



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

INGRID LOURRANY BARRETO FREITAS

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA DISPOSITIVOS MÓVEIS
PARA DOSAGEM DE CONCRETO**

MOSSORÓ

2018

INGRID LOURRANY BARRETO FREITAS

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA DISPOSITIVOS MÓVEIS
PARA DOSAGEM DE CONCRETO**

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

Orientador: Eric Mateus Fernandes Bezerra,
Prof. M. Sc.

Co-orientador: Jonathas Iohanathan Felipe de
Oliveira, Prof. M. Sc.

MOSSORÓ

2018

©Todos os direitos estão reservados à 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 nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F862d Freitas, Ingrid Lourrany Barreto.
Desenvolvimento de uma ferramenta para
dispositivos móveis para dosagem de concreto /
Ingrid Lourrany Barreto Freitas. - 2018.
41 f. : il.

Orientador: Eric Mateus Fernandes Bezerra.
Coorientador: Jonathas Iohanathan Felipe de
Oliveira.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2018.

1. Dosagem. 2. Concreto. 3. Aplicativo
Android. 4. Método ABCP. I. Bezerra, Eric Mateus
Fernandes, orient. II. Oliveira, Jonathas
Iohanathan Felipe de, co-orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCCs) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

*Benedita Barreto de Lima e Manuel Ferreira
Filho (In Memoriam).*

*Maria José Barreto de Sousa, Keila Karina Barreto Silva e Francisco Duarte da Silva
(presentes)*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar forças e abençoar em todos os momentos da minha vida.

Agradeço à minha família, por todo o apoio dado ao longo da graduação, especialmente à minha mãe, Maria José; minha tia, Keila Karina; e meu avô, Francisco Duarte; que abriram mão de diversas coisas para que eu pudesse cursar e concluir este curso. Agradeço também a José Carlos, amigo da família, que também ajudou, mesmo que indiretamente, para a realização desse sonho.

Ao meu orientador, Eric Mateus Fernandes Bezerra, por ter aceitado orientar este trabalho e por toda a disponibilidade ao longo da realização do mesmo, de modo que pudéssemos produzir uma ferramenta que auxiliasse outras pessoas. Agradeço por todas as orientações e a amizade que acabou sendo desenvolvida ao longo do curso, da qual levarei ensinamentos para toda a vida.

Ao meu co-orientador, Jonathas Iohanathan Felipe de Oliveira, que auxiliou no desenvolvimento do aplicativo com sugestões de melhorias para o funcionamento do mesmo.

Agradeço também à professora Marília Pereira de Oliveira, por ter compartilhado seu conhecimento sobre dosagem de concreto, auxiliando sempre que havia dúvidas na parte teórica do desenvolvimento do aplicativo.

Aos colegas Paulo Henrique, Fernando Holanda, Jesse Wille e Eduardo Graciliano que compartilharam comigo das dificuldades inerentes ao desenvolvimento de ferramentas, computacionais ou móveis, e contribuíram com sugestões para o aplicativo tema deste trabalho.

E a todos os amigos que fiz ao longo da graduação, sem os quais a jornada teria sido muito mais difícil.

“Tudo é possível ao que crê.”

(Mc 9, 23)

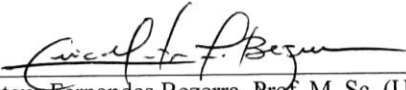
INGRID LOURRANY BARRETO FREITAS

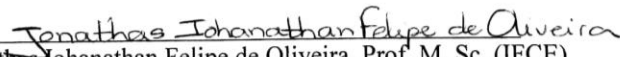
DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA DISPOSITIVOS MÓVEIS
PARA DOSAGEM DE CONCRETO

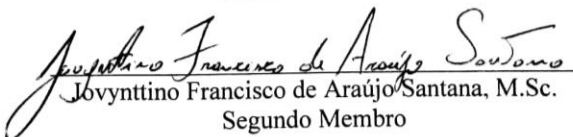
Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

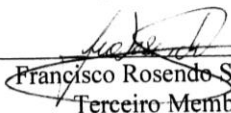
Defendida em: 16 / 03 / 2018.

BANCA EXAMINADORA


Eric Mateus Fernandes Bezerra, Prof. M. Sc. (UFERSA)
Presidente


Jonathan Iohanathan Felipe de Oliveira, Prof. M. Sc. (IFCE)
Primeiro Membro


Jovynttino Francisco de Araújo Santana, M.Sc.
Segundo Membro


Francisco Rosendo Sobrinho
Terceiro Membro

RESUMO

O concreto é um dos materiais mais utilizados para fins estruturais na construção civil. As características desejadas para o concreto no estado fresco e o endurecido dependem da qualidade dos materiais constituintes e das suas proporções dentro da massa de concreto. Para reduzir o tempo gasto na realização da dosagem do concreto e possíveis erros que ocorreriam no cálculo manual, torna-se necessário fazer uso de recursos computacionais. A produção de dispositivos móveis com elevada capacidade de processamento de dados tem possibilitado a implementação de diversas ferramentas que podem utilizadas para auxiliar o engenheiro em suas atividades. Tendo em vista esses aspectos o presente trabalho aborda o desenvolvimento de um aplicativo para dispositivos móveis com sistema operacional *Android* capaz de calcular o traço do concreto de resistência convencional seguindo o método proposto pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), que é um dos mais conhecidos nacionalmente. Para a elaboração do aplicativo fez-se uso do *MIT App Inventor 2*, que se trata de um ambiente virtual de desenvolvimento de aplicativos. Os resultados encontrados pelo aplicativo se mostraram coerentes com os obtidos por meio de resolução manual, demonstrando o potencial de uso da ferramenta desenvolvida, seja como auxílio para profissionais da construção civil ou para estudantes desta área.

Palavras-chave: Dosagem. Concreto. Aplicativo *Android*. Método ABCP.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de diagrama de dosagem.....	17
Figura 2 – Curva de Walz para obtenção da relação a/c.	23
Figura 3 - Curvas de Walz para outros valores de resistência do cimento.....	24
Figura 4 – Tela inicial do aplicativo.....	28
Figura 5 – Tela inicial com valores inseridos pelo usuário e tela de resultados.....	29
Figura 6 – Tela de relatório.	33
Figura 7 - Obtenção da relação a/c com os dados fornecidos.	35
Figura 8 - Obtenção do consumo de água a partir dos dados fornecidos.	35
Figura 9 - Relatório com resultados obtidos pelo aplicativo.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Abatimento recomendado de acordo com o tipo de construção.	18
Tabela 2 – Estimativa do consumo de água e do teor de ar em função do abatimento, dimensão máxima dos agregados e incorporação ou não de ar.	18
Tabela 3 – Relação água/cimento em função da resistência média de dosagem e da incorporação de ar.	19
Tabela 4 – Valores recomendados para a relação a/c quando o concreto está sujeito ao ataque por sulfatos.	19
Tabela 5 – Volume de agregado graúdo seco compactado.	20
Tabela 6 – Estimativa da massa específica do concreto fresco (kg/m ³).	21
Tabela 7 – Consumo de água aproximado.....	24
Tabela 8 – Volume de agregado graúdo compactado por m ³ de concreto	25
Tabela 9 – Valores do desvio padrão de dosagem de acordo com a condição de preparo do concreto.	30
Tabela 10 – Equações para encontrar a relação água/cimento.	31
Tabela 11 - Resultados encontrados pelo cálculo manual e pelo aplicativo.	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	<i>American Concrete Institute</i>
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
DECIM	Departamento de Cimento e Concreto
IBRACON	Instituto Brasileiro de Concreto
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PIB	Produto Interno Bruto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	9
1.2	OBJETIVOS	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	CONCRETO.....	11
2.1.1	Tipos de Concreto.....	11
2.1.2	Propriedades do Concreto	11
2.2	DOSAGEM	15
2.2.1	Método de Dosagem IBRACON.....	16
2.2.2	Método de Dosagem ACI	17
2.2.3	Método de Dosagem ABCP	22
3	METODOLOGIA.....	27
3.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	27
3.2	APRESENTAÇÃO DA FERRAMENTA.....	27
4	APLICAÇÃO NUMÉRICA.....	34
4.1	CÁLCULO MANUAL.....	34
4.2	RESULTADOS DO APLICATIVO	37
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O setor da construção civil tem grande importância para o desenvolvimento econômico e social, pois contribui significativamente com o PIB brasileiro e é responsável por uma considerável parcela dos empregos gerados, afinal a ele estão ligados diversos outros setores da economia, como indústria, comércio e serviços.

Dentro da construção civil um dos materiais mais utilizados é o concreto, estando presente em diferentes etapas de diversos tipos de obras. Para que o concreto utilizado possua as características desejadas nos estados fresco e endurecido é necessário que ele seja dosado adequadamente. A dosagem é o procedimento que determinará a quantidade de cada material na mistura de concreto. Há vários métodos de dosagem existentes, sendo o da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) um dos mais difundidos nacionalmente para a obtenção do traço de concretos de resistência normal.

O engenheiro civil está em constante deslocamento entre o canteiro de obras, o escritório e os fornecedores de produtos e/ou serviços, por exemplo, sendo necessária agilidade por parte dele na execução de todas as suas tarefas.

As ferramentas computacionais mostram-se como uma excelente forma de auxiliar tanto o profissional quanto o estudante de engenharia, considerando a grande quantidade de tarefas que estes precisam executar diariamente, possibilitando que não se perca tempo com processos demasiadamente longos, como é o caso do cálculo do traço para o concreto. Este processo, embora envolva apenas operações matemáticas básicas, exige atenção por ser determinante para que se obtenha um concreto de boa qualidade no que diz respeito principalmente à resistência e à durabilidade.

Devido ao dinamismo inerente às construções, a mobilidade passa a ser um requisito substancial no desenvolvimento de produtos desta área. Em relação a este requisito, o computador não se mostra como a alternativa mais vantajosa.

Nos últimos anos, tem sido crescente a produção e utilização de dispositivos móveis com elevada capacidade de processamento, fato que estimulou o desenvolvimento de aplicativos para auxiliar os profissionais na execução de suas tarefas. Com estes dispositivos, o acesso a informações se tornou bem mais rápido. Assim, a demanda pelo desenvolvimento de ferramentas para dispositivos móveis para auxiliar em atividades específicas tem

aumentado concomitantemente ao aumento do acesso e do poder de processamento das mesmas.

Muitas vezes, a necessidade de conhecimento prévio em uma linguagem de programação limita os aspirantes a programadores e, por conseguinte, o desenvolvimento de aplicativos. Entretanto, o *MIT App Inventor 2*, que é uma plataforma virtual de desenvolvimento de aplicativos para dispositivos móveis que utilizem o sistema *Android*, possibilita a criação de aplicativos sem que o desenvolvedor domine uma linguagem de programação. Neste, a programação é estruturada em blocos, como se montassem um quebra-cabeças, não sendo necessário escrever linhas de código. Além disso, conta com uma interface bastante intuitiva, com informações detalhadas sobre o que cada componente faz, além de uma organização utilizando cores que variam de acordo com as funções dos blocos.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo desenvolver um aplicativo para dispositivos móveis com sistema operacional *Android* que realize a dosagem do concreto através do método proposto pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Para alcançar este objetivo são necessários os seguintes objetivos específicos:

- Compreender os aspectos relacionados à dosagem do concreto, especificamente no que diz respeito ao método de cálculo de traço proposto pela ABCP;
- Familiarizar-se com o *MIT App Inventor 2*;
- Estruturar de maneira lógica o problema;
- Desenvolver uma interface funcional e intuitiva;
- Realizar análise comparativa dos resultados obtidos pelo aplicativo e resultados do cálculo manual.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCRETO

O concreto é o material mais utilizado na construção civil – estando presente em vários tipos de obras (PEDROSO, 2009). Segundo Mehta e Monteiro (2008), há pelo menos três motivos para o concreto ser tão usado nas construções: capacidade de resistir à água sem que ocorram altos níveis de deterioração; facilidade para obtenção de variadas formas e tamanhos, devido à consistência plástica que este apresenta no estado fresco; baixo custo e rapidez na sua produção.

2.1.1 Tipos de Concreto

Para Mehta e Monteiro (2008), o concreto pode ser classificado nos seguintes tipos de acordo com a sua resistência à compressão:

- Concreto de baixa resistência: $f_{ck} < 20$ MPa;
- Concreto de resistência moderada: f_{ck} entre 20 e 40 MPa;
- Concreto de alta resistência: f_{ck} superior a 40 MPa.

Conforme a NBR 8953 (ABNT, 2015), de acordo com a massa específica o concreto pode ser classificado em concreto normal, leve ou pesado ou denso:

- Concreto normal: massa específica entre 2000 e 2800 kg/m³;
- Concreto leve: massa específica menor que 2000 kg/m³;
- Concreto pesado ou denso: massa específica maior que 2800 kg/m³.

2.1.2 Propriedades do Concreto

As características do concreto costumam ser divididas em duas partes, de acordo com o estado do concreto, que pode ser fresco ou endurecido.

2.1.2.1 Estado fresco

O estado fresco do concreto é aquele em que ainda não ocorreu a solidificação da mistura, sendo formado pelos agregados, envoltos na pasta de cimento e espaços preenchidos com ar (BAUER, 2011). De acordo com Carvalho e Filho (2016), as principais propriedades do concreto no estado fresco são: consistência, homogeneidade e trabalhabilidade.

- **Consistência**

A consistência está relacionada com a capacidade do concreto sofrer deformação devido às etapas de transporte, adensamento e lançamento. A consistência depende do teor de água/mistura seca, ou seja, da quantidade de água em relação à quantidade de aglomerante e de agregados; da granulometria e forma dos agregados, pois quanto menor a superfície específica e mais arredondado for o agregado, mais plástico será o concreto; do uso de aditivos e da temperatura do ambiente, que influenciarão na quantidade de água necessária para atingir determinada consistência.

- **Homogeneidade**

Depende principalmente da distribuição do agregado graúdo na mistura, quanto mais uniforme esta for, mais homogêneo será o concreto e, portanto, maior a sua qualidade final.

- **Trabalhabilidade**

A trabalhabilidade não é um conceito de fácil definição, já que não é uma propriedade independente, pois além de possuir ligação com as outras propriedades do estado fresco – dependendo tanto da consistência quanto da homogeneidade da mistura – também depende da finalidade desejada para o concreto e da forma como este é manipulado nas etapas de lançamento e adensamento. Assim sendo, pode-se considerar que os fatores que influenciam na consistência, também influenciarão na trabalhabilidade.

O concreto é dito trabalhável quando possui a consistência ideal para a utilização que será feita dele, levando em conta a maneira como será transportado, adensado e lançado (ARAUJO; RODRIGUES; FREITAS, 2000).

Quando a trabalhabilidade não é adequada pode haver consequências sobre o custo e a durabilidade do concreto, já que a possibilidade de ocorrer segregação será maior, o que reduz a sua qualidade e leva à necessidade de maiores acabamentos. É importante compreender que quando se fala em trabalhabilidade adequada do concreto, não se trata de uma propriedade fixada a um determinado valor, mas que deve ser analisada e testada de acordo com a finalidade para a qual o concreto será produzido. Por exemplo, um elemento estrutural com alta taxa de armadura requer um concreto com trabalhabilidade diferente da necessária para outro que tem taxa de armadura inferior ou que não é armado (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

É importante ressaltar ainda que a trabalhabilidade é uma propriedade do estado fresco que afetará em propriedades do concreto no estado endurecido, como a resistência e a durabilidade.

2.1.2.2 Estado endurecido

Após a pega – endurecimento da massa de concreto – tem-se o chamado estado endurecido, do qual pode-se citar as seguintes propriedades desejáveis: resistência à compressão, resistência à abrasão, resistência ao fogo, durabilidade e impermeabilidade (BAUER, 2011).

- **Resistência à compressão**

Como afirmam Carvalho e Filho (2016), a resistência à compressão do concreto é uma das suas propriedades mais importantes no estado endurecido, pois a partir dela outras propriedades podem ser mensuradas – como é o caso da resistência à tração que corresponde a cerca de 10% da resistência à compressão – ou melhoradas – como será visto na posterior explanação das demais propriedades.

Para obter a resistência à compressão do concreto são realizados ensaios com corpos de prova cilíndricos, moldados de acordo com as prescrições da NBR 5738 (ABNT, 2015), sempre com altura igual ao dobro do diâmetro – sendo comum usar corpos de prova com 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura ou 15 cm de diâmetro por 30 cm de altura –, e rompidos seguindo as orientações da NBR 5739 (ABNT, 2007).

A partir do ensaio de compressão axial, pode ser obtida a resistência à compressão, f_c , para cada corpo de prova, conforme equação disponível na NBR 5739 (ABNT, 2007):

$$f_c = \frac{4F}{\pi D^2} \quad (1)$$

em que:

f_c é a resistência à compressão, em MPa;

F é a força máxima suportada pelo corpo de prova, em N;

D é o diâmetro do corpo de prova, em mm.

Com os valores encontrados pela Equação 1, poderia ser obtida a resistência à compressão do concreto utilizado fazendo-se a média aritmética dos resultados, de forma a encontrar a resistência média à compressão, f_{cm} . Porém, esse valor não seria representativo, porque estaria sendo desconsiderada a variação entre os resultados do ensaio. Para solucionar este problema, calcula-se a resistência característica do concreto à compressão, f_{ck} , a partir da variação dos resultados e da resistência média, como mostrado na Equação 2, e que corresponde ao valor de resistência para o qual 95% dos resultados do ensaio de compressão axial se mostram superiores (CARVALHO; FILHO, 2016). Assim,

$$f_{ck} = f_{cm} \cdot (1 - 1,645 \cdot \delta) \quad (2)$$

em que:

f_{cm} é a resistência média à compressão;

δ é o coeficiente de variação.

Por sua vez, o coeficiente de variação, δ , é dado por:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)^2} \quad (3)$$

- **Resistência à abrasão**

Para concretos das classes de resistência C20 a C40, pode-se dizer que com o aumento da resistência à compressão ocorre o aumento da resistência à abrasão e para valores de resistência à compressão menores que 20 MPa, a probabilidade de ocorrer desgaste é maior.

- **Resistência ao fogo**

Quando sujeita às situações de incêndio em que a máxima temperatura atingida é de 300° C, a estrutura sofre danos mínimos, já que a constituição química do concreto não se

altera, suas propriedades mecânicas sofrem uma pequena redução e o aço (no caso de concreto armado) não sofre perda de resistência. Para temperaturas mais elevadas cada um dos componentes começa a sofrer alterações que podem ser bastante prejudiciais à estrutura.

- **Durabilidade**

Conforme afirma a NBR 6118 (ABNT, 2014), a durabilidade é a “capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto”, ou seja, a durabilidade de uma estrutura está diretamente ligada às condições ambientais e aos agentes agressivos aos quais ela estará exposta. Os agentes agressivos mais comuns, segundo Bauer (2011), são os mecânicos, físicos, físico-químicos, ecológicos e químicos, intrínsecos e biológicos.

Entretanto, em geral, quando a estrutura está sujeita a condições normais de exposição, ou seja, quando o risco de deterioração devido a ação de agentes agressivos é pequeno, e garante-se a resistência do concreto, considera-se que a durabilidade também será garantida (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

- **Impermeabilidade**

Sabe-se que o concreto é um material naturalmente poroso e, portanto, permeável. O controle da permeabilidade pode ser feito através de cuidados na dosagem e produção do concreto, de forma a reduzir a quantidade de vazios presentes, tornando-o mais impermeável, menos sujeito à ação agentes agressivos, e, portanto, mais durável. Além disso, observou-se em concretos convencionais que o aumento da resistência à compressão correspondia ao aumento da impermeabilidade (BAUER, 2011).

2.2 DOSAGEM

A dosagem é o processo através do qual é possível encontrar a quantidade, em massa ou volume, de cada material – cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, água, aditivos e/ou adições, quando for o caso – que irá compor o concreto. À proporção resultante desse processo dá-se o nome de traço.

Para que as propriedades do concreto tanto no estado fresco quanto no estado endurecido sejam atingidas é necessário que haja uma dosagem adequada dos materiais, mas como não há no Brasil um consenso sobre o método de dosagem padrão, alguns autores e instituições vêm desenvolvendo, ao longo dos anos, diferentes métodos de dosagem (HELENE; TUTIKIAN, 2011).

2.2.1 Método de Dosagem IBRACON

Proposto inicialmente por Eládio Petrucci em 1965, contou com contribuições dos pesquisadores do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). O método tem por objetivo produzir um concreto capaz de atender aos requisitos de projeto, econômicos, ambientais e de produtividade e considera que a relação água/cimento é o parâmetro de maior importância na dosagem.

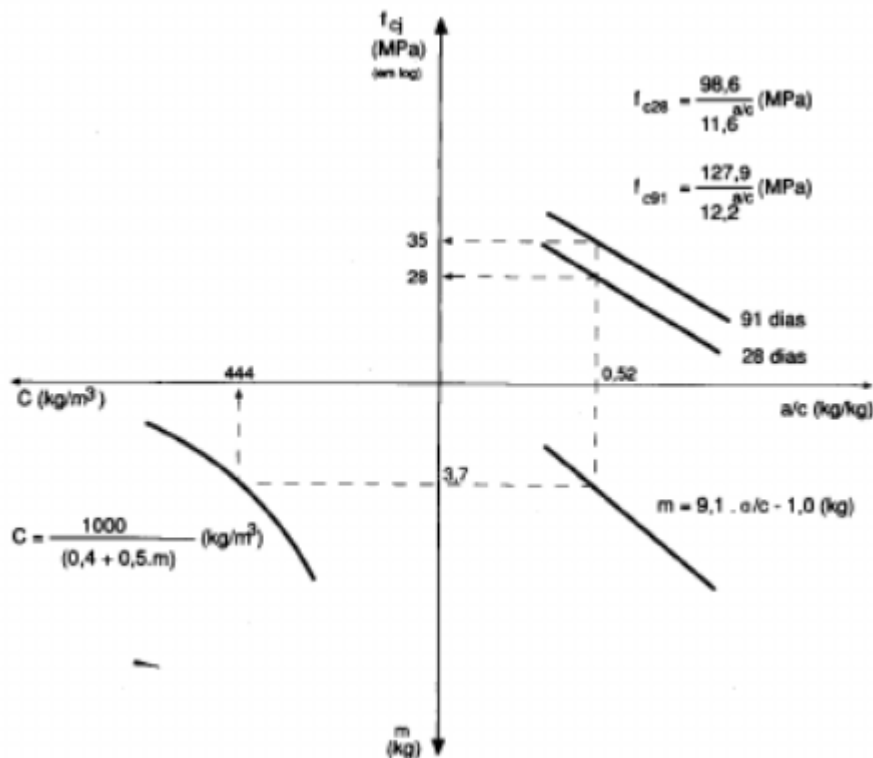
Há alguns valores que limitam a utilização deste método, conforme Helene e Tutikian (2011):

- Resistência à compressão entre 5 e 150 MPa;
- Relação a/c entre 0,15 e 1,50;
- Abatimento entre 0 mm e o valor permitido para concreto autoadensável;
- Dimensão máxima dos agregados entre 4,8 e 100 mm;
- Qualquer módulo de finura e distribuição granulométrica dos agregados.

A dosagem por esse método busca atender ao abatimento requerido de forma que a proporção entre os agregados utilizados seja a que necessita do menor consumo de água possível, e, portanto, a que gerará o maior valor de resistência à compressão.

O método é do tipo teórico-experimental e não exige que sejam conhecidas as propriedades dos materiais constituintes do concreto. Porém, é necessário um trabalho experimental anterior – que poderá ser longo, dependendo da experiência de quem está realizando os ensaios – testando traços até que sejam obtidos 3 – um intermediário, um rico e outro pobre em cimento – que atendam ao abatimento requerido. Com esses traços serão moldados e rompidos corpos de provas cilíndricos que terão seus resultados aplicados a algumas leis de comportamento do concreto (como Lei de Lyse, Lei de Abrams, Modelo de Powers e Lei de Prizskulnik & Kirilos) para que seja montado o Diagrama de Dosagem, como o exemplificado na Figura 1, a partir do qual será obtido o traço final.

Figura 1 – Exemplo de diagrama de dosagem.



Fonte: Helene; Terzian (1992).

2.2.2 Método de Dosagem ACI

O método de dosagem proposto pelo American Concrete Institute (ACI) através do documento *ACI 211.1-91: Standard practice for selecting proportions for normal heavyweight and mass concrete* publicado em manual elaborado pelo instituto supracitado é aceito nos Estados Unidos e em alguns outros países e composto de 9 passos.

A dosagem pode ser feita seguindo o método do peso ou o método do volume absoluto. O primeiro destes é considerado menos preciso em relação ao segundo e não precisa que seja informada inicialmente a massa específica dos materiais. Os 6 primeiros passos são iguais para ambos os métodos, somente a partir do sétimo o procedimento de dosagem mudará a depender do método escolhido.

1º Passo: Escolha do abatimento (mm)

Caso o abatimento não tenha sido informado previamente, ele pode ser escolhido em função do tipo de construção, conforme Tabela 1, podendo o abatimento máximo ser aumentado em 25 mm caso o adensamento não seja feito através de vibração.

Tabela 1 – Abatimento recomendado de acordo com o tipo de construção.

Tipos de construção	Abatimento (mm)	
	Máximo	Mínimo
Paredes de fundações armadas e sapatas	75	25
Sapatas não armadas, caixões e paredes de vedação	75	25
Vigas e paredes armadas	100	25
Pilares de edifício	100	25
Pavimentos e lajes	75	25
Concreto massa	50	25

Fonte: Mehta; Monteiro (2008).

2º Passo: Escolha da dimensão máxima característica do agregado (mm)

Fica a critério do profissional. A ACI recomenda que a dimensão máxima do agregado não seja maior que 1/5 da distância entre as faces da forma, 1/3 da altura da laje ou 3/4 do menor espaço livre entre armaduras.

3º Passo: Estimativa do consumo da água de amassamento (kg/m³) e do teor de ar (%)

A obtenção desses dois valores é feita seguindo a Tabela 2, na qual a partir do abatimento (passo 1), da dimensão máxima do agregado (passo 2) e da presença ou não de ar incorporado no concreto, fornece a quantidade de água em quilogramas para produzir 1 m³ de concreto (kg/m³) e a porcentagem de ar presente, seja incorporado (para o caso de concretos em que se incorpora ar à mistura) ou aprisionado (para o caso de concreto sem ar incorporado).

Tabela 2 – Estimativa do consumo de água e do teor de ar em função do abatimento, dimensão máxima dos agregados e incorporação ou não de ar.

Abatimento (mm) / Dimensão máxima (mm)		9,5	12,5	19,0	25,0	37,5	50,0	75,0	150,0
Concreto sem ar incorporado	25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
	75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
	150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	-
	Quantidade aproximada de ar aprisionado no concreto sem ar incorporado, %	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Concreto com ar incorporado	25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
	75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
	150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	-
	Médias recomendadas do teor total de ar, %, por nível de exposição:								
	Exposição amena	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0

Exposição moderada	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5	3,0
Exposição severa	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0

Fonte: Mehta; Monteiro (2008).

4º Passo: Obtenção da relação água/cimento (a/c)

A relação água/cimento é obtida a partir da Tabela 3 usando a resistência média de dosagem, f_{cm} , calculada pela Equação 4 a partir do f_{ck} e do desvio padrão de dosagem, S_d . Caso o valor de f_{cm} não seja exatamente igual aos valores da tabela, deve ser feita a interpolação.

$$f_{cm} = f_{ck} + 1,65 \cdot s_d \quad (4)$$

Tabela 3 – Relação água/cimento em função da resistência média de dosagem e da incorporação de ar.

Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	Relação água/cimento, em massa	
	Concreto sem ar incorporado	Concreto com ar incorporado
40	0,42	-
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,6
15	0,79	0,7

Fonte: Mehta; Monteiro (2008).

Para o caso do concreto que venha a estar exposto ao ataque por sulfatos, deve-se estimar a relação a/c a partir da

Tabela 4.

Tabela 4 – Valores recomendados para a relação a/c quando o concreto está sujeito ao ataque por sulfatos.

Exposição	Sulfato (SO ₄) hidrossolúvel no solo, em %	Sulfato (SO ₄) em água, ppm	Cimento	Relação água/cimento máxima
Fraca	0,00 - 0,10	0 - 150	-	-
Moderada	0,10 - 0,20	150 - 1.500	Tipo II, IP (MS), IP (MS)	0,50
Severa	0,20 - 2,00	1.500 - 10.000	Tipo V	0,45

Muito severa	Acima de 2,00	Mais de 10.000	Tipo V + pozolana e/ou escória	0,45
--------------	---------------	----------------	--------------------------------------	------

Fonte: Mehta; Monteiro (2008).

5º Passo: Estimativa do consumo de cimento (kg)

Obtido pela divisão do consumo de água (3º passo) pela relação a/c (4º passo).

6º Passo: Estimativa do consumo de agregado graúdo (kg)

A partir do módulo de finura da areia e da dimensão máxima adotada para a brita, obtém-se o volume de agregado graúdo seco compactado, em m³, para produzir 1 m³ de concreto, conforme Tabela 5. Multiplicando-se este valor pela massa unitária da brita no estado seco compactado encontra-se a massa de brita necessária para produzir 1 m³ de concreto.

Tabela 5 – Volume de agregado graúdo seco compactado.

Dimensão máxima dos agregados (mm)	MF = 2,40	MF = 2,60	MF = 2,80	MF = 3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19,0	0,66	0,64	0,62	0,60
25,0	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50,0	0,78	0,76	0,74	0,72
75,0	0,82	0,80	0,78	0,76
150,0	0,87	0,85	0,83	0,81

Fonte: Mehta; Monteiro (2008).

7º Passo: Estimativa do consumo de agregado miúdo

A quantidade de agregado miúdo a ser utilizada para produzir o concreto pode ser feita seguindo o método do peso ou o método do volume absoluto, como explicado a seguir.

- **Método do peso:**

- Caso a massa específica do concreto seja conhecida: a massa de agregado miúdo será obtida pela diferença entre a massa específica do concreto e o peso total dos demais componentes (cimento, brita e água). Caso seja feita análise dimensional, será verificado que as unidades batem porque o peso da cada um dos componentes corresponde à massa de cada um deles para produzir 1 m³ de

concreto, saindo como resultado a massa de areia necessária para produzir 1 m³ de concreto.

- Quando a massa específica do concreto não for conhecida ou a sua estimativa não for confiável, pode-se usar a
- Tabela 6:

Tabela 6 – Estimativa da massa específica do concreto fresco (kg/m³).

Dimensão máxima dos agregados (mm)	Concreto sem ar incorporado	Concreto com ar incorporado
9,5	2280	2200
12,5	2310	2230
19,0	2345	2275
25,0	2380	2290
37,5	2410	2350
50,0	2445	2345
75,0	2490	2405
150,0	2530	2435

Fonte: Mehta; Monteiro (2008).

- **Método do volume absoluto:** Obtém-se primeiro o volume de agregado miúdo, subtraindo de uma unidade de volume de concreto o volume ocupado pela água, cimento e brita. Para converter o volume de agregado miúdo em massa, basta multiplicar o resultado pela massa específica da areia.

8º Passo: Ajustes da umidade do agregado

Todos os passos anteriores consideram que os agregados estão secos, então se eles estiverem úmidos deve ser feita uma correção na relação a/c, caso contrário estará se obtendo uma relação a/c maior que a necessária e vários outros valores obtidos em outros passos anteriores também seriam diferentes dos reais.

9º Passo: Ajustes na mistura experimental

É necessário testar experimentalmente em laboratório, o traço obtido, já que são feitas diversas considerações ao longo do processo de dosagem e realizar os ajustes que forem necessários.

Todas as tabelas desse método expostas anteriormente tiveram suas unidades convertidas para as comumente utilizadas no Brasil, conforme adaptação feita por Mehta e

Monteiro (2008). Por exemplo, os valores em polegadas (in) foram convertidos para milímetros (mm).

2.2.3 Método de Dosagem ABCP

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) publicou em 1984 o estudo intitulado “Parâmetros de Dosagem Racional do Concreto” elaborado pelo engenheiro Públio Penna Firme Rodrigues a partir da moldagem de cerca de 150 traços de concreto. Neste estudo é divulgado um novo método de dosagem, que consiste em uma adaptação do método proposto pelo ACI para a realidade nacional. O método é recomendado para concreto convencionais moldados in loco, cujos agregados se adequem às exigências da NBR 7211 (ABNT, 2009) (RODRIGUES, 1984).

O método pode ser dividido em 3 etapas: caracterização dos materiais constituintes do concreto, características do concreto nos estados fresco e endurecido e dosagem. Na etapa de caracterização dos materiais devem ser feitos ensaios com os materiais que serão utilizados para a produção do concreto para que se conheça os valores de:

- resistência do cimento à compressão aos 28 dias;
- dimensão máxima e a massa unitária do agregado graúdo;
- módulo de finura do agregado miúdo;
- massa específica do cimento e dos agregados (miúdo e graúdo).

Na segunda etapa devem ser fornecidos o valor desejado para o abatimento – que é uma forma de avaliar consistência e trabalhabilidade, propriedades do estado fresco – e a resistência característica necessária, f_{ck} – propriedade referente ao estado endurecido.

De posse das informações sobre as propriedades dos materiais e do concreto pode ser realizada a etapa de dosagem, que pode ser dividida em 5 subetapas, como mostrado a seguir:

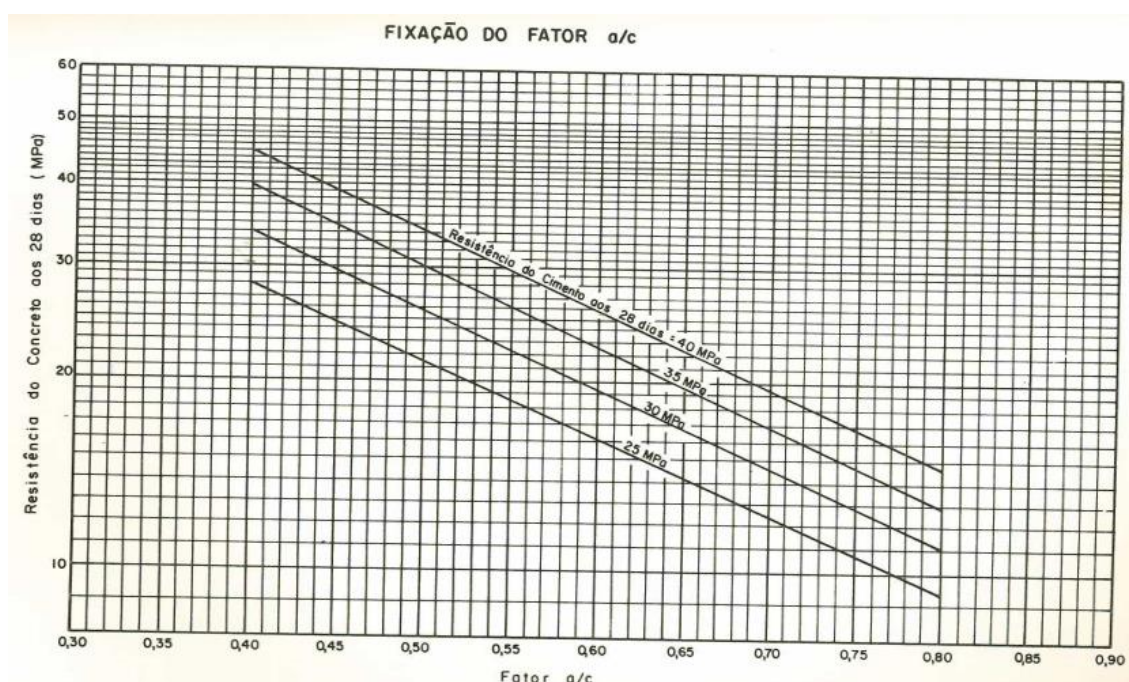
1) Determinação da relação água/cimento, a/c

Para determinação a relação água/cimento deve-se levar em consideração as condições de exposição (aspectos relacionados à durabilidade) e a resistência à compressão desejada para o concreto.

Para encontrar o fator a/c em função da resistência do concreto à compressão aos 28 dias é preciso conhecer o valor da resistência à compressão do cimento aos 28 dias para que se saiba qual curva do cimento deverá ser escolhida dentre as disponíveis nos gráficos chamados de Curvas de Walz.

A Curva de Walz é uma forma aproximada de determinar a relação a/c , utilizada quando não é possível determinar a relação a/c através da Curva de Abrams, que embora seja uma forma mais precisa de encontrar a/c , precisa ser obtida para os materiais que serão utilizados na produção do concreto, conforme explica Boggio (2000), o que exigiria um longo trabalho experimental. O estudo desenvolvido pela ABCP disponibiliza um gráfico com as curvas de Walz para alguns valores de resistência do cimento, como mostrado na Figura 2.

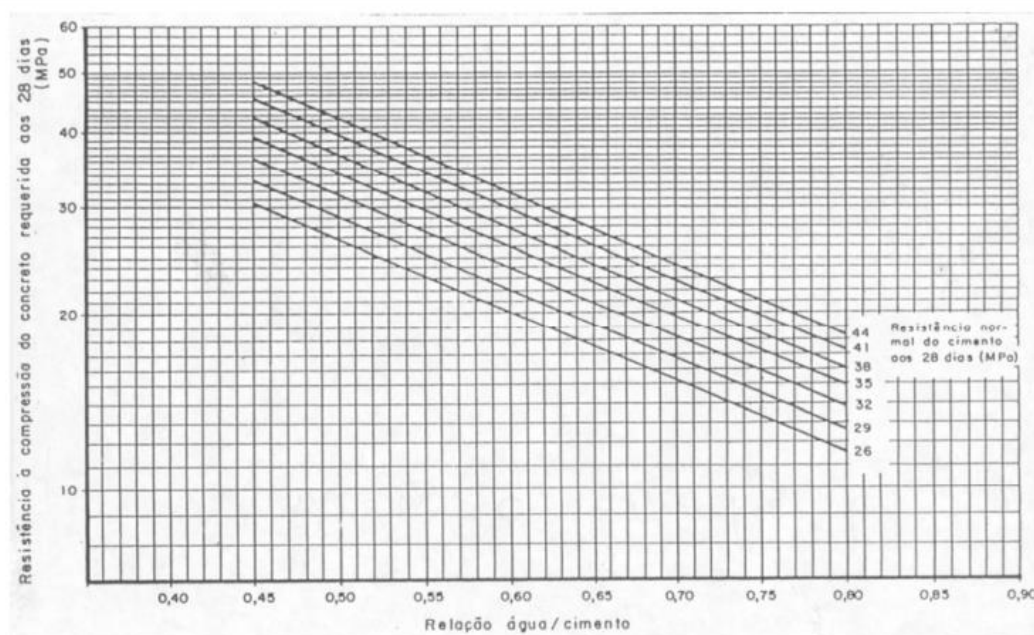
Figura 2 – Curva de Walz para obtenção da relação a/c .



Fonte: Rodrigues (1984).

Posteriormente, em 1989, o Departamento de Cimento e Concreto (DECIM) da ABCP realizou um estudo, publicado por Bucher em 1989 no qual são mostradas curvas de Walz para mais alguns valores de resistência do cimento (Figura 3), como a de 32 MPa que não está presente no estudo de 1984.

Figura 3 - Curvas de Walz para outros valores de resistência do cimento.



Fonte: Bucher, 1989, apud Boggio, 2000.

Caso haja restrição do valor máximo para a/c de acordo com as condições de durabilidade, então, deve-se adotar o menor valor entre o limite imposto pelas condições de exposição e o encontrado levando em consideração a resistência do concreto à compressão.

2) Determinação do consumo de água, C_w

O consumo de água, C_w , é determinado em função da dimensão máxima do agregado graúdo e do abatimento do tronco de cone utilizando a

Tabela 7. Ressalta-se que a tabela é uma aproximação válida para concretos produzidos com agregados graúdos britados e areia natural.

Tabela 7 – Consumo de água aproximado

ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE (mm)	DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAÚDO (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: Boggio (2000).

3) Cálculo do consumo de cimento, C_c

O consumo de cimento para 1 m³ de concreto é obtido através da Equação 5, dividindo-se o consumo de água pela relação água/cimento, determinados nas subetapas 2 e 1, respectivamente.

$$C_c = \frac{C_w}{a/c} \quad (5)$$

4) Determinação do consumo de agregado graúdo, C_b

Para determinar o consumo de agregado graúdo, primeiro encontra-se o volume de agregado graúdo compactado a seco (volume aparente) para 1 m³ de concreto a partir da dimensão máxima do agregado graúdo e do módulo de finura do agregado miúdo, conforme Tabela 8.

Tabela 8 – Volume de agregado graúdo compactado por m³ de concreto

MF/Dmáx (mm)	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Boggio (2000).

Após encontrado o volume de agregado graúdo, V_b , basta multiplicá-lo pela massa unitária do agregado graúdo compactado a seco, δ_b , e obtém-se o consumo de brita, C_b , para 1 m³ de concreto.

$$C_b = V_b \cdot \delta_b \quad (6)$$

5) Cálculo do consumo de agregado miúdo, C_a

A partir das 4 subetapas anteriores já foram encontrados os consumos de água, cimento e brita necessários para produzir 1 m³ de concreto, faltando apenas obter o consumo de areia, C_a . Então, para calculá-lo, basta subtrair de 1 m³ de concreto o volume dos materiais já calculados, como mostrado nas Equações 7, 8 e 9.

$$C_a = \rho_a \cdot V_a \quad (7)$$

$$V_a = 1 - \left(\frac{C_c}{\rho_c} + \frac{C_b}{\rho_b} + \frac{C_w}{\rho_w} \right) \quad (8)$$

$$C_a = \rho_a \cdot \left[1 - \left(\frac{C_c}{\rho_c} + \frac{C_b}{\rho_b} + \frac{C_w}{\rho_w} \right) \right] \quad (9)$$

Em que ρ_a , ρ_c e ρ_b , são as massas específicas da areia (agregado miúdo), do cimento e da brita (agregado graúdo), respectivamente, e V_a é o volume de areia.

3 METODOLOGIA

3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Para o desenvolvimento da ferramenta tema deste trabalho escolheu-se o *MIT App Inventor 2*, um ambiente online¹ e gratuito de desenvolvimento de aplicativos para dispositivos móveis com sistema *Android*². Diferente de outros ambientes de desenvolvimento, como o *Android Studio*, o *MIT App Inventor 2* não exige a instalação de um compilador, pois o aplicativo criado é compilado no próprio site; além disso pode-se mencionar outras vantagens:

- Disponível em 12 idiomas diferentes, entre eles o português, tornando o ambiente acessível a pessoas que não dominam outra língua;
- Não exige que o desenvolvedor tenha domínio de uma linguagem de programação já que a programação não é feita através de linhas de código, mas de maneira visual através de blocos que se conectam, semelhante a peças de um quebra-cabeça;
- Organização dos blocos em cores de acordo com o tipo de função deles, por exemplo, blocos relacionado com texto tem cor diferente dos blocos de operações matemáticas;
- Possibilita que o aplicativo seja testado enquanto está sendo criado, seja por meio de um emulador, do aplicativo *MIT AI2 Companion* ou conectando o celular ao computador usando cabo USB.

O aplicativo desenvolvido neste trabalho, chamado de *fcCalc*, tem como objetivo calcular o traço do concreto seguindo o método proposto pela ABCP.

3.2 APRESENTAÇÃO DA FERRAMENTA

Ao abrir o aplicativo é mostrada a tela inicial na qual o usuário deve inserir as propriedades de cada um dos materiais, como mostrado na Figura 4.

¹ O MIT App Inventor 2 pode ser acessado através do site ai2.appinventor.mit.edu/.

² Atualmente está em desenvolvimento uma versão que possibilitará desenvolver aplicativos também para dispositivos com sistema iOS.

Figura 4 – Tela inicial do aplicativo.

Fonte: Autoria própria (2018).

A tela inicial possui 3 botões: um botão de informação no canto superior direito da tela, um botão de ajuda com valores para o módulo de finura da areia de acordo com a granulometria e o botão “Calcular”.

Também são mostrados valores de sugestão em uma cor mais clara dentro das caixas de texto destinadas à inserção das propriedades de cada material, caso o usuário não saiba o valor de alguma propriedade poderá utilizar o valor sugerido. Esses valores foram retirados do trabalho de Silva (2016).

Ainda na tela inicial, caso o usuário pressione o botão “Calcular” sem ter preenchido todos os campos, aparecerá a mensagem “Preencha todos os campos, por favor!”. Além disso, caso ele informe um valor de massa unitária da areia maior que o da massa específica para este material, aparecerá a seguinte mensagem “A massa específica da areia deve ser maior que a massa unitária”. O mesmo ocorrerá se a massa unitária informada para a brita for maior que a massa específica para esse material, aparecendo a mensagem “A massa específica da brita deve ser maior que a massa unitária”. Em ambas as situações o usuário deve rever os valores inseridos para que o aplicativo possa efetuar o cálculo, caso contrário o traço não será calculado, não sendo exibida a tela de resultados.

Como o método de dosagem utilizado é aplicado apenas para concreto convencional – com resistência característica à compressão de até 40 MPa –, caso o usuário digite um valor de f_{ck} superior a 40 MPa aparecerá a mensagem “Para $f_{ck} > 40$ MPa o concreto é considerado de alta resistência e o traço não pode ser encontrado pelo método utilizado por este aplicativo, sendo necessário buscar um método de dosagem específico para concreto de alta resistência”.

Quando o usuário insere todos os valores e pressiona o botão calcular, o aplicativo efetua alguns cálculos – conforme o passo a passo do método explicado no item 2.2.3 deste trabalho, para que seja mostrado o traço em massa e em volume – e é exibida a tela de resultados, como mostra a Figura 5.

Figura 5 – Tela inicial com valores inseridos pelo usuário e tela de resultados.

The figure displays four sequential screenshots of the 'fccCalc' mobile application interface, which is used for concrete dosage calculations.

- First Screenshot (Initial Screen):** Shows the app's main menu with input fields for 'CIMENTO' (Massa específica: 3000 kg/m³, Resistência aos 28 dias: 32 MPa), 'AREIA' (Módulo de finura: 2.52, Massa específica: 2540 kg/m³, Massa unitária: 1250 kg/m³), 'BRITA' (Dimensão máxima: 19.0 mm, Massa específica: 2740 kg/m³, Massa unitária: 1480 kg/m³), and 'CONCRETO' (f_{ck}: 25 MPa, Abatimento: 60 a 80 mm). A 'CALCULAR' button is at the bottom.
- Second Screenshot (Filled Input Screen):** Shows the same input screen with the values from the first screenshot entered into the respective fields.
- Third Screenshot (Results Screen):** Displays the calculated results. It shows the 'TRAÇO EM MASSA' (cimento : areia : brita : relação água/cimento) as 1 : 1.83 : 2.58 : 0.50. It also provides the quantities for 1 m³ of concrete (401.08 : 734.82 : 1033.00 : 200.00) and for 1 bag of cement (50 kg) (50 : 91.60 : 128.78 : 24.93).
- Fourth Screenshot (Results Screen with Report Button):** Shows the same results as the third screenshot, but with an additional 'RELATÓRIO' button at the bottom right.

Fonte: Autoria própria (2018).

O primeiro passo executado pelo aplicativo é a obtenção da relação água/cimento através das curvas de Walz (ver Figuras 2 e 3). Originalmente, Rodrigues (1984) propôs que isto fosse feito utilizando a resistência do cimento e o f_{ck} informados. Porém, de acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2015) no estudo de dosagem deve-se considerar a resistência de dosagem, que além do f_{ck} inclui o desvio padrão de dosagem, como mostra a equação 10.

$$f_{cmj} = f_{ckj} + 1,65 \cdot s_d \quad (10)$$

Em que:

f_{cmj} é a resistência de dosagem ou resistência média do concreto à compressão para a idade de j dias, em MPa;

f_{ckj} é a resistência característica do concreto à compressão para a idade de j dias, em MPa;

s_d é o desvio padrão de dosagem, em MPa.

O valor adotado para o desvio padrão de dosagem depende das condições de preparo do concreto. Há 3 possíveis condições, segundo a NBR 12655 (ABNT, 2015), como mostrado na Tabela 9:

Tabela 9 – Valores do desvio padrão de dosagem de acordo com a condição de preparo do concreto.

Condição de preparo	Aplicação	s_d (MPa)
A	Com exceção da água, que pode ser medida em massa ou volume, todos os materiais são medidos em massa. Pode ser aplicada para todas as classes de resistência do concreto.	4,0
B	O cimento é medido em massa, a água e os agregados são medido em volume. Aplicação restrita às classes C10 a C20.	5,5
C	O cimento é medido em massa, a água e os agregados são medido em volume e a quantidade de água é corrigida de acordo com a umidade dos agregados, o abatimento medido ou outro método normalizado. Aplicação restrita às classes C10 e C15.	7,0

Fonte: ABNT NBR 12655:2015 (Adaptado).

Como a condição A é a única que abrange todas as classes de resistência do concreto, será considerado no desenvolvimento do aplicativo a condição A de preparo, cujo $s_d = 4,00$ MPa, tendo em vista que as outras duas condições são bastante restritas quanto aos valores de resistência do concreto para os quais podem ser utilizadas.

Para automatizar esse processo, obteve-se através do método dos mínimos quadrados, as funções que melhor aproximam cada uma das curvas dos cimentos de resistência igual a 25, 30, 32, 35 e 40 MPa. Para cada uma das curvas observou-se que funções do tipo logarítmicas foram as que melhor aproximaram a equação da relação água/cimento em função do f_{cmj} , pois foram as que resultaram nos valores de R^2 – coeficiente de determinação – mais próximos de 1. As funções e os valores de R^2 para cada curva do cimento são mostradas na Tabela 10.

Tabela 10 – Equações para encontrar a relação água/cimento.

Resistência do cimento à compressão aos 28 dias (MPa)	Equação	R ²
25	$a/c = -0,359 \cdot \ln f_{cmj} + 1,6012$	0,9993
30	$a/c = -0,355 \cdot \ln f_{cmj} + 1,6511$	0,9996
32	$a/c = -0,364 \cdot \ln f_{cmj} + 1,7556$	0,9995
35	$a/c = -0,351 \cdot \ln f_{cmj} + 1,693$	0,9995
40	$a/c = -0,357 \cdot \ln f_{cmj} + 1,759$	0,9997

Fonte: Autoria própria (2018).

De acordo com Rodrigues (1984) a relação a/c deve estar entre 0,4 e 1,0. Sendo assim, quando o usuário inserir valores na tela inicial que resultem em $a/c < 0,4$ aparecerá a mensagem “Não são recomendados valores de relação a/c menores que 0,4. Reveja os valores inseridos!” e quando a relação a/c calculada for maior que 1,0 aparecerá a mensagem “Não são recomendados valores de relação a/c maiores que 1,0. Reveja os valores inseridos!”.

O segundo passo executado é o cálculo do consumo de água a partir do abatimento do concreto e da dimensão máxima do agregado graúdo fornecidos, mostrados na Tabela 7.

Com os valores de consumo de água e da relação água/cimento encontrados, o aplicativo calcula o consumo de cimento, através da Equação 5.

Em seguida é calculado o consumo de agregado graúdo, conforme Equação 6, utilizando a massa unitária da brita fornecida pelo usuário e o volume de brita calculado a partir do módulo de finura da areia e da dimensão máxima da brita informadas. O volume de brita, originalmente, é encontrado a partir do módulo de finura da areia e da dimensão máxima do agregado graúdo, como é mostrado na Tabela 8. Mas nem sempre os valores do módulo de finura obtidos experimentalmente serão exatamente iguais aos informados na tabela, de tal forma que seria necessário realizar a interpolação para encontrar o valor do volume de brita. Para solucionar esse problema, obteve-se a partir da Tabela 8 a Equação 11, implementada no aplicativo e que informará o volume de brita para a dimensão máxima escolhida e para qualquer valor de módulo de finura inserido pelo usuário.

$$\begin{aligned}
 V_b(MF, D_{m\acute{a}x}) = & 0,538 - 0,1 \cdot MF + 0,04146 \cdot D_{m\acute{a}x} - (5,639 \times 10^{-15}) \cdot (MF)^2 \\
 & + (2,279 \times 10^{-15}) \cdot MF \cdot D_{m\acute{a}x} - 0,001328 \cdot (D_{m\acute{a}x})^2 + (2,243 \times 10^{-16}) \cdot (MF)^3 \\
 & + (1,732 \times 10^{-16}) \cdot (MF)^2 \cdot D_{m\acute{a}x} - (6,887 \times 10^{-17}) \cdot MF \cdot (D_{m\acute{a}x})^2 \\
 & + (1,511 \times 10^{-5}) \cdot (D_{m\acute{a}x})^3
 \end{aligned} \quad (11)$$

Com as massas específicas dos materiais informadas na tela inicial e os cálculos de consumo de cimento, brita e água feitos, o aplicativo calcula o consumo de areia através da Equação 9.

Depois de calculados os consumos de todos os materiais (cimento, areia, brita e água), é feito o cálculo do traço tanto em massa quanto em volume. O traço em massa é apresentado de 3 formas: unitário (proporção de materiais para 1 kg de cimento), para 1 m³ de concreto e para 1 saco de cimento de 50 kg, calculadas conforme as equações 12, 13 e 14, respectivamente.

$$\frac{Cc}{Cc} : \frac{Ca}{Cc} : \frac{Cb}{Cc} : a/c \quad (12)$$

$$Cc : Ca : Cb : Cw \quad (13)$$

$$\frac{Cc}{Cc} \cdot 50 : \frac{Ca}{Cc} \cdot 50 : \frac{Cb}{Cc} \cdot 50 : a/c \cdot 50 \quad (14)$$

Assim como o traço em massa, o traço em volume também é apresentado de forma unitária, para 1 m³ de concreto e para 1 saco de cimento de 50 kg, sendo os resultados obtidos utilizando as equações 15, 16 e 17, respectivamente. A conversão de massa para volume é feita usando as massas unitárias dos materiais que foram informadas na tela inicial. Para essas formas de apresentação do traço em volume, o cimento é medido em massa e os demais materiais em dm³.

$$\frac{Cc}{Cc} : \frac{\frac{Ca}{Cc}}{\delta a} : \frac{\frac{Cb}{Cc}}{\delta b} : a/c \quad (15)$$

$$\frac{Cc}{Cc} * Cc : \frac{\frac{Ca}{Cc}}{\delta a} * Cc * 1000 \text{ dm}^3 : \frac{\frac{Cb}{Cc}}{\delta b} * Cc * 1000 \text{ dm}^3 : Cw \quad (16)$$

$$\frac{Cc}{Cc} * 50 : \frac{\frac{Ca}{Cc}}{\delta a} * 50 * 1000 \text{ dm}^3 : \frac{\frac{Cb}{Cc}}{\delta b} * 50 * 1000 \text{ dm}^3 : a/c * 50 \quad (17)$$

Todo o processo de cálculo descrito anteriormente é feito pelo aplicativo quando, com todos os valores inseridos, o botão “Calcular” é pressionado, fazendo aparecer a tela de resultados, na qual são exibidas as formas de apresentação do traço descritas anteriormente, com valores arredondados para duas casas decimais.

Na parte inferior da tela de resultados há um botão “Relatório” que ao ser clicado leva o usuário para a tela de relatório onde são mostrados os dados iniciais inseridos pelo usuário e o passo a passo de cálculo com todas as equações, como mostrado na Figura 6.

Figura 6 – Tela de relatório.

RELATÓRIO	
DADOS INICIAIS	
Cimento	Massa específica: 3000 kg/m³ Resistência aos 28 dias: 32 MPa
Areia	Módulo de finura: 2.52 Massa específica: 2540 kg/m³ Massa unitária: 1250 kg/m³
Brita	Dimensão máxima: 19.0 mm Massa específica: 2740 kg/m³ Massa unitária: 1480 kg/m³
Concreto	fck: 25 MPa Abatimento: 60 a 80 mm
RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO (a/c)	
a/c =	0.50
CONSUMO DE ÁGUA, Cw	
Cw =	200.00 kg/m³ de concreto
CONSUMO DE CIMENTO, Cc	
$Cc = \frac{Cw}{a/c}$	Cc = 401.08 kg/m³ de concreto
CONSUMO DE BRITA, Cb	
$Cb = Vb \cdot \delta b$	Vb = 0.70 m³/m³ de concreto Cb = 1033.00 kg/m³ de concreto
CONSUMO DE AREIA, Ca	
$Ca = \rho a \cdot \left[1 - \left(\frac{Cc}{\rho c} + \frac{Cb}{\rho b} + \frac{Cw}{\rho w} \right) \right]$	Ca = 734.82 kg/m³ de concreto
TRAÇO EM MASSA	
Unitário:	$\frac{Cc}{Cc} : \frac{Ca}{Cc} : \frac{Cb}{Cc} : a/c$
Para 1 m³ de concreto:	1 : 1.83 : 2.58 : 0.50
Para 1 saco de cimento (50 kg):	401.08 : 734.82 : 1033.00 : 200.00
Unitário:	$\frac{Cc}{Cc} : \frac{Ca}{Cc} : \frac{Cb}{Cc} : a/c$
Para 1 m³ de concreto:	50 : 91.60 : 128.78 : 24.93
TRAÇO EM VOLUME	
Unitário:	$\frac{Cc}{Cc} : \frac{Ca}{\delta a} : \frac{Cb}{\delta b} : a/c$
Para 1 m³ de concreto:	1 : 1.47 : 1.74 : 0.50
Para 1 saco de cimento (50 kg):	50 : 73.28 : 87.01 : 24.93
Notações utilizadas ρ : símbolo para massa específica; δ : símbolo para massa unitária;	

Fonte: Autoria própria (2018).

4 APLICAÇÃO NUMÉRICA

Como forma de validar a ferramenta desenvolvida serão comparados os resultados da resolução manual e os obtidos pelo aplicativo a partir dos dados abaixo:

- Cimento: CP II-F 40;
- Massa específica do cimento: 2989 kg/m³;
- Módulo de finura da areia: 2,48;
- Massa específica da areia: 2607,7 kg/m³;
- Massa unitária da areia: 1528 kg/m³;
- Dimensão máxima da brita: 19 mm;
- Massa específica da brita: 2675 kg/m³;
- Massa unitária da brita: 1501,99 kg/m³;
- $f_{ck} = 25$ MPa;
- Abatimento entre 80 e 100 mm;
- Condição de preparo A.

4.1 CÁLCULO MANUAL

- Resistência de dosagem:

Calculada seguindo a equação 10. Pela Tabela 9, para a condição de preparo A, o desvio padrão de dosagem é igual a 4, logo:

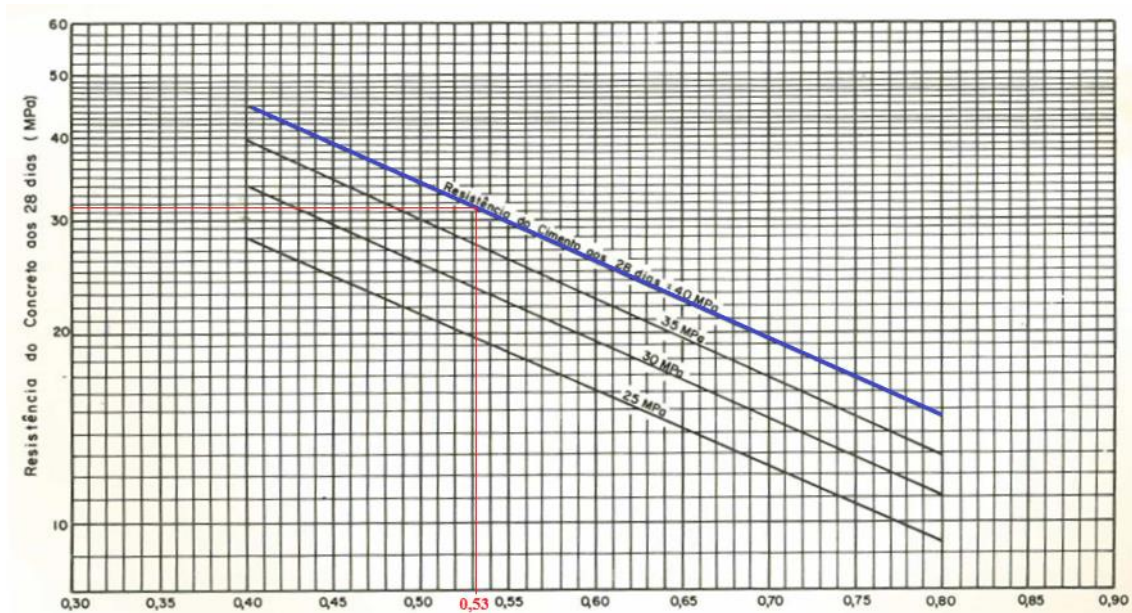
$$f_{cmj} = 25 \text{ MPa} + 1,65 \cdot 4 \text{ MPa}$$

$$f_{cmj} = 31,6 \text{ MPa}$$

- Relação água/cimento a/c

De acordo com as informações dadas para o tipo de cimento, sua resistência à compressão aos 28 dias é de 40 MPa, e a resistência de dosagem calculada, obtém-se a relação a/c através das curvas de Walz da Figura 2. A Figura 7 abaixo mostra detalhadamente a determinação do fator a/c.

Figura 7 - Obtenção da relação a/c com os dados fornecidos.



Fonte: Adaptado de Rodrigues (1984).

Portanto, $a/c = 0,53$.

- Consumo de água, C_w

O consumo de água é obtido utilizando a Tabela 7 a partir da dimensão máxima e do abatimento informados no exemplo, como pode ser visto na Figura 8 e é igual a 205 kg/m³ de concreto.

Figura 8 - Obtenção do consumo de água a partir dos dados fornecidos.

ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE (mm)	DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAÚDO (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: Adaptado de Boggio (2000).

- Consumo de cimento, C_c

O consumo de cimento é calculado a partir da equação 5:

$$C_c = \frac{205 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3 \text{ de concreto}}}{0,53}$$

$$C_c = 386,79 \frac{kg}{m^3 \text{ de concreto}}$$

- Consumo de agregado graúdo

Com os valores do módulo de finura da areia e da dimensão máxima da brita, encontra-se o valor do volume de agregado graúdo compactado a seco a partir da Tabela 8. Como não há nesta tabela valor para o módulo de finura que seja igual ao fornecido, será necessário realizar a interpolação com os valores da tabela e o valor informado:

$$\frac{2,48 - 2,4}{2,6 - 2,4} = \frac{V_b - 0,710}{0,690 - 0,710}$$

$$V_b = 0,702 \frac{m^3}{m^3 \text{ de concreto}}$$

Encontrado o volume de brita, calcula-se o consumo de brita usando a equação 6:

$$C_b = 0,702 \frac{m^3}{m^3 \text{ de concreto}} \cdot 1501,99 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_b = 1054,4 \frac{kg}{m^3 \text{ de concreto}}$$

- Consumo de agregado miúdo

O consumo de agregado miúdo é calculado a partir da equação 9:

$$C_a = 2607,7 \cdot \left[1 - \left(\frac{386,79}{2989} + \frac{1054,4}{2675} + \frac{205}{1000} \right) \right]$$

$$C_a = 707,8 \frac{kg}{m^3 \text{ de concreto}}$$

Encontrados os consumos de todos os materiais pode-se obter os traços em massa e volume, como mostrado a seguir:

- Traço em massa unitário

Utilizando a equação 12, tem-se:

$$\frac{386,79}{386,79} : \frac{707,8}{386,79} : \frac{1054,4}{386,79} : 0,53$$

$$1 : 1,83 : 2,73 : 0,53$$

- Traço em volume unitário

Utilizando a equação 15, tem-se:

$$\frac{386,79}{386,79} : \frac{707,8}{386,79} : \frac{1054,4}{386,79} : 0,53$$

Da forma como está escrita a resolução acima, os resultados das proporções de areia e brita serão valores muito pequenos quando expressos em m³. Sendo assim, realiza-se a conversão de m³ para dm³, como mostrado a seguir e obtém-se o traço com o cimento em kg e os demais materiais em dm³:

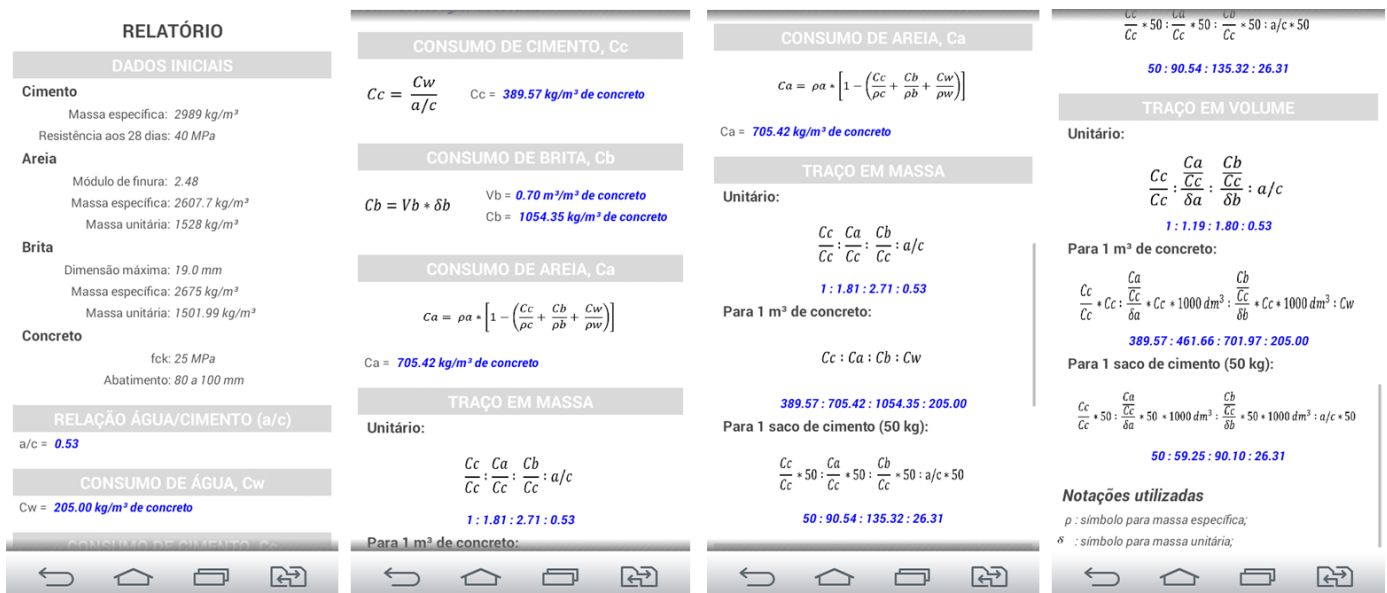
$$1 : \frac{707,8}{1528} \cdot 1000 : \frac{1054,4}{1501,99} \cdot 1000 : 0,53$$

$$1 : 1,2 : 1,81 : 0,53$$

4.2 RESULTADOS DO APLICATIVO

A Figura 9 mostra os resultados obtidos pelo aplicativo para os valores fornecidos no início desta seção.

Figura 9 - Relatório com resultados obtidos pelo aplicativo.



Fonte: Autoria própria (2018).

A Tabela 11 reúne todos os resultados obtidos pelo aplicativo e pelo cálculo manual.

Tabela 11 - Resultados encontrados pelo cálculo manual e pelo aplicativo.

Resultados	Cálculo manual	Aplicativo	Diferença (%)
a/c	0,53	0,53	0
C_w (kg/m ³ de concreto)	205	205	0
C_c (kg/m ³ de concreto)	386,79	389,57	0,72
V_b (m ³ /m ³ de concreto)	0,702	0,70	0,3
C_b (kg/m ³ de concreto)	1054,4	1054,35	0,01
C_a (kg/m ³ de concreto)	707,8	705,42	0,34
Traço em massa unitário	1 : 1,83 : 2,73 : 0,53	1 : 1,81 : 2,71 : 0,53	1,01
Traço em volume unitário	1 : 1,2 : 1,81 : 0,53	1 : 1,19 : 1,80 : 0,53	0,83

Fonte: Autoria própria (2018).

Observa-se que há pequenas diferenças entre os resultados do cálculo manual e os do aplicativo. Parte dessas diferenças deve-se ao fato do aplicativo executar os cálculos considerando todas as casas decimais, enquanto manualmente são feitos arredondamentos.

O consumo de cimento obtido pelo aplicativo é maior que o calculado manualmente, como o consumo de água é o mesmo em ambos os cálculos, o resultado é diferente devido à relação a/c ser obtida a partir de uma equação aproximada para a curva de Walz desse cimento, cujo $R^2 = 0,9997$, e utilizada no cálculo com todas as casas decimais, embora seja exibida com apenas duas na tela de relatório.

Como o consumo de areia depende do consumo de cimento, o valor encontrado também apresentará uma pequena diferença e consequentemente os traços unitários (e também nas outras formas de apresentação disponíveis no aplicativo) em massa e em volume obtidos manualmente não serão exatamente iguais aos calculados pelo aplicativo, entretanto os resultados são bastante próximos.

Além disso, foram feitas algumas aproximações, como é o caso das equações para obtenção da relação a/c e para o volume de brita, mas mesmo assim a máxima diferença entre os resultados é de 1%, um valor bastante pequeno e que demonstra a coerência entre os resultados do cálculo manual e do aplicativo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A principal proposta do presente trabalho era o desenvolvimento de um aplicativo para dispositivos móveis com sistema operacional *Android* que tornasse possível a dosagem de concreto seguindo o método proposto pela ABCP. Tendo em vista que a ferramenta desenvolvida, denominada *fcCalc*, calcula o traço do concreto de forma rápida e eficiente, mostrando resultados coerentes com a solução manual, pode-se afirmar que o objetivo do trabalho foi alcançado.

O aplicativo criado possui uma interface intuitiva, de fácil utilização, permitindo que não se perca tempo na realização do cálculo da dosagem do concreto e reduzindo a chance de erros que poderiam acontecer no cálculo manual, visto que a partir da inserção dos dados na tela inicial do aplicativo, os resultados são fornecidos rapidamente e de forma clara, possibilitando também a consulta a um relatório detalhado das etapas de cálculo para encontrar o traço tanto em massa quanto em volume.

Considerando os benefícios citados e a praticidade e mobilidade proporcionadas pelo uso do aplicativo produzido, este se mostra como uma ferramenta com potencial para ser utilizada tanto no âmbito profissional quanto acadêmico.

Durante o desenvolvimento do trabalho notou-se que poderiam ser feitas melhorias no aplicativo. Assim, sugere-se que em trabalhos futuros sejam exploradas outras formas de exibição do traço, além das disponíveis, como no caso do traço em volume que pode ser convertido em padiolas, e também a correção do traço caso os materiais estejam úmidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

_____. **ACI 211.1-91: Standard practice for selecting proportions for normal heavyweight and mass concrete.** ACI manual of concrete practice. Detroit, Michigan, 2002. Part 1: materials and general properties of concrete.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova.** Rio de Janeiro. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência.** Rio de Janeiro. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo controle recebimento e aceitação - Procedimento.** Rio de Janeiro. 2015.

ARAUJO, Regina Célia Lopes; RODRIGUES, Edmundo Henrique Ventura; FREITAS, Edna das Graças Assunção. **Materiais de Construção.** Seropédica: Universidade Rural, 2000. 203 p.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**, 1. 5 ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 488p.

BOGGIO, Aldo J. **Estudo comparativo de métodos de dosagem de concretos de cimento Portland.** 2000. 182 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

CARVALHO, Roberto Chust; FILHO, Jasson Rodrigues de Figueiredo. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014.** 4. ed. São Carlos: Edufscar, 2016. 415 p.

HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto.** São Paulo: Pini, 1992.

TUTIKIAN, Bernardo F.; HELENE, Paulo. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia.** [S. l.]: Ibracon, 2011. 1968 p.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto – Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: Ibracon, 2008. 674 p.

PEDROSO, Fábio Luís. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **CONCRETO & CONSTRUÇÕES**. São Paulo: Ibracon, n. 53, 2009. Trimestral.

RODRIGUES, Públio Penna Firme. **Parâmetros de dosagem racional do concreto**. São Paulo: ABCP, 1984.

SILVA, Joamir Henrique da. **Influência da adição de sílica ativa sobre a resistência e a tenacidade à fratura de concretos de cimento Portland para utilização em pavimentos rígidos rodoviários**. 2016. 151 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte.