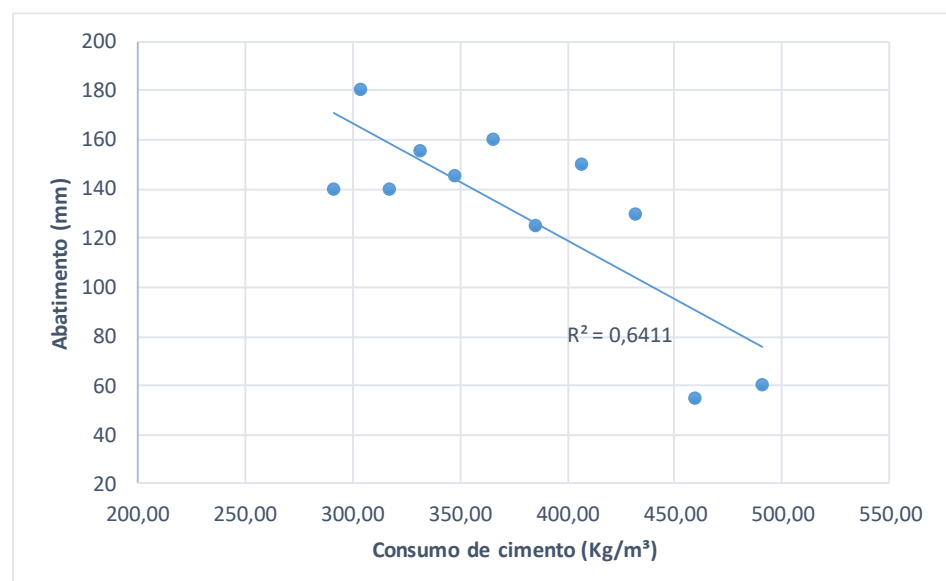


Fonte: O autor (2020)

Pelo gráfico 4 acima é possível verificar que existe uma boa correlação entre a proporção de agregados totais (m) e o consumo de cimento em Kg/m³, visto que quanto maior o valor de m, menor o consumo de cimento. Nota-se que os pontos obtidos obtiveram pouca dispersão.

A seguir, tem-se a correlação entre o consumo de cimento (C) e o abatimento:

Gráfico 5 - Correlação consumo de cimento (C) versus abatimento

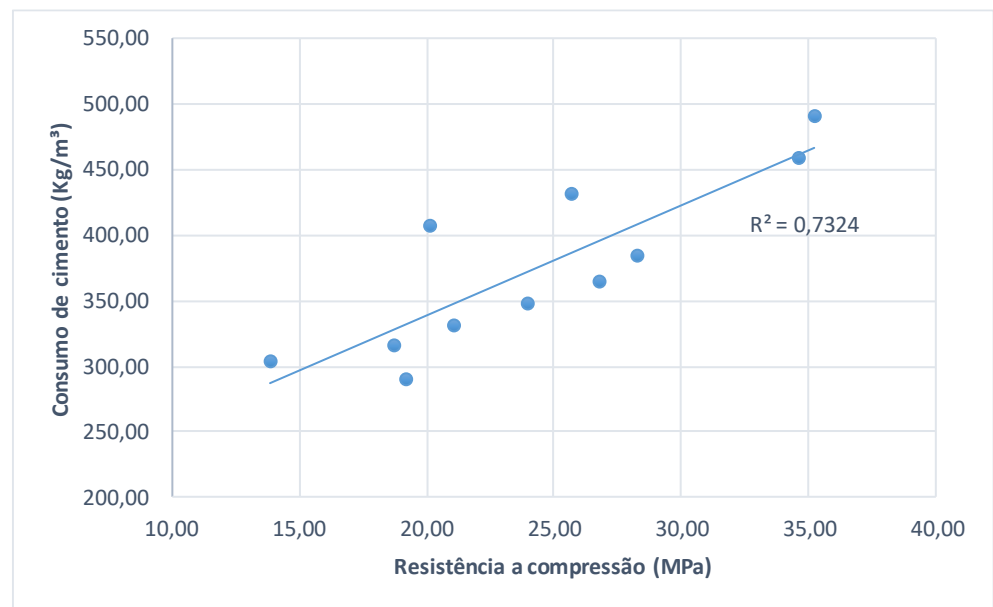


Fonte: O autor (2020)

Na análise do gráfico 5 é possível afirmar que há uma certa tendência de diminuição do abatimento com o aumento do consumo de cimento.

No gráfico 6 a seguir, observa-se a correlação entre o consumo de cimento (C) e a resistência a compressão:

Gráfico 6 - Correlação resistência a compressão versus consumo de cimento (C)

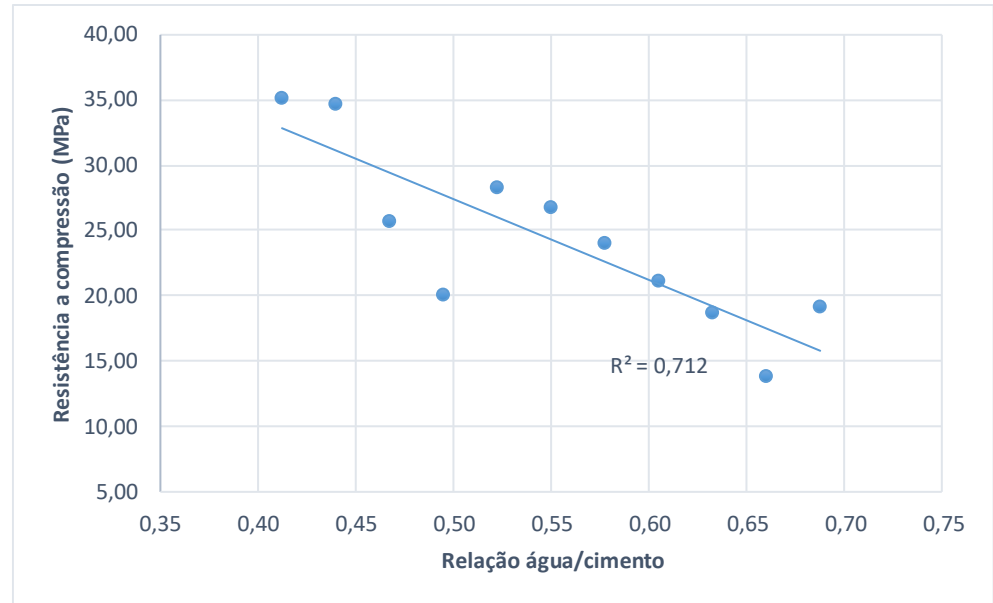


Fonte: O autor (2020)

Analisando o gráfico acima, houve uma certa correlação do aumento do cimento com o também aumento das resistências à compressão dos concretos, sendo que alguns concretos contribuíram para o aumento da dispersão dos resultados, como por exemplo aquele produzido com $m=6,2$.

Nos gráficos 7 e 8, estão apresentadas as correlações entre a relação água/cimento (a/c) e as resistências a compressão axial e a tração por compressão diametral, respectivamente:

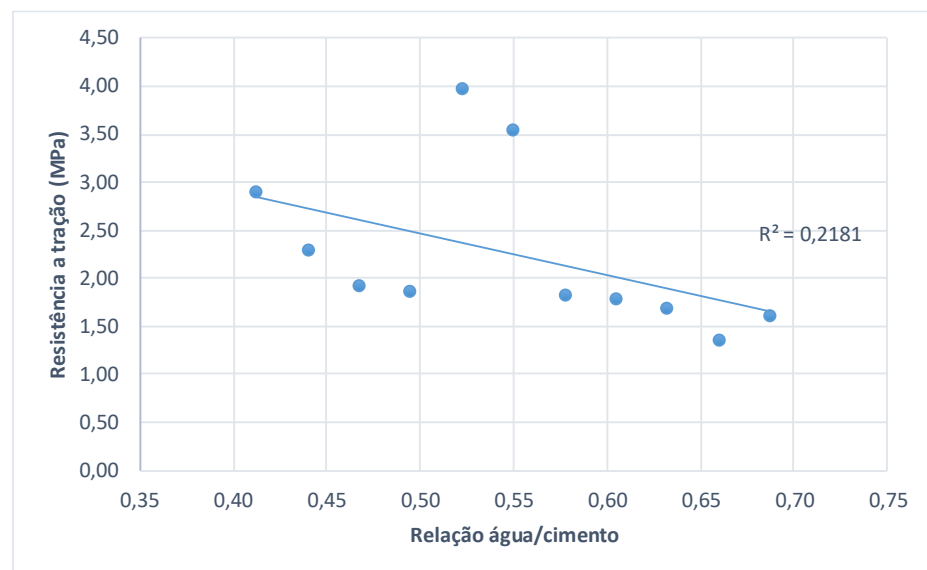
Gráfico 7 - Correlação relação água/cimento versus resistência a compressão



Fonte: O autor (2020)

Do gráfico, observa-se que poucos pontos estão distantes da linha, apresentando uma leve dispersão de resultados. Assim, nota-se que na medida em que a relação água/cimento aumenta, a resistência a compressão tende a diminuir.

Gráfico 8 - Correlação relação água cimento versus resistência a tração

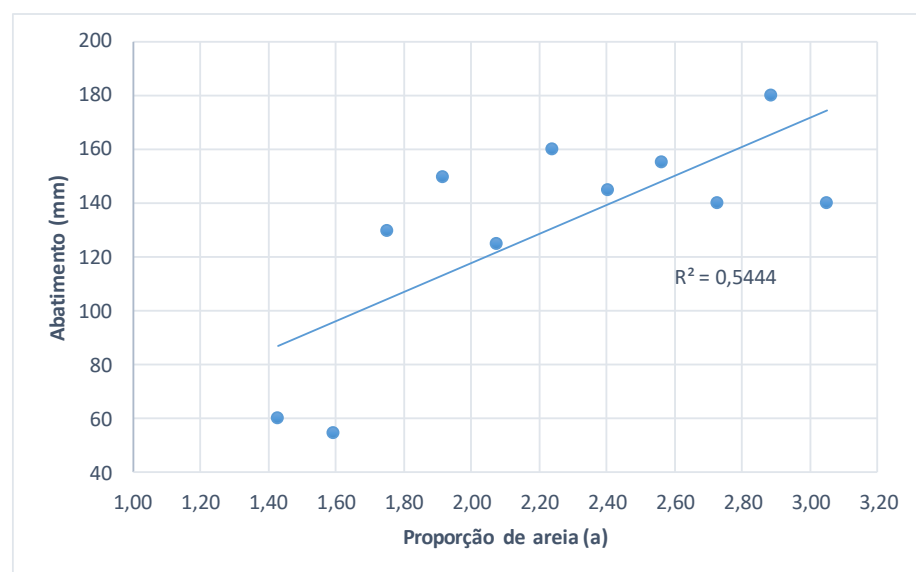


Fonte: O autor (2020)

Graficamente é possível verificar que quando o valor da relação água/cimento aumenta a resistência a tração por compressão diametral tende a diminuir, observando-se que alguns pontos, como $m=4,7$ e $m=5,0$ contribuíram significativamente para a dispersão dos resultados.

Em seguida, mostra-se, respectivamente, os gráficos 9 e 10 os quais tratam da correlação entre o abatimento e a proporção de areia (a) e a proporção de brita (p):

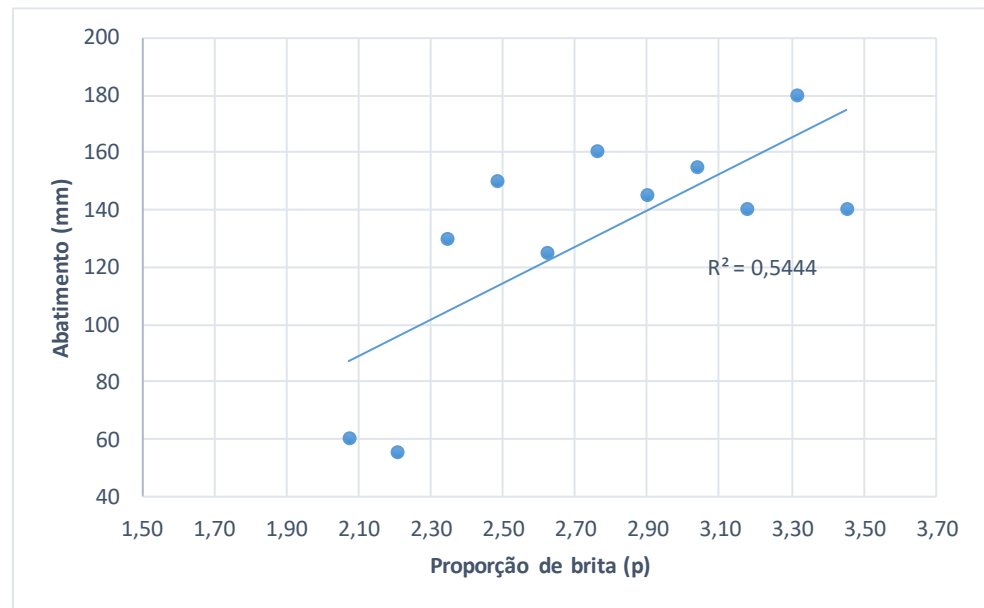
Gráfico 9 - Correlação proporção de areia (a) versus abatimento



Fonte: O autor (2020)

Nota-se, que há uma certa tendência de aumento do abatimento com o aumento da proporção de areia (a). Observa-se que os concretos com menores valores de m (3,5 e 3,8), que também são misturas mais coesas e, portanto, apresentam menores resultados de abatimento.

Gráfico 10 - Correlação proporção de brita (p) versus abatimento

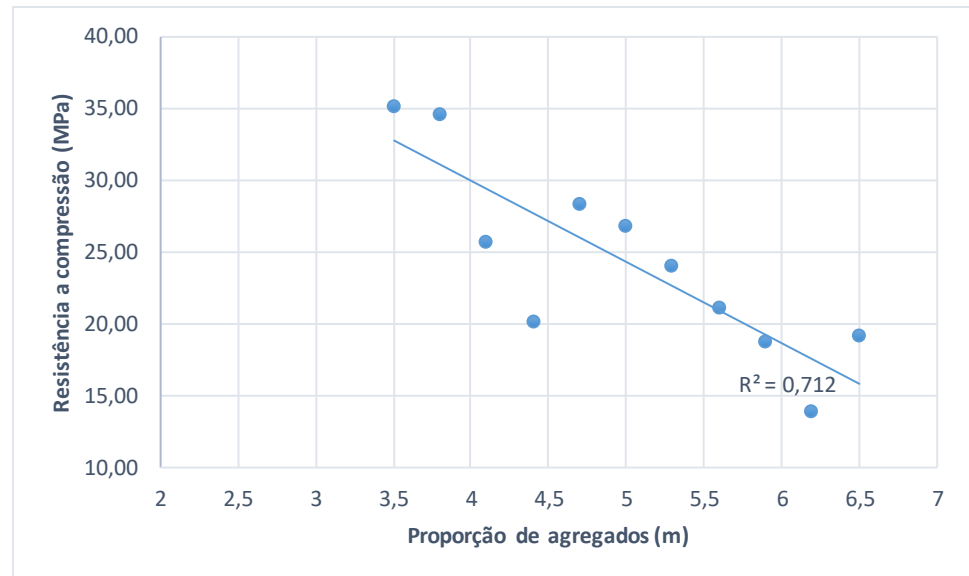


Fonte: O autor (2020)

Pelo gráfico, observa-se que a se aumentar a proporção de brita (p) o abatimento tende a aumentar. Analogamente ao anterior, os concretos com menores valores de m (3,5 e 3,8), que também são misturas mais coesas e, portanto, com menores resultados de abatimento.

Adiante nos gráficos 11 e 12 apresentam-se, respectivamente, as correlações das proporções de agregados (m) versus a resistência à compressão e a resistência à tração por compressão diametral.

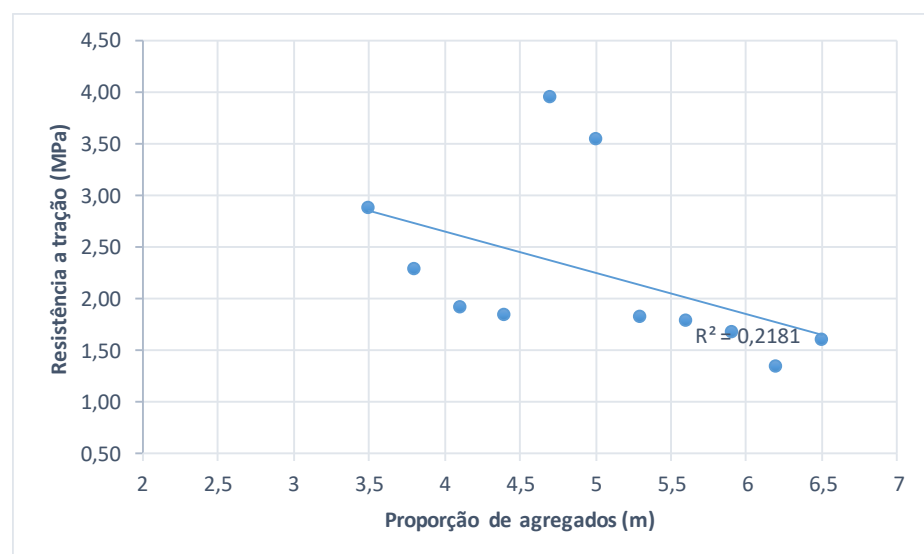
Gráfico 11 - Correlação proporção de agregados (m) versus resistência a compressão



Fonte: O autor (2020)

Pelo gráfico, nota-se que à medida em que a proporção de agregados (m) aumenta a resistência à compressão do concreto tende a diminuir, podendo-se observar que houve uma leve dispersão, tendo o traço com m=4,4 sendo o mais disperso entre eles.

Gráfico 12 - Correlação proporção de agregados (m) versus resistência à tração por compressão diametral



Fonte: O autor (2020)

Graficamente, verifica-se que quando o valor de m aumenta a resistência à tração por compressão diametral tende a baixar, notando-se que alguns pontos, $m=4,7$ e $m=5,0$, contribuíram significativamente para a dispersão dos resultados.

Nesse trabalho apesar de ter sido utilizado o valor de resistência a compressão determinada pelo fabricante de 32 MPa, atualmente em monografias e pesquisas realizadas em concomitância com o presente trabalho, os cimentos comercializados no estado de Sergipe não têm atingido o resultado esperado aos 28 dias.

Segundo Barreto (2016) em análise dos cimentos comercializados na região de Aracaju-SE, concluiu-se que no ensaio de resistência a compressão aos 28 dias de idade obteve-se resultados com diferenças significativas entre estes materiais.

Vilela (2017) observou diferenças nos resultados de resistência à compressão entre cimentos estudados. Ainda, conclui-se que, no geral, os concretos apresentaram propriedades distintas, mesmo mantendo-se os traços e parâmetros iguais, o que pode servir de alerta em relação as características e propriedades diferenciais dos cimentos produzidos e comercializados no estado de Sergipe, como também dos agregados.

Logo, pela análise dos resultados observa-se que possivelmente houve variabilidade dos materiais utilizados nesse trabalho¹ – cimento e agregados – ocasionando uma discrepância nos resultados de abatimento e resistências mecânicas.

¹ Evento também observado em ensaios realizados desde 2013, no Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju pela Prof. Carla Pereira. Ensaio nos quais foram utilizados, basicamente, os mesmos materiais e com as mesmas procedências, onde os concretos produzidos também apresentaram variabilidade devido aos materiais, necessitando de ajustes.

6. CONCLUSÃO

Analisando os resultados percebe-se que, apesar de alguns pontos da variável resistência à compressão terem variabilidade nas correlações, nota-se que o ábaco de dosagem se apresentou em concordância com o encontrado na bibliografia consultada.

Além disso, não houve uma tendência clara da influência das diversas proporções de agregados ensaiadas, no entanto percebeu-se que quanto maior o valor de “m” do traço de concreto, mais fluidos e maiores os abatimentos dos concretos produzidos. Apesar da provável variabilidade dos materiais resultar em discrepâncias nas consistências das misturas, parece haver menos influência nas resistências mecânicas, já que foi clara a tendência de se obter maiores resistências à compressão e a tração por compressão diametral quanto menores os valores de m, o que significa dizer que os traços foram mais resistentes quanto maiores seus consumos de cimento, tendo uma menor dependência com as relações água/cimento dos concretos ajustados.

Logo, fica como sugestão para trabalhos futuros a realização de estudos com outros cimentos e agregados, visando mapear e observar variabilidades e discrepâncias dos insumos comercializados no estado de Sergipe.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2018.

ASSUNÇÃO, J. W. **Curvas de dosagem para concretos convencionas e aditivados confeccionados com materiais da região Noroeste do Paraná.** 254 folhas. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

BARBOSA, I. L. S. **Influência dos agregados graúdos da região de Goiânia no módulo de deformação tangente inicial do concreto.** Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2009.

BARRETO, Ana Gabriela O. **Avaliação da utilização de diferentes aditivos no concreto permeável para permitir mistura e transporte em caminhão betoneira.** Brazilian Journal of Development, v. 5, n. 8, p. 12623-12655. Agosto, 2019.

BARRETO, Paulo. **ANÁLISE DO CIMENTO COMERCIALIZADO EM ARACAJU-SERGIPE.** Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2016.

BOGGIO, Aldo J. **Estudo comparativo de métodos de dosagem de concretos de cimento Portland.** 182 folhas. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

CORRÊA, A. C. A. **Estudo do desempenho dos aditivos plastificantes e polifuncionais em concretos de cimento Portland tipo CPIII-40.** Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2010.

DAFICO, Dario de Araújo. **Contribuição ao estudo da dosagem do concreto de cimento Portland.** 172 folhas. Dissertação (Mestre em Engenharia) - Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 1997.

FERREIRA, Marcelo Silva. **Avaliação das dosagens e resistências à compressão dos concretos produzidos em obras de pequeno porte na cidade de Toledo-PR.** 2016 55 f. Monografia, Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2016.

GUIMARÃES, F. B.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. S. **Curvas de dosagem para concreto convencional produzido com materiais da região de Porto Nacional (TO).** Engineering Sciences, v. 7, n.2, p. 40-52, 2019.

HELENE, P. R. L.; ANDRADE, T. **Concreto de cimento Portland.** In: 52º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, Florianópolis. Santa Catarina: IBRACON, 2010.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. R. **Manual de dosagem e controle do concreto.** Brasília. PINI, 1993.

MENEZES, Ítalo R. Carvalho de. **Avaliação de alguns métodos de dosagem para concretos convencionais quando utilizados os materiais comercializados no**

estado de Sergipe. 62 folhas. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2017.

NASCIMENTO, Maykon W. F. do; JUNIOR, Raneere R. G. **Análise comparativa entre os métodos ABCP e EPUSP/IPT de dosagem de concreto de cimento Portland.** TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 0p. 2017.

NETO, R. G. R. **Estudo de dosagem de concreto para traços intermediários com agregados da região de João Pessoa.** Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2018.

NUNES, A. S. Et al. **Polifuncional ADVA® 140 como aditivo no concreto.** Centro Universitário de Pato de Minas - UNIPAM. Novembro, 2014.

PEREIRA, P. S. M. G. N. **Estudo de dosagem de concreto para traços ricos com agregados da região de João Pessoa.** 54 folhas. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2018.

TORALLES, B. M. Et al. **Estudo comparativo de diferentes métodos de dosagem de concretos convencionais.** Revista de Engenharia e Tecnologia. v. 10, n. 1, páginas 184-198. Abril, 2018.

TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. R. L. **Dosagem dos concretos de cimento Portland.** In: 53º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, Florianópolis. Santa Catarina: IBRACON, 2011.

VILELA, Sara Rafaela de Souza. **Influência do cimento Portland comercializado em Aracaju-Sergipe em concretos convencionais.** 64 páginas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2017.