

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CIDADE UNIVERSITÁRIA DOM DELGADO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE CUSTOS
EM ELEMENTOS DE CONCRETO COM O
USO DA LINGUAGEM FORTRAN**

São Luís

2019

MARCOS VINICIUS BRITO DUARTE

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE CUSTOS
EM ELEMENTOS DE CONCRETO COM O
USO DA LINGUAGEM FORTRAN**

Trabalho de Conclusão de Curso I
apresentado a professores do curso de
Engenharia Civil da UFMA - Universidade
Federal do Maranhão, como exigência
parcial para a obtenção do grau de
Engenheiro Civil, sob a orientação do Prof.
Dr. Felipe Alexander Vargas Bazán

São Luís
2019

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Duarte, Marcos Vinicius Brito.

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE CUSTOS EM ELEMENTOS DE
CONCRETO COM O USO DA LINGUAGEM FORTRAN / Marcos Vinicius
Brito Duarte. - 2019.

40 p.

Orientador(a): Felipe Alexander Vargas Bazan.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil,
Universidade Federal do Maranhão, São Luis-MA, 2019.

1. Cimento. 2. Custo total mínimo. 3. Fortran. 4.
Resistência característica à compressão do concreto. 5.
Traço do concreto. I. Bazan, Felipe Alexander Vargas. II.
Título.

RESUMO

É crescente a importância dos custos totais de uma obra na construção civil. O presente trabalho pretende servir como uma abordagem inicial no sentido de desenvolver uma ferramenta que auxilie na tomada de decisão do engenheiro quanto aos materiais e traços de concreto mais adequados a serem utilizados na obra, isto é, os materiais e traços que conduzam ao menor custo total. Para ilustrar os cálculos, é considerado um elemento estrutural de volume fixo, e, para diferentes tipos de cimento e valores de resistência característica à compressão do concreto, são calculados os consumos e os correspondentes custos de cada material componente (cimento, areia, brita e aditivo). São contemplados três diferentes tipos de cimento (CP-II-E, CP-II-F e CP-V-ARI) e oito diferentes valores de resistência característica à compressão do concreto, variando de 15 MPa a 50 MPa. Os tipos dos agregados (areia e brita) foram fixados. Como resultado dos cálculos, para a resistência característica à compressão desejada, são fornecidos o tipo de cimento, o traço de concreto, os consumos e custos de cada material componente e o custo total do elemento estrutural, sendo todos esses parâmetros aqueles que produzem o menor custo total do elemento. O procedimento e a ferramenta foram desenvolvidos usando a linguagem de programação Fortran e podem ser ampliados para levar em consideração uma quantidade maior de tipos de cimento, bem como contemplar a variação dos tipos de agregados.

Palavras-chave: custo total mínimo, traço do concreto, cimento, resistência característica à compressão do concreto, Fortran.

ABSTRACT

The importance of the total costs of a work in construction is increasing. The present work intends to serve as an initial approach to develop a tool that assists in the decision making of the engineer about the most suitable materials and concrete traces to be used in the work, that is, the materials and traces that lead to the lowest cost. total. To illustrate the calculations, it is considered a fixed volume structural element, and for different types of cement and concrete compressive strength values, the consumptions and the corresponding costs of each component material (cement, sand, gravel and additive). Three different types of cement are contemplated (CP-II-E, CP-II-F and CP-V-ARI) and eight different values of characteristic compressive strength of concrete, ranging from 15MPa to 50MPa. Aggregate types (sand and gravel) were fixed. As a result of the calculations, for the desired compressive strength, the type of cement, the concrete trace, the consumptions and costs of each component material and the total cost of the structural element are provided, all of which produce the lowest. total cost of the element. The procedure and tool were developed using the Fortran programming language and can be extended to take into account a larger amount of cement types as well as to consider the variation of aggregate types.

Keywords: minimum total cost, mix ratio for concrete, cement, characteristic compressive strength of concrete, Fortran.

LISTA DE IMAGENS

| | |
|--|----|
| IMAGEM 1 – GRÁFICO DE LINHA DO CUSTO TOTAL..... | 32 |
| IMAGEM 2 – GRÁFICO DE COLUNA DO CUSTO TOTAL..... | 32 |
| IMAGEM 3 – ARQUIVO DE ENTRADA DO PROGRAMA..... | 34 |
| IMAGEM 4– ARQUIVO DE SAÍDA DO PROGRAMA..... | 35 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 1 - MISTURAS..... | 9 |
| TABELA 2 – SUBSTÂNCIAS CONSTITUINTES DOS CIMENTOS..... | 17 |
| TABELA 3 – TIPOS DE CIMENTO PORTLAND..... | 18 |
| TABELA 4–CONSUMO DE AGREGADOS NO BRASIL, NO ANO DE 2014.... | 20 |
| TABELA 5 - PROPRIEDADES DO CONCRETO INFLUENCIADAS PELAS CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS..... | 21 |
| TABELA 6 – CARACTERÍSTICA DO AGREGADO E CIMENTO | 25 |
| TABELA 7 – PREÇO UNITÁRIO DE CADA MATERIAL | 25 |
| TABELA 8 – TRAÇOS ESCOLHIDOS PARA O CIMENTO CP-II-E | 26 |
| TABELA 9 – TRAÇOS ESCOLHIDOS PARA O CIMENTO CP-II-F | 26 |
| TABELA 10 – TRAÇOS ESCOLHIDOS PARA O CIMENTO CP-V-ARI | 27 |
| TABELA 11 - CONSUMO DE MATERIAL PARA O CIMENTO CP-II-E | 28 |
| TABELA 12 - CONSUMO DE MATERIAL PARA O CIMENTO CP-II-F | 28 |
| TABELA 13 - CONSUMO DE MATERIAL PARA O CIMENTO CP-V-ARI | 29 |
| TABELA 14 - CUSTO DE CADA MATERIAL PARA O CIMENTO CP-II-E | 30 |
| TABELA 15 - CUSTO DE CADA MATERIAL PARA O CIMENTO CP-II-F..... | 30 |
| TABELA 16 - CUSTO DE CADA MATERIAL PARA O CIMENTO CP-V-ARI .. | 31 |
| TABELA 17 - CUSTO TOTAL | 31 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 9 |
| 2 | OBJETIVO..... | 11 |
| 2.1 | Objetivo geral | 11 |
| 2.2 | Objetivos específicos..... | 11 |
| 3 | JUSTIFICATIVA | 12 |
| 4 | REFERENCIAL TEÓRICO | 13 |
| 4.1 | Histórico do concreto..... | 13 |
| 4.2 | Componentes do concreto | 14 |
| 4.2.1 | Cimento | 14 |
| 4.2.2 | Cimento Portland..... | 15 |
| 4.2.3 | Agregados | 19 |
| 4.3 | Orçamento..... | 21 |
| 4.4 | Viga | 22 |
| 4.5 | Linguagem de programação Fortran | 23 |
| 5 | METODOLOGIA | 24 |
| 5.1 | Cálculo | 24 |
| 5.2 | Materiais..... | 24 |
| 5.3 | Traço | 25 |
| 5.4 | Consumo de material | 27 |
| 5.5 | Custo de cada material..... | 29 |
| 5.6 | Custo total | 31 |
| 6 | FERRAMENTAS DESENVOLVIDAS..... | 34 |
| 7 | CONCLUSÕES..... | 36 |
| 8 | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 38 |
| 9 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 39 |

1 INTRODUÇÃO

Com o passar do tempo, percebe-se o grande avanço do concreto como material de construção e as diversas aplicações que possui. Atualmente, é inegável a importância e a eficiência do concreto dentro da construção civil, sendo um material que pode ser utilizado para diversas finalidades em função da necessidade.

O concreto é o material mais utilizado na construção civil e, em geral, é uma mistura de aglomerante (cimento), agregados (areia e brita) e água, podendo, em alguns casos, ser utilizados aditivos. A Tabela 1 mostra diferentes misturas e os resultados das mesmas (LIMA *et al.*, 2014; PORTAL DO CONCRETO, s.d.).

Tabela 1 - Misturas

| <i>Mistura</i> | <i>Resultado</i> |
|--|-------------------|
| <i>Cimento + água</i> | Pasta de cimento |
| <i>Pasta de cimento + areia</i> | Argamassa |
| <i>Argamassa + Tela</i> | Argamassa armada |
| <i>Argamassa + brita</i> | Concreto |
| <i>Concreto + adição</i> | Concreto especial |
| <i>Concreto ou concreto especial + aço</i> | Concreto armado |

Fonte: PORTAL DO CONCRETO (s.d.).

No preparo do concreto, alguns aspectos precisam de bastante atenção para que o concreto atenda à finalidade desejada. Um desses aspectos é a qualidade e quantidade de material utilizado, sendo, então, o traço um fator importante, que varia de acordo com a finalidade da utilização do concreto (PORTAL DO CONCRETO, s.d.).

Quando o cimento for hidratado pela água, produz uma pasta resistente, de fácil modelagem e aderente aos fragmentos de agregados, formando um bloco monolítico quando endurecido. A quantidade de água tem influência direta no concreto resultante. A água é responsável pela ativação da reação do cimento, que irá transformar o cimento em uma pasta aglomerante. Assim, se a quantidade da água for menor do que a necessária, a reação pode não ocorrer por completo, e, se for utilizada mais água do que o ideal, a sua resistência

diminuirá devido aos poros que ocorrerão quando o excesso de água evaporar. Essa relação entre água e cimento é designada por a/c (PORTAL DO CONCRETO, s.d.).

A distribuição granulométrica é importante para o preenchimento dos vazios entre as moléculas. Com os espaços preenchidos, a resistência desejada do concreto tem grande chance de ser atingida, tornando-se um material adequado para utilização (LIMA *et al.*, 2014).

Podem ser obtidos concretos especiais por meio da adição de aditivos, isopor, pigmentos e fibras. Cada material que for adicionado deve ser utilizado na dosagem correta e devidamente testado em laboratório, a fim de verificar a qualidade e quantidade de material para elaboração de um traço adequado (PORTAL DO CONCRETO, s.d.).

O concreto é um material amplamente disseminado na construção civil, sendo encontrado em residências, construções de alvenaria, edifícios, rodovias, pontes, hidroelétricas, entre outras construções. Constata-se, portanto, a grande importância do concreto no mercado da construção civil (PORTAL DO CONCRETO, s.d.).

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Quantificar os custos envolvidos em um projeto de uma viga de concreto, a partir dos diferentes materiais componentes, visando à obtenção do mínimo custo dentre diferentes tipos de cimento considerados, a fim de atingir a resistência característica à compressão desejada.

2.2 Objetivos específicos

- Obter o consumo de cada material componente do concreto a partir de traços do concreto e custos unitários levantados da bibliografia;
- Auxiliar na escolha de cada traço, dependendo da finalidade do concreto;
- Elaborar uma ferramenta automática de computador para cálculo dos consumos e custos dos materiais e do custo total de uma viga de concreto;
- Contribuir para incentivar futuros trabalhos na área numérica aplicada a projetos de estruturas.

3 JUSTIFICATIVA

A execução da parte estrutural de uma obra é de suma importância e gera altos custos para uma obra. Para garantir condição de segurança o engenheiro deve ter cuidado na escolha do traço, levando em conta o tipo de cimento e agregados que vai ser utilizado.

Na construção civil a temática custo se torna cada vez mais relevante entre engenheiro e empresário. Com isso o que for possível reduzir o custo na obra, irá trazer uma melhor rentabilidade para o empreiteiro.

Visando ajudar o engenheiro na escolha do traço, dependendo do tipo de cimento, f_{ck} desejado e custo total com concreto, esse trabalho vem como um auxílio para todos os engenheiros e um entendimento maior para o consumo de cada material na escolha de seu traço.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Histórico do concreto

Historicamente, o concreto nem sempre foi o mesmo material que se conhece atualmente. Na antiguidade, os assírios usavam uma mistura de cal, areia e agregado calcário para produzir o concreto bruto. Após a descoberta do cimento Portland, a mistura deste com o concreto da época deu origem ao concreto que utilizamos hoje. O concreto atual é obtido pelo endurecimento da mistura de agregado miúdo(areia) e graúdo(brita), cimento Portland e água (PEURIFOY *et al.*, 2015; ALLEN & IANO, 2013).

A primeira aparição do concreto armado foi no ano de 1849 com o francês Joseph Louis Lambot, um agricultor que construía tanques de cimentos reforçados com ferros. Ele produziu um barco com cimento e aço e o testou no lago de sua propriedade agrícola. Esse tipo de concreto utilizado no barco hoje é conhecido no Brasil como argamassa armada (CARVALHO, 2018).

O barco apresentado em Paris chamou a atenção de Joseph Monier, um rico comerciante de plantas ornamentais, que viu a possibilidade de trocar seus frágeis vasos de madeira ou cerâmica, que apodreciam ou quebravam com facilidade, por vasos do novo material, que seriam mais resistentes e duráveis. Com o sucesso obtido, várias patentes com a mistura do concreto de ferro foram aparecendo (CARVALHO, 2018).

Monier teve grande importância no que diz respeito ao entendimento das vantagens e desvantagens de cada componente da mistura. Ele percebeu que o concreto tinha boa resistência à compressão e ao esmagamento e era fácil de ser obtido e moldável, e percebeu que o aço era extremamente resistente à tração e ao cisalhamento e era facilmente encontrado em forma de barras. A sua grande contribuição foi incorporar armadura ao concreto, tornando o concreto armado resistente à compressão, à tração e ao cisalhamento (CARVALHO, 2018).

O concreto armado começou a ser usado na construção civil com o alemão Gustav Adolf Wayss, que comprou as patentes do francês Monier no ano de 1886. O alemão desenvolveu pesquisas e, posteriormente, executou obras na Alemanha, Áustria e França (CARVALHO, 2018).

4.2 Componentes do concreto

4.2.1 Cimento

Cimento, em sentido amplo, faz referência a um material com propriedades adesiva e coesiva, que possui capacidade de ligar fragmentos minerais. No contexto da construção civil, cimento tem um significado mais restrito, referindo-se a um aglomerante utilizado com pedra, areia, tijolos, blocos para alvenaria etc. (NEVILLE, 2016).

Materiais cimentícios são usados desde a antiguidade, principalmente pelos egípcios, gregos e romanos. Os egípcios usavam gesso impuro com finalidade cimentícia. Os gregos e romanos utilizavam pedra calcária calcinada e, mais tarde, começaram a usar areia e pedra. Os romanos moíam a cal junto com cinzas vulcânicas ou telhas de barro cozido moídas; dessa forma, a sílica e a alumina contida nas cinzas e nos fragmentos de telhas reagem com a cal, produzindo assim o que ficou conhecido como cimento pozolânico. O nome cimento pozolânico é utilizado até hoje para definir o cimento que é obtido pela simples moagem de matérias naturais em temperatura ambiente (NEVILLE, 2016).

Em uma das explorações nas pedreiras de calcário, os romanos descobriram uma mistura rica em sílica e alumina. Ao misturar esses minerais à rocha calcária e queimando a mistura, e em seguida adicionando água e areia, perceberam que poderia produzir-se uma argamassa mais resistente que a argamassa produzida com apenas calcário. Além de ser mais resistente, essa argamassa tinha maior capacidade de aderência e o endurecimento era mais rápido do que o da argamassa que vinha sendo usada naquela época. Com essa descoberta, os romanos provocaram uma revolução no método construtivo na civilização (ALLEN & IANO, 2013).

Pode-se afirmar que essa nova mistura tinha todas as características necessárias do cimento Portland. Mas, apenas em 1824, o inglês Joseph Aspdin patenteou um cimento artificial como cimento Portland, que tem esse nome devido à sua cor, semelhante à das rochas calcárias da Ilha de Portland no norte da Inglaterra, no Canal da Mancha (ALLEN & IANO, 2013; PEURIFOY *et al.*, 2015; NEVILLE, 2016).

4.2.2 Cimento Portland

O A maioria dos conceitos apresentados nesta subseção foi extraída de NEVILLE (2016). O cimento Portland é obtido através da moagem da matéria prima, na sua mistura e na queima, a uma temperatura de aproximadamente 1450 °C, em grandes fornos rotativos onde a matéria é sintetizada e parcialmente unida, ficando na forma de esfera, onde fica conhecida como clínqueres. Posteriormente, o clínquer é resfriado e é adicionada pequena quantidade de sulfato de cálcio, sendo então moído até se tornar pequenas partículas. O resultado é o cimento Portland.

A mistura e a moagem podem ser feitas tanto em condição úmida (por via úmida) quanto em condição seca (por via seca). A escolha do processo depende tanto da dureza quanto do teor de umidade da matéria prima.

Na mistura por via úmida, é utilizado giz, onde ele é fragmentado em pequenos pedaços e disperso em água em um moinho de lavagem, em um tanque de forma circular que tem em seu interior braços giratórios contendo lâminas que fragmentam a matéria prima. A argila é fragmentada em um tanque similar e misturada com água. Após a argila e o giz serem triturados, são misturados e passam por uma peneira até chegar ao tanque.

Já na mistura por via seca, é utilizado calcário, passando inicialmente pela extração, que ocorre por detonação, e pela britagem. Após a extração, o material é levado juntamente com a argila, dispersa em água, para um moinho de bolas, onde ocorre a fragmentação do calcário, em partículas muito finas (farinha). Em seguida, a partícula é bombeada a um tanque de armazenamento.

Após o armazenamento, ambos os processos seguem o mesmo procedimento. O material armazenado é uma pasta líquida com consistência cremosa que contém um teor de 35% a 50% de água, sendo o resto material sólido. Apenas 2% do material sólido deve ser maior que a peneira de 90 µm (micrômetros). No reservatório, ocorre a sedimentação dos materiais sólidos por agitação ou por injeção de ar comprimido. Essa sedimentação tem o objetivo de controlar o teor de calcário.

A pasta com a quantidade de calcário requerido passa pelo forno giratório, onde o forno é feito em formato de cilindro com diâmetro máximo de 8 metros e comprimento de 230 metros. O forno gira lentamente em torno de seu eixo, com uma inclinação pequena na horizontal. Nesse momento, o carvão pulverizado, que não pode conter um teor elevado de cinza, é insuflado, chegando a uma temperatura de 1450°C.

À medida que ocorre a mistura, a temperatura aumenta gradativamente e, assim, a água se evapora e ocorre a liberação de CO₂ (dióxido de carbono). Em seguida, o material seco passa por diversas reações químicas, ocorrendo, na parte mais quente do forno, fusão de 20% a 30% do material. A massa se funde, formando uma esfera de 3 a 25mm de diâmetro; essa esfera é denominada de clínquer. Em seguida, o clínquer é levado para resfriadores, onde ocorre troca de calor com o ar que será utilizado para combustão do carvão pulverizado.

Após o resfriamento, a matéria prima é triturada e levada em dosagem correta para o moinho, onde a matéria é seca e sua dimensão é reduzida a pó fino, denominado farinha crua. Em seguida, o material é bombeado para silos, onde é feita a dosagem final para a produção de cada tipo de cimento Portland (NEVILLE, 2016).

Vale destacar que a produção de cimento pelo processo de via úmida resulta em um elevado consumo energético; por isso não são mais construídas fabricas com esse processo, sendo hoje utilizada, em sua grande maioria, via seca.

Assim, pode-se afirmar que o cimento Portland é resultado da pulverização de clínquer, constituído principalmente de cálcio, podendo ou não conter algumas adições especiais. Esse cimento é constituído, principalmente, por: cal (CaO), sílica (SiO₂), alumina (Al₂O₃), óxido de ferro (Fe₂O₃) e, em menor quantidade, também pode-se encontrar magnésio (MgO), anidrido sulfúrico (SO₃), óxido de sódio (K₂O), óxido de titânio (TiO) e outras substâncias de menor importância. A cal, sílica, alumina e óxido de ferro são os componentes essenciais do cimento Portland, constituindo de 95% a 96% do cimento (OLIVEIRA, 2007).

As propriedades do cimento são influenciadas diretamente pela proporção de silicatos e aluminatos. Na Tabela 2, são mostradas as

substâncias constituintes do cimento e sua influência nas características do mesmo (OLIVEIRA, 2007).

Tabela 2 - Substâncias constituintes dos cimentos

| Substância | Influência |
|---|--|
| <i>Silicato tricálcico (C₂S)</i> | Responsável pela resistência em todas as idades, até primeiro mês de cura. Segundo elemento mais importante no processo do calor de hidratação |
| <i>Silicato bicálcico (C₂S)</i> | Endurecimento em idade mais avançada |
| <i>Aluminato tricálcico (C₃A)</i> | Influência na resistência, principalmente no primeiro dia |
| <i>Ferro aluminato de cálcio (C₄AFe)</i> | Em nada contribui para a resistência |
| <i>Aluminato de cálcio (C₃A)</i> | Contribui para o alto calor de hidratação, principalmente no início do período de pega |

Fonte: OLIVEIRA, 2007

O cimento Portland, ao longo do tempo, vem passando por algumas melhorias, a fim de desenvolver propriedades específicas, dependendo da sua aplicação e utilização. Junto com essas melhorias, vêm surgindo novos tipos de cimentos Portland, como mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Tipos de cimento Portland

| Nome | Abreviação | Característica | Utilização |
|--|-------------------|---|--|
| <i>Cimento Portland comum</i> | CP I | Cimento Portland sem nenhuma adição, com exceção do gesso, que é utilizado somente como retardador da pega. | Geralmente em obras em que não há exposição a ambientes desfavoráveis. |
| <i>Cimento Portland comum com adição</i> | CP I-S | Com as mesmas características do CP-I, com adição de no máximo 5% de material pozolânico em massa, o que garante uma menor permeabilidade. | Mesma utilização do CP I. |
| <i>Cimento Portland composto com pozolana</i> | CP II-Z | Contém de 6% a 14% de pozolana, garantindo uma maior impermeabilidade e durabilidade ao concreto. | Utilizado em obras marítimas, industriais e subterrâneas. |
| <i>Cimento Portland composto com fíler</i> | CP II-F | É constituído de 90% a 94% de clínquer e gesso e de 6% a 10% de material carbonático ou fíler. | Preparo de argamassas de assentamento, revestimento, estruturas de concreto armado, solo-cimento, pisos e pavimentos de concreto. |
| <i>Cimento Portland composto com escória granulada de alto forno</i> | CP II-E | É constituído de 94% a 66% de clínquer e gesso e de 6% a 34% de escória granulada de alto forno. | Usado quando há necessidade de que as estruturas tenham um desprendimento de calor moderadamente lento ou que possam ser atacados por sulfatos. |
| <i>Cimento Portland de alto forno</i> | CP III | Contém adição de 35% a 70% de escória em sua composição, o que lhe confere maior impermeabilidade e durabilidade, resistência a sulfatos e à expansão, além de baixo calor de hidratação. | Usado tanto na execução de obras de grande porte e agressividade como barragens, esgotos, pavimentação de estradas, pistas de aeroporto, quanto na aplicação de argamassas de assentamento e revestimento, estruturas de concreto armado, concreto protendido, projetado, dentre outros. |
| <i>Cimento Portland</i> | CP IV | Este tipo de cimento é constituído de | É geralmente utilizado para |

| | | | |
|---|---|---|--|
| <i>Pozolânico</i> | <p>15% a 50% de material pozolânico, sendo, por isso, conhecido como Cimento Portland Pozolânico. O concreto produzido com este cimento, em relação ao concreto feito com Cimento Portland Comum, apresenta maior impermeabilidade, maior durabilidade e maior resistência mecânica à compressão a longo prazo.</p> | <p>grandes volumes de concreto, devido ao baixo calor de hidratação, e em obras expostas à ação de água corrente e ambientes agressivos, devido a sua baixa porosidade.</p> | |
| <i>Cimento Portland de alta resistência inicial</i> | CP V-ARI | <p>Não contém adições em sua composição (em casos excepcionais, pode conter até 5% de material carbonático). As alterações nas dosagens de calcário e argila na produção do clínquer garantem ao CP V-ARI uma alta resistência inicial.</p> | <p>É utilizado em obras tanto de pequeno porte quanto de grande porte, em casos em que se torna necessária uma alta resistência inicial para desforma rápida dos elementos de concreto armado.</p> |

Fonte: Pereira (2019).

4.2.3 Agregados

Os agregados são materiais sólidos que compõem a massa do concreto; esses agregados são areias e britas. Os agregados compõem 3/4 do volume do concreto; por isso, a qualidade dos agregados interfere diretamente na qualidade do concreto, pois suas propriedades afetam significativamente a durabilidade e o desempenho estrutural do concreto (OLIVEIRA, 2014; NEVILLE, 2016).

Inicialmente, os agregados eram usados apenas por razões econômicas, pois, como a composição deles representa mais da metade da composição do concreto e eles são mais baratos do que o cimento, obtinha-se economia em materiais. Durante muito tempo, os agregados foram considerados materiais inertes, sem contribuir nas propriedades do concreto, mas, depois de alguns estudos, percebeu-se que os agregados também tinham influência nas propriedades físicas e térmicas e no desempenho final do concreto (NEVILLE, 2016).

Segundo a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados Para Construção (ANEPAC), no ano de 2014 os agregados tiveram uma demanda de 740 milhões de toneladas e o consumo per capita foi de 3,7 toneladas/habitantes/ano (ANEPAC, 2019). A Tabela 4 mostra o consumo de agregados no Brasil, por região, no ano de 2014.

Tabela 4 – Consumo de agregados no Brasil, no ano de 2014

| <i>Região</i> | <i>População (milhões de habitantes)</i> | <i>Consumo (milhões de toneladas)</i> | <i>Consumo per capita (toneladas/habitante/ano)</i> |
|---------------------|--|---|---|
| <i>Norte</i> | 17,1 | 52,7 | 3,1 |
| <i>Nordeste</i> | 56,3 | 154,3 | 2,7 |
| <i>Centro-oeste</i> | 15,1 | 67,5 | 4,5 |
| <i>Sudeste</i> | 85,3 | 347 | 4,1 |
| <i>Sul</i> | 29,1 | 119,5 | 4,1 |

Fonte: ANEPAC (2019).

Os agregados apresentam características que afetam as propriedades do concreto. A Tabela 5 relaciona cada propriedade do concreto com a correspondente característica que o influencia.

Tabela 5 - Propriedades do concreto influenciadas pelas características dos agregados

| <i>Propriedade do concreto</i> | <i>Característica do agregado</i> |
|---------------------------------|--|
| <i>Resistência mecânica</i> | Resistência mecânica Textura superficial Limpeza Forma dos grãos Dimensão máxima |
| <i>Retração</i> | Módulo de elasticidade Forma dos grãos Textura superficial Limpeza Dimensão máxima |
| <i>Massa unitária</i> | Massa específica Forma dos grãos Granulometria Dimensão máxima |
| <i>Resistência à derrapagem</i> | Tendência ao polimento |
| <i>Economia</i> | Forma dos grãos Granulometria Dimensão máxima Beneficiamento requerido Disponibilidade |

Fonte: AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

4.3 Orçamento

A economia gerada pela construção civil tem um grande impacto na economia de todos os países, tendo uma parcela de contribuição no Produto Interno Bruto (PIB) e tendo uma grande contribuição na área de empregabilidade. Esse é um segmento econômico que gera investimento tanto das empresas, particulares ou públicas, como dos clientes (AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO PROCESSO DE ORÇAMENTO: ESTUDO DE CASO EM UMA OBRA DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 2011)

Podemos perceber a importância da construção civil na sociedade. Por isso o cuidado na hora de orçar uma obra e analisar todos os seus impactos que pode gerar na região (AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO PROCESSO DE ORÇAMENTO: ESTUDO DE CASO EM UMA OBRA DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 2011)

Segundo Xavier (2008) orçamento pode ser entendido como um produto definido, informando o valor para a realização de um determinado produto ou serviço, as condições necessárias para a sua realização, o objeto a ser realizado e o prazo para que este produto ou serviço se realize.

Para realização de um orçamento, passa por um processo conhecido de orçamentação. Esse mecanismo passa por algumas etapas, que são: identificação do produto ou serviço, descrição do produto ou serviço, quantificação, análise e valorização do item, técnica que será utilizada e conhecimento de como será executado o serviço (XAVIER, 2008).

Um erro no orçamento de uma obra pode acarretar erros na obra, como imperfeições, frustrações, falta de credibilidade no mercado e prejuízo a médio ou longo prazos. Esses erros podem levar consequências graves numa construtora, dando prejuízos de altos valores, podendo levar a falência. com essas consequências, podemos entender a real importância de um orçamento de uma obra (XAVIER, 2008)

4.4 Viga

Viga é um elemento estrutural linear, que pode ser de concreto armado, dimensionado para suportar o peso da laje e distribuí-lo para as colunas. As vigas fazem parte da estrutura que dá sustentação a casas ou a qualquer outra construção. Normalmente, elas ficam apoiadas na coluna e sobre a parede. As vigas devem ser dimensionadas por um engenheiro estrutural (ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO: VIGAS, 2019).

A resistência da viga varia de acordo com o material e com as dimensões da viga. A altura da viga tem influência direta na sua resistência; quanto mais alta for a viga, mais resistente ela será. Para dar forma às vigas, são utilizadas fôrmas; normalmente, essas fôrmas são feitas com tábuas e sarrafos de madeira e amarradas com parafuso borboleta ou arame (ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO: VIGAS, 2019).

4.5 Linguagem de programação Fortran

Com o passar do tempo e com o avanço na área da informática, ocorreu uma revolução na área de ensino e pesquisa. Com esse acesso ao conhecimento, novas linguagem de programação foram sendo criadas ou se adaptando à modernidade atual, para facilitar e ajudar no conhecimento. Uma das linguagens que existiu desde o início dessa revolução foi o Fortran (FORmula TRANslation) (CHAPMAN, 2017; SOARES *et al.*, 2006).

O Fortran teve início com o Fortran 77, que até hoje tem acervo tecnológico significativo, mas, em sua grande maioria, é na área acadêmica. Esses programas correm sérios risco de entrarem em desuso por falta de uma boa interface gráfica. Com isso, na década de 90, o Fortran passou por uma reformulação, em que foram desenvolvidas tecnologias para acompanhar o avanço da tecnologia computacional, ocorrendo um avanço na linguagem voltada para cálculo numérico (SOARES *et al.*, 2006).

Ao longo do tempo, o Fortran foi passando por diversas reformulações, gerando crescimento na sua linguagem e melhorando sua forma visual de programação. Toda essa revolução, em grande medida, foi voltada para programação matemática e cálculos numéricos. Por isso, até hoje, o Fortran é uma das linguagens de programação mais utilizadas por estudantes de matemática ou da área tecnológica (SOARES *et al.*, 2006).

5 METODOLOGIA

5.1 Cálculo

Os cálculos no presente trabalho foram realizados em um código computacional desenvolvido em linguagem Fortran. Nesse código, os dados de entrada são: a resistência à compressão característica do concreto (f_{ck}) desejado, que varia de 15 MPa a 50 MPa, e o volume da viga. A saída é o menor custo (custo "ótimo") da peça dentre os tipos de cimento considerados (CP-II-E-32, CP-II-F-32 e CP-V-ARI), com o correspondente consumo de cada material utilizado.

No desenvolvimento do presente trabalho, foi considerada uma viga de volume igual a 1m³. Assim, os resultados obtidos em termos de consumos e custos dos materiais são referidos a essa unidade (por m³). Entretanto, a ferramenta desenvolvida pode ser utilizada para uma peça de qualquer volume, pois este volume, como mencionado, é um dado de entrada.

5.2 Materiais

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados diversos traços, sendo os agregados graúdo e miúdo iguais para todos os traços considerados. O agregado miúdo será a areia grossa e o agregado graúdo será a brita 1 (4,75 mm a 25 mm). Os tipos de cimento escolhidos foram CP-II-E, CP-II-F e CP-V-ARI.

Estes tipos de cimento foram escolhidos porque o presente trabalho foi baseado em Barboza & Bastos (2008). O trabalho destes autores foi desenvolvido com o objetivo de definir traços de concreto com materiais utilizados na cidade de Bauru/SP, e, por isso, foram utilizados os tipos de cimento mais comuns naquela região.

Foi considerado o uso de aditivo plastificante, para que a relação a/c obedeça à NBR 6118/14, já que os traços utilizados foram baseados nos traços usados em obras da região.

Como o volume de viga foi fixado em 1m³, foram obtidos, para os materiais constituintes do concreto, consumos e custos por m³.

As características físicas consideradas para agregados, cimento e aditivo são mostradas na Tabela 6.

Tabela 6 - Característica do agregado e cimento

| Propriedade | Cimento | Areia | Brita | Aditivo |
|---|----------------|--------------|--------------|----------------|
| <i>Massa específica (kg/dm³)</i> | 3,14 | 2,63 | 2,95 | 1,19 |
| <i>Massa unitária (kg/dm³)</i> | - | 1,61 | 1,64 | |

Fonte: Barboza & Bastos (2008).

Para definir o custo unitário dos agregados e do cimento, foi utilizada a tabela SINAPI (2019), para os dois tipos de cimento CP-II; para o cimento CP-V, o custo foi definido através de uma pesquisa de preços *online*. O valor do CP-V não pôde ser definido através de uma pesquisa de mercado na cidade de São Luís, pois, na cidade, não se trabalha com esse tipo de cimento. A Tabela 7 mostra o preço unitário de cada material.

Tabela 7 – Preço unitário de cada material

| Material | Unidade | Preço |
|--------------------|----------------|--------------|
| <i>CP-II-E e F</i> | Saco (50Kg) | R\$26,60 |
| <i>CP-V-ARI</i> | Saco (40Kg) | R\$19,80 |
| <i>Areia</i> | M ³ | R\$47,50 |
| <i>Brita</i> | M ³ | R\$60,68 |
| <i>Aditivo</i> | L | R\$5,47 |

Fonte: SINAPI (2019).

5.3 Traço

Para cada tipo de cimento, foram considerados oito diferentes valores de resistência característica à compressão (f_{ck}) do concreto aos 28 dias. Para cada valor de f_{ck} , o correspondente traço do concreto a ser utilizado foi obtido de Barboza & Bastos (2008). As Tabelas 8 a 10 detalham os traços (em massa) considerados.

Tabela 8 - Traços considerados para o cimento CP-II-E

| <i>f_{ck28}</i> | Cimento | Areia | Brita | a/c | Aditivo* |
|-------------------------|----------------|--------------|--------------|------------|-----------------|
| 15 | 1 | 3,85 | 3,66 | 0,85 | 1,5% |
| 20 | 1 | 3,39 | 3,31 | 0,73 | 1,5% |
| 25 | 1 | 3,10 | 3,10 | 0,65 | 1,5% |
| 30 | 1 | 2,85 | 2,90 | 0,58 | 1,5% |
| 35 | 1 | 2,59 | 2,71 | 0,54 | 1,5% |
| 40 | 1 | 2,42 | 2,58 | 0,51 | 1,5% |
| 45 | 1 | 2,25 | 2,45 | 0,48 | 1,5% |
| 50 | 1 | 2,08 | 2,32 | 0,45 | 1,5% |

Fonte: Barboza & Bastos (2008).

*em relação a massa do cimento

Tabela 9 – Traços considerados para o cimento CP-II-F

| <i>f_{ck28}</i> | Cimento | Areia | Brita | a/c | Aditivo* |
|-------------------------|----------------|--------------|--------------|------------|-----------------|
| 15 | 1 | 3,28 | 3,22 | 0,72 | 1,5% |
| 20 | 1 | 2,88 | 2,92 | 0,63 | 1,5% |
| 25 | 1 | 2,65 | 2,75 | 0,57 | 1,5% |
| 30 | 1 | 2,36 | 2,54 | 0,53 | 1,5% |
| 35 | 1 | 2,19 | 2,41 | 0,49 | 1,5% |
| 40 | 1 | 1,96 | 2,24 | 0,46 | 1,5% |
| 45 | 1 | 1,69 | 2,03 | 0,43 | 1,5% |
| 50 | 1 | 1,45 | 1,85 | 0,40 | 1,5% |

Fonte: Barboza & Bastos (2008).

*em relação a massa do cimento

Tabela 10 - Traços considerados para o cimento CP-V-ARI

| f_{ck28} | Cimento | Areia | Brita | a/c | Aditivo* |
|------------|----------------|--------------|--------------|------------|-----------------|
| 15 | 1 | 4,13 | 3,87 | 0,90 | 1,5% |
| 20 | 1 | 3,45 | 3,35 | 0,75 | 1,5% |
| 25 | 1 | 2,90 | 2,95 | 0,65 | 1,5% |
| 30 | 1 | 2,59 | 2,71 | 0,59 | 1,5% |
| 35 | 1 | 2,31 | 2,49 | 0,54 | 1,5% |
| 40 | 1 | 2,02 | 2,28 | 0,51 | 1,5% |
| 45 | 1 | 1,79 | 2,11 | 0,48 | 1,5% |
| 50 | 1 | 1,57 | 1,94 | 0,44 | 1,5% |

Fonte: Barboza & Bastos (2008).

*em relação a massa do cimento

5.4 Consumo de material

Para cada traço, foi calculado o consumo de cada material. Para o cálculo do consumo de cimento, foi usada a expressão:

$$M_c = \frac{V}{\left(\frac{1}{\alpha_c}\right) + \left(\frac{T_a}{\alpha_a}\right) + \left(\frac{T_b}{\alpha_b}\right) + \left(\frac{a}{c}\right)} \quad (1)$$

onde:

M_c = consumo de cimento (kg);
 V = volume do elemento estrutural (dm³);
 α_c = massa específica do cimento;
 T_a = traço da areia;
 α_a = massa específica da areia;
 T_b = Traço da brita;
 α_b = massa específica da brita;
 a/c = relação água/cimento.

$$C_a = \frac{\frac{(M_c \cdot T_a)}{\gamma_a}}{1000} \quad (2)$$

$$C_b = \frac{\frac{(M_c \cdot T_b)}{\gamma_b}}{1000} \quad (3)$$

onde:

C_a = consumo de areia (m³);
 γ_a = massa unitária da areia;
 γ_b = massa unitária da brita.

$$C_{ad} = \frac{M_c + 1,5\%}{\gamma_{ad}} \quad (4)$$

onde:

C_{ad} = consumo de aditivo (dm³ ou L).

γ_{ad} = massa unitária do aditivo (kg/dm³ ou kg/L).

Com essas fórmulas, determina-se o consumo do cimento, consumo da areia e consumo da brita. Os consumos de material obtidos, para os três tipos de cimento considerados, estão mostrados nas Tabelas 11 a 13.

Tabela 11 - Consumo de material para o cimento CP-II-E

| f_{ck28} | Cimento (kg) | Cimento (saco) | Areia (m³) | Brita (m³) | Aditivo (L) |
|------------|---------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------|
| 15 | 258,20 | 5,16 | 0,617 | 0,576 | 3,25 |
| 20 | 289,06 | 5,78 | 0,609 | 0,583 | 3,64 |
| 25 | 312,69 | 6,25 | 0,602 | 0,591 | 3,94 |
| 30 | 337,25 | 6,74 | 0,597 | 0,596 | 4,25 |
| 35 | 362,07 | 7,24 | 0,582 | 0,598 | 4,56 |
| 40 | 381,21 | 7,62 | 0,573 | 0,600 | 4,81 |
| 45 | 402,50 | 8,05 | 0,562 | 0,601 | 5,07 |
| 50 | 426,30 | 8,53 | 0,551 | 0,603 | 5,37 |

Fonte: autoria própria.

Tabela 12 - Consumo de material para o cimento CP-II-F

| f_{ck28} | Cimento (kg) | Cimento (saco) | Areia (m³) | Brita (m³) | Aditivo (L) |
|------------|---------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------|
| 15 | 296,11 | 5,92 | 0,603 | 0,581 | 3,73 |
| 20 | 329,67 | 6,59 | 0,590 | 0,587 | 4,16 |
| 25 | 353,57 | 7,07 | 0,582 | 0,593 | 4,46 |
| 30 | 383,61 | 7,67 | 0,562 | 0,594 | 4,84 |
| 35 | 406,81 | 8,14 | 0,553 | 0,598 | 5,13 |
| 40 | 438,01 | 8,76 | 0,533 | 0,598 | 5,52 |
| 45 | 480,96 | 9,62 | 0,505 | 0,595 | 6,06 |
| 50 | 527,17 | 10,54 | 0,475 | 0,595 | 6,65 |

Fonte: autoria própria.

Tabela 13 - Consumo de material para o cimento CP-V-ARI

| f_{ck28} | Cimento (kg) | Cimento (saco) | Areia (m³) | Brita (m³) | Aditivo (L) |
|------------|---------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------|
| 15 | 243,86 | 6,10 | 0,626 | 0,575 | 3,07 |
| 20 | 284,43 | 7,11 | 0,609 | 0,581 | 3,59 |
| 25 | 325,61 | 8,14 | 0,587 | 0,586 | 4,10 |
| 30 | 355,63 | 8,89 | 0,572 | 0,588 | 4,48 |
| 35 | 387,47 | 9,96 | 0,556 | 0,588 | 4,88 |
| 40 | 422,05 | 10,55 | 0,530 | 0,587 | 5,32 |
| 45 | 455,72 | 11,39 | 0,507 | 0,586 | 5,74 |
| 50 | 496,76 | 12,42 | 0,484 | 0,588 | 6,26 |

Fonte: autoria própria.

5.5 Custo de cada material

O custo total de cada material será calculado a partir do consumo correspondente, para cada traço contemplado, e do respectivo custo unitário. As Tabelas 14 a 16 resumem os custos totais de cada material para os três tipos de cimento.

$$C_c = Co_c * Cu_c \quad (5)$$

onde:

C_c = custo total do cimento (reais);

Co_c = consumo do cimento (saco);

Cu_c = custo unitário do cimento (reais).

$$C_a = Co_a * Cu_a \quad (6)$$

onde:

C_a = custo total da areia (reais);

Co_a = consumo da areia (m³);

Cu_a = custo unitário da areia (reais).

$$C_b = Co_b * Cu_b \quad (7)$$

C_b = custo total da brita (reais);

Co_b = consumo da brita (m³);

Cu_b = custo unitário da brita (reais).

$$C_{ad} = C_{o_{ad}} * C_{u_{ad}} \quad (8)$$

onde:

C_{ad} = custo total do aditivo (reais);

$C_{o_{ad}}$ = consumo do aditivo (litros);

$C_{u_{ad}}$ = custo unitário do aditivo (reais).

Tabela14 – Custo (R\$) de cada material para o cimento CP-II-E

| f_{ck28} | Cimento | Areia | Brita | Aditivo |
|------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| 15 | 137,36 | 29,33 | 34,96 | 17,80 |
| 20 | 153,78 | 28,91 | 35,40 | 19,93 |
| 25 | 166,35 | 28,60 | 35,87 | 21,56 |
| 30 | 179,42 | 28,36 | 36,16 | 23,25 |
| 35 | 192,62 | 27,67 | 36,30 | 24,96 |
| 40 | 202,81 | 27,22 | 36,39 | 26,28 |
| 45 | 214,13 | 26,72 | 36,49 | 27,75 |
| 50 | 226,79 | 26,16 | 36,59 | 29,39 |

Fonte: autoria própria.

Tabela 15 – Custo (R\$) de cada material para o cimento CP-II-F

| f_{ck28} | Cimento | Areia | Brita | Aditivo |
|------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| 15 | 157,53 | 28,65 | 35,28 | 20,42 |
| 20 | 175,38 | 28,01 | 35,62 | 22,73 |
| 25 | 188,10 | 27,64 | 35,98 | 24,38 |
| 30 | 204,08 | 26,71 | 36,05 | 26,45 |
| 35 | 216,43 | 26,29 | 36,28 | 28,05 |
| 40 | 233,02 | 25,33 | 36,30 | 30,20 |
| 45 | 255,87 | 23,98 | 36,12 | 33,16 |
| 50 | 280,45 | 22,55 | 36,08 | 36,35 |

Fonte: autoria própria.

Tabela 16 – Custo (R\$) de cada material para o cimento CP-V-ARI

| f_{ck28} | Cimento | Areia | Brita | Aditivo |
|------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| 15 | 120,71 | 29,71 | 34,92 | 16,81 |
| 20 | 140,79 | 28,95 | 35,25 | 19,61 |
| 25 | 161,18 | 27,86 | 35,54 | 22,45 |
| 30 | 176,04 | 27,17 | 35,66 | 24,52 |
| 35 | 191,80 | 26,41 | 35,70 | 26,72 |
| 40 | 208,91 | 25,15 | 35,60 | 29,10 |
| 45 | 225,58 | 24,07 | 35,58 | 31,42 |
| 50 | 245,89 | 23,01 | 35,60 | 34,25 |

Fonte: autoria própria.

5.6 Custo total

O custo total do concreto será composto pelo somatório dos custos de cada material. A Tabela 17 apresenta os custos totais obtidos para o concreto.

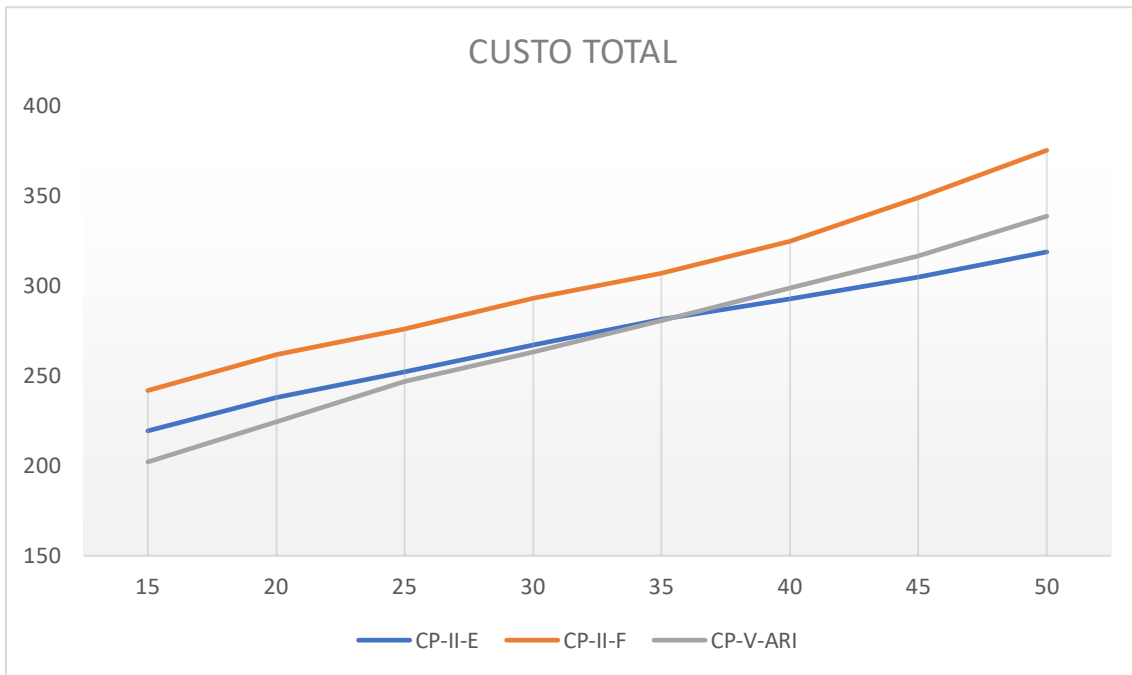
$$C_T = C_c + C_a + C_b + C_{ad} \quad (9)$$

Tabela 17 - Custo total (reais)

| f_{ck28} | CP-II-E | CP-II-F | CP-V-ARI |
|------------|----------------|----------------|-----------------|
| 15 | 219,46 | 241,88 | 202,16 |
| 20 | 238,02 | 261,74 | 224,61 |
| 25 | 252,38 | 276,10 | 247,03 |
| 30 | 267,21 | 293,29 | 263,39 |
| 35 | 281,56 | 307,04 | 280,62 |
| 40 | 292,70 | 324,85 | 298,77 |
| 45 | 305,08 | 349,14 | 316,65 |
| 50 | 318,94 | 375,44 | 338,81 |

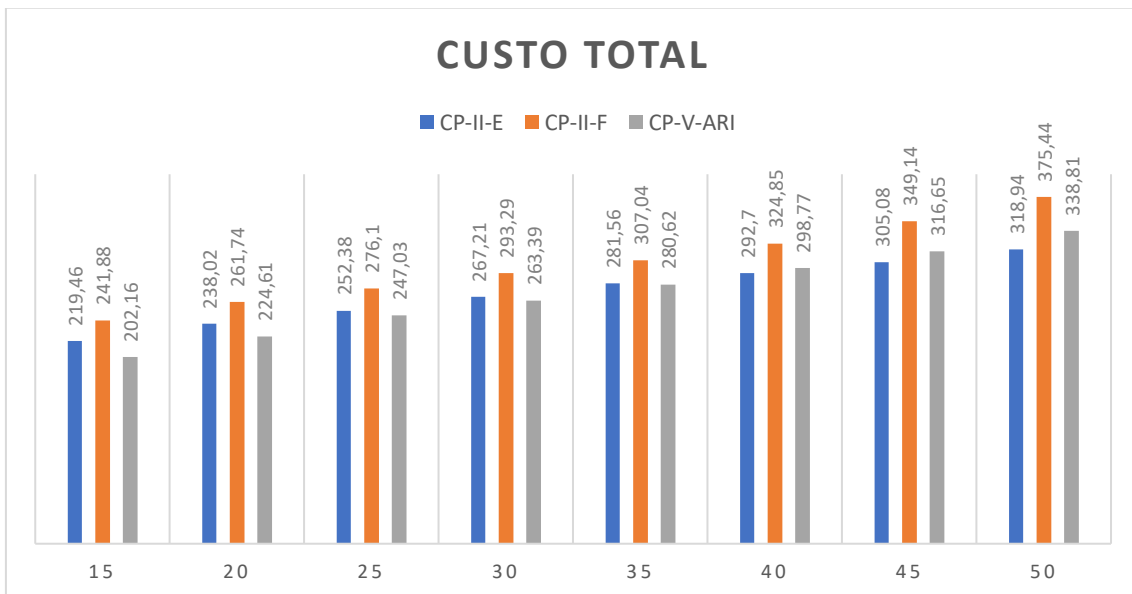
Fonte: autoria própria.

IMAGEM 1- GRÁFICO DE LINHA DO CUSTO TOTAL



Fonte: autoria própria.

IMAGEM 2- GRÁFICO DE COLUNAS DO CUSTO TOTAL



Fonte: autoria própria.

Com os auxílios dos dois gráficos e da tabela podemos perceber e analisar o custo total em cada caso, variando o f_{ck} e o tipo de cimento. A tabela nos dar os valores absolutos em cada situação, já no gráfico de linha podemos

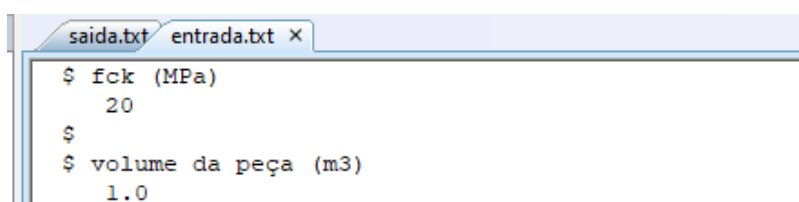
perceber a crescente dos valores e pelo gráfico de coluna ajuda na comparação dos valores absolutos.

6 FERRAMENTAS DESENVOLVIDAS

Como foi falado anteriormente foi desenvolvida um programa, com auxílio da linguagem Fortran, para identificação de qual tipo de cimento representa o menor custo total e mostrar o consumo de o custo de cada material. Para a exibição do arquivo de entrada e de saída foi utilizado um programa chamado TextPad, onde é um bloco de nota que se pode escrever texto.

A seguir será mostrado algumas imagens que servirá de exemplo e explicação do programa em execução.

IMAGEM 3- ARQUIVO DE ENTRA DO PROGRAMA

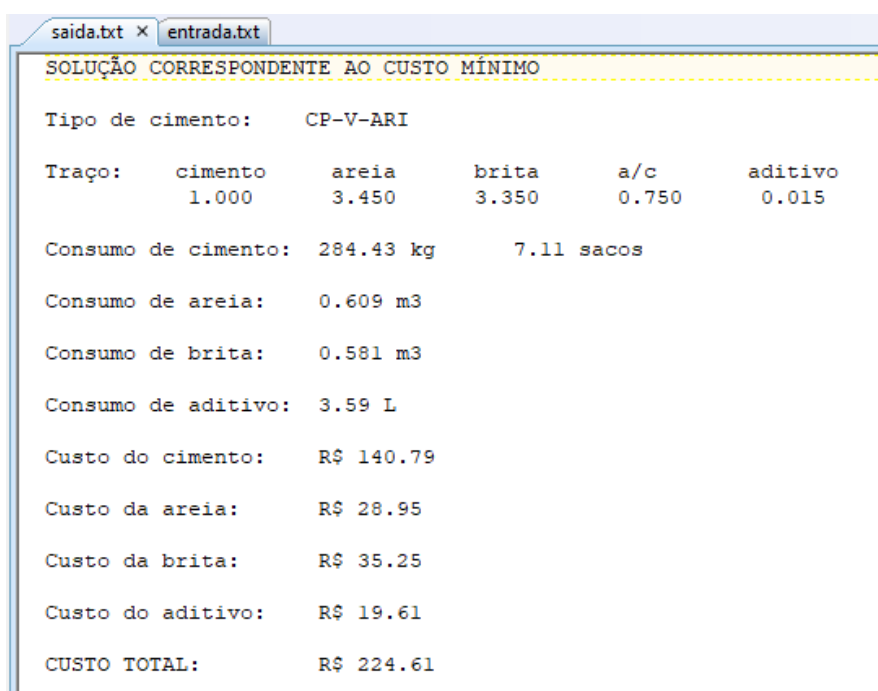


```
saida.txt  entrada.txt ×
$ fck (MPa)
  20
$
$ volume da peça (m3)
  1.0
```

Fonte: autoria própria.

No arquivo de entrada podemos perceber que os principais valores são os valores de f_{ck} e o volume da peça de concreto que será calculado, que são os valores mencionado anteriormente. Esses dois valores são variáveis e depende da finalidade do uso do concreto, vai depender da necessidade do cliente.

IMAGEM 4- ARQUIVO DE SAÍDA DO PROGRAMA



```
saida.txt x entrada.txt
SOLUÇÃO CORRESPONDENTE AO CUSTO MÍNIMO

Tipo de cimento:      CP-V-ARI

Traço:  cimento      areia      brita      a/c      aditivo
        1.000        3.450      3.350      0.750    0.015

Consumo de cimento:  284.43 kg      7.11 sacos
Consumo de areia:    0.609 m3
Consumo de brita:    0.581 m3
Consumo de aditivo:  3.59 L

Custo do cimento:    R$ 140.79
Custo da areia:      R$ 28.95
Custo da brita:      R$ 35.25
Custo do aditivo:    R$ 19.61
CUSTO TOTAL:         R$ 224.61
```

Fonte: autoria própria.

Como falado anteriormente no arquivo de saída será informado qual tipo de cimento me deu o menor custo, qual traço utilizado, consumo e o custo de cada material e o custo total que será necessário para realizar a mistura.

Com esse resumo podemos entender como ocorreu o funcionamento do programa que auxiliou na obtenção dos resultados.

7 CONCLUSÕES

Com o passar dos anos, cada vez mais, a economia dentro de um canteiro de obra torna-se mais relevante. Cada vez mais, os empresários exigem do engenheiro diminuição de custos. Por isso, o engenheiro precisa buscar novos métodos para minimizar os custos de uma obra.

O presente trabalho pretende dar um primeiro passo no sentido de construir uma ferramenta que auxilie na tomada de decisão do engenheiro quanto à escolha dos materiais mais adequados para uma obra (cimento e traço do concreto), isto é, dos materiais que conduzam ao menor custo total para a resistência do concreto que se deseja atingir (resistência característica à compressão do concreto).

Analisando primeiramente o consumo do cimento podemos perceber que o CP-II-F é o que tem o maior consumo em todos os traços, isso acontece, pois, esse tipo de cimento é um cimento considerado fraco, com isso para chegar ao f_{ck} desejado o seu consumo é maior. E já o que tem o menor consumo de cimento varia entre os outros dois tipos. Com f_{ck} 15 Mpa e 20 Mpa o cimento com menor consumo é o CP-V-ARI, e nos outros casos o com menor consumo de cimento é o CP-II-E.

Em contra partida o consumo da areia já é mais favorável para o cimento CP-II-F, que só não tem o menor consumo com o f_{ck} de 40 Mpa, que nesse caso o menor consumo é como o cimento de CP-V-ARI. Já o CP-II-E se encontra com o maior consumo na maioria dos casos, menos com F_{ck} de 15 Mpa e 20 Mpa que nesse caso é o CP-V-ARI tem o maior consumo. Na maioria dos casos o consumo de areia entre o CP-II-F e CP-V-ARI é bem próximo.

Em relação ao consumo de brita podemos perceber que o cimento que tem o menor consumo é o CP-V-ARI, em todos casos do f_{ck} . Já o maior consumo de brita fica variando entre os outros tipos de cimento analisado. O consumo de brita entre os tipos de cimento não teve uma grande diferença.

Já o consumo do aditivo está diretamente ligado ao consumo do cimento, com isso pode-se notar que onde terá o maior consumo de cimento é no cimento CP-II-F. E o menor varia da mesma forma que varia o consumo de cimento.

No ponto principal para a escolha do traço, o custo total, podemos perceber que o tipo de cimento que tem o maior custo é o CP-II-F, pois como foi falado anteriormente é o cimento mais fraco entre os mencionados, com isso seu consumo de matérias acaba aumentando e seu custo se torna mais elevado. Já os que tem menor custo varia entre os outros dois tipos de cimento. Dos 15 Mpa até os 35 Mpa o cimento mais vantajoso a ser utilizado é o CP-V-ARI, dos 40 Mpa até os 50 Mpa o que se torna mais barato é o CP-II-E.

Essas comparações pode-se perceber e ser analisada devido aos gráficos mostrados anteriormente. Graças a eles ficou mais fácil a compressão dos resultados e com isso facilita na escolha de qual tipo de cimento e traço utilizar.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O trabalho desenvolvido é um início para novos trabalhos acadêmicos que pode ser realizados no futuro. Pode-se perceber que os cálculos realizados foram basicamente para uma viga com dimensão adotada, de 1m^3 , e com traços de apenas 3 tipos de cimentos e com traços já determinado em pesquisa realizado por outro autor. Pode-se também ampliar para cálculos para outros tipos de elementos estruturais.

Esse trabalho pode levar curiosidade dos estudantes para desenvolver seus próprios traços e com todos os tipos de cimento Portland. Gerando um amplo acervo de traços dando uma maior certeza de economia na hora da escolha do traço e tipo de cimento que será utilizado no serviço.

Para ficar uma pesquisa mais ampla pode-se fazer um programa que além de dar um melhor traço e cimento possível encontrar a melhor dimensão do elemento estrutural e a taxa armadura.

Com isso podemos perceber que esse trabalho pode dar início a uma nova era nos trabalhos acadêmicos, visando sempre a otimização dos custos. Pois com o passar do tempo o lucro vem ganhando mais importância dentro da construção civil, mas nunca deixando a segurança do lado. E esses novos trabalhos que podem surgir pode revolucionar a construção civil.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, E.; IANO, J. **FUNDAMENTOS DA ENGENHARIA DE EDIFICAÇÕES**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. Tradução de: Alexandre Salvaterra, Amanda Elisa Barros Gehrke e Ana Luisa Jeanty de Seixas.

ANEPAC. **Perspectivas para o Setor de Agregados**. Disponível em: <<http://www.anepac.org.br/agregados/mercado>>. Acesso em: 30 maio 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Norma Técnica, 2014. Disponível em: <<http://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/abnt-6118-projeto-de-estruturas-de-concreto-procedimento>>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. Disponível em: <<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17827/material/NBR%20NM%2052%20-.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2019.

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO PROCESSO DE ORÇAMENTO: ESTUDO DE CASO EM UMA OBRA DE CONSTRUÇÃO CIVIL. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, v. 11, n. 1, 2011. Trimestral. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ac/v11n1/a07v11n1>>. Acesso em: 16 dez. 2019.

BARBOZA, M. R.; BASTOS, P. S. **TRAÇOS DE CONCRETO PARA OBRAS DE PEQUENO PORTE**. Concreto e Construções, v. XXXVI, n. 52, p.32-36, 2008. Disponível em: <http://www.p.feb.unesp.br/pbastos/site_paulo/Artigo%20Tracos%20Concreto-Paulo%20Bastos.pdf>.

CARVALHO, J. D. N. Sobre as origens e desenvolvimento de concreto. **Revista Tecnológica**, v. 17, n. 1, p.95-112, 2008. Disponível em: <<http://eduem.uem.br/laboratorio/ojs/index.php/RevTecnol/article/view/8169/5163>>.

Conheça os principais tipos de cimento e suas aplicações. 2019. Disponível em: <<https://www.institutodaconstrucao.com.br/blog/conheca-os-principais-tipos-de-cimento-e-suas-aplicacoes/>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

ESTRUTURA de Concreto Armado: Vigas. 2019. Disponível em: <<http://blogpraconstruir.com.br/etapas-da-construcao/vigas/>>. Acesso em: 30 maio 2019.

EQUIPE GRUPO SAN (Paraná). Grupo San (Org.). **A História do Aço na Construção Civil**. 2018. Disponível em: <<https://gruposansolucoes.com/blog/a-historia-do-aco-na-construcao-civil>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

LIMA, C. I. V.; COUTINHO, C. O. D.; AZEVEDO, G. G. C. **CONCRETO E SUAS INOVAÇÕES**. 2014. 1 v. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Ciências Exatas e Tecnológicas, Faculdade Integrada Tiradentes, Maceió, 2014.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. Tradução de: Ruy Alberto Cremonini.

NOVELLI, R. P. **História do aço na construção civil**. Disponível em: <<https://www.novesengenharia.com.br/historia-do-aco-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

OLIVEIRA, C. F. F. **Técnico em Desenho de Construção Civil**. São Luís: Editora Técnica do Brasil, 2014.

OLIVEIRA, Helio Martins de. Cimento Portland. In: BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção 1**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007. Cap. 3. p. 35-62.

PEREIRA, C. **Tipos de cimento: Características e especificações**. 2019. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-cimento/>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

PEURIFOY, R. L. *et al.* **PLANEJAMENTO, EQUIPAMENTO E MÉTODOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**. 8. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. Tradução de: Alexandre Salvaterra e Francisco Araújo da Costa.

SABENDO UM POUCO MAIS SOBRE CONCRETO. Portal do concreto. Disponível em: < <https://www.portaldoconcreto.com.br/o-que-e-concreto> >. Acesso em: 03 jun. 2019.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **04/2019: PREÇOS DE INSUMOS**. São Luís: Caixa Econômica Federal, 2019.

SOARES, Ivomar Brito *et al.* **UM TUTORIAL PARA PROGRAMAÇÃO EM VISUAL FORTRAN**. Passo Fundo: Cobenge, 2006.

VALVERDE, F. M. **AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL**. São Paulo: Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados Para Construção – ANEPAC., 2001. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes-economia-mineral/arquivos/agregados-para-construcao-civil.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2019.

XAVIER, Ivan. **Orçamento, planejamento e custos de obras**. São Paulo: Fupam, 2008.