

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 26/06/2021.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de São José do Rio Preto

Marcelo Scobosa

O problema da mistura em uma indústria de concreto

São José do Rio Preto
2020

Marcelo Scobosa

O problema da mistura em uma indústria de concreto

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Matemática, junto ao Programa de Pós-Graduação em Matemática, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Orientador: Prof. Dr. Silvio Alexandre de Araujo

Financiadora: CNPQ

São José do Rio Preto
2020

S421p Scobosa, Marcelo
O problema da mistura em uma indústria de concreto / Marcelo Scobosa. -- São José do Rio Preto, 2020
75 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto
Orientador: Silvio Alexandre Araujo

1. Indústria de concreto. 2. Otimização linear. 3. Problema da mistura. 4. Modelagem matemática. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Marcelo Scobosa

O problema da mistura em uma indústria de concreto

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Matemática, junto ao Programa de Pós-Graduação em Matemática, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CNPQ

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Silvio Alexandre de Araujo
Orientador

Prof. Dra. Eli Angela Vitor Toso
Engenharia de Produção - UFSCAR

Prof. Dr. Geraldo Nunes Silva
Matemática Aplicada - UNESP

São José do Rio Preto
26 de junho de 2020

Dedico esta dissertação à minha esposa Kivia, pelo apoio incondicional.
Dedico também ao meu orientador Prof. Dr. Silvio Alexandre de Araujo, pela
confiança, paciência, incentivo, amizade e excelente orientação.

Sem o apoio de ambos, este trabalho não teria sido realizado.

Esta dissertação é dedicada também a meus pais, José Scobosa (que com certeza
festeja lá de cima) e Maria Scobosa e todos os familiares que torcem por mim, dentre
eles meu irmão Gilberto.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Kivia por estar sempre ao meu lado e torcer para que meus objetivos tenham êxitos, principalmente pelo ingresso no Mestrado e sucesso deste projeto.

Ao professor Silvio Alexandre de Araujo, pela orientação totalmente eficiente, segura e objetiva, além de suas valiosas sugestões.

À UNESP - IBILCE pelo apoio sempre concedido.

Ao CNPQ pelo auxílio financeiro, colaborando desde o início para que este projeto se concretizasse.

Aos amigos do Mestrado, que sempre se colocaram à disposição para todo e qualquer auxílio.

Ao Samy, engenheiro responsável pela empresa foco desta dissertação, que sempre se mostrou bastante solícito, sempre atendendo rapidamente minhas solicitações referentes a dados, testes, informações para o encaminhamento do projeto.

Aos meus pais que me trouxeram ao mundo.

À Deus, por todo conhecimento provido em cada etapa deste projeto.

RESUMO

Diante da importância do ramo de construção civil, existem no Brasil muitas indústrias responsáveis pelo fornecimento do concreto para grandes obras, com sua dosagem sendo realizada nos conhecidos centros de dosagens. Ainda hoje, mesmo com muita tecnologia ao alcance industrial, as empresas em boa parte usam de métodos empíricos e baseados na experiência dos funcionários para se chegar a um composto final aceitável. A proposta deste trabalho visa obter um modelo matemático de otimização linear que minimize os custos com ingredientes, sob o âmbito do clássico problema da mistura em um viés multi produto, de maneira a satisfazer toda especificação técnica e parâmetros envolvidos com a tecnologia e engenharia do concreto. Neste estudo foram realizadas duas abordagens da mistura, sendo uma sem a utilização de aditivos, com o concreto sendo formado apenas pelos seus ingredientes usuais (cimento, água, agregado fino e agregado grosso) e outra com a incorporação do aditivo plastificante polifuncional retardador de pega. Um estudo comparativo foi realizado mostrando-se a importância do uso deste componente. Na abordagem do problema da mistura com aditivo, pelo motivo de sua influência ser totalmente específica, alterando as características da reação química existente, não existe uma equação universal e genérica de maneira a relacionar quantitativamente a influência do aditivo e compostos com parâmetros a serem atendidos. Para contornar esta questão foi necessário obter várias misturas aleatórias no centro de dosagem e avaliar como a quantidade de cada componente influencia nos parâmetros mais relevantes, especialmente o abatimento. Uma análise estatística foi realizada para se obter uma equação linear completa, a qual foi introduzida ao modelo. Vários testes de validação do modelo foram realizados, como medições laboratoriais e a formação de um gráfico de dosagem, através das soluções encontradas pelo modelo, totalmente coerente com as clássicas leis da tecnologia de concreto. Ademais, testes de viabilidade econômica foram realizados comparando-se as soluções encontradas com as utilizadas pela indústria, de

maneira empírica, durante um período de três meses.

Palavras-chave: Indústria de Concreto, Otimização Linear, Problema da Mistura, Modelagem Matemática.

ABSTRACT

Given the importance of civil construction industry, there are many industries in Brazil responsible for supplying concrete for major works, with its dosage being fulfilled in the well-known dosage centers. Even with the possibility of an easy technological access nowadays, concrete companies use empirical methods based on the experience of employees to reach an acceptable final blending. The purpose of this work is to obtain a linear optimization mathematical model that minimizes the costs with ingredients, under the multi product scope of the classic blending problem, in order to satisfy all technical specifications and parameters involved with concrete technology and engineering. In this study, two approaches to the blending problem were carried out, one without the use of additives, with the concrete being formed only by its usual ingredients (cement, water, fine aggregate and coarse aggregate) and the other with the incorporation of an additive retardant plasticizer polyfunctional. A comparative study was accomplished showing the importance of using this component. In the approach of the blending problem with additive, as its influence is totally specific, changing the characteristics of the existing chemical reaction, there is no a universal and generic equation in order to quantitatively relate the influence of the additive with parameters to be met. To get around this issue, it was necessary to obtain several random mixtures at the dosage center and assess how the quantity of each component influences the most relevant parameters, especially the slump. A statistical analysis was performed to obtain a complete linear equation, which was introduced to the model. Several tests of validation of the model were carried out, such as laboratory measurements and the formation of a dosage graph, through the solutions found by the model, totally coherent with the concrete technology classic laws. In addition, economic feasibility tests were carried out by comparing the solutions found with those used by the industry, in an empirical way, during a three month period.

Keywords: Concrete Industry, Linear Optimization, Blending Problem, Mathematical Modelling.

Lista de Figuras

| | | |
|-----|--|----|
| 1.1 | Produção de cimento no Brasil (década de 60 a 2018) - Fonte: SNIC . . . | 23 |
| 1.2 | Índice de intenção de investimento no setor de construção civil - Fonte: CNI | 23 |
| 2.1 | Abatimento do tronco de cone - Fonte: Mehta & Medeiro | 29 |
| 2.2 | <i>Slump Test</i> - Fonte: Concreto na construção civil: controle de qualidade, 2018 | 30 |
| 2.3 | valores de <i>slumps</i> em diferentes cenários - Fonte: RIPPER, 1995 | 31 |
| 2.4 | Curva de Abrams - Fonte: Próprio autor | 32 |
| 2.5 | Curva de Abrams para tipos de cimento distintos - Fonte: Clube do Concreto | 33 |
| 2.6 | Diagrama de dosagem - Fonte: Helene & Terzian | 36 |
| 4.1 | Baias de agregados - Fonte: Processo produtivo em uma indústria de artefatos de concreto | 46 |
| 4.2 | Silo de cimento - Fonte: Processo produtivo em uma indústria de artefatos de concreto | 47 |
| 4.3 | Reservatório de água - Fonte: Processo produtivo em uma indústria de artefatos de concreto | 47 |
| 4.4 | Painel de comando - Fonte: Próprio autor | 48 |
| 4.5 | Visão geral do processo produtivo - Fonte: Próprio autor | 49 |
| 5.1 | Regressão linear da Curva de Abrams - cimento CPV 40 - Fonte: Próprio autor | 52 |
| 6.1 | a/c x m - Fonte: Próprio autor | 67 |
| 6.2 | m x Consumo_Cimento - Fonte: Próprio autor | 67 |

Lista de Tabelas

| | | |
|------|---|----|
| 5.1 | Amostragem mix concreto | 56 |
| 5.2 | Análise de Regressão | 57 |
| 6.1 | Ingredientes: Custos e Características | 59 |
| 6.2 | Especificações Técnicas | 60 |
| 6.3 | Demanda Volumétrica | 60 |
| 6.4 | Resposta do modelo sem aditivo | 61 |
| 6.5 | Especificações resultantes | 61 |
| 6.6 | Custos de fabricação | 61 |
| 6.7 | Resposta do modelo com aditivo | 62 |
| 6.8 | Especificações resultantes(2) | 62 |
| 6.9 | Custos de fabricação(2) | 62 |
| 6.10 | Parâmetro previsto pelo modelo x Parâmetro real | 63 |
| 6.11 | Resultados mix pelos programas HS, NN, GA e Modelo Proposto . . . | 64 |
| 6.12 | Resultados módulo CAD | 64 |
| 6.13 | Resultados Modelo Proposto | 65 |
| 6.14 | Soluções modelo linear: a/c x m | 66 |
| 6.15 | Soluções modelo linear: m x Consumo | 66 |
| 6.16 | Volume vendido em novembro | 68 |
| 6.17 | Volume vendido em outubro | 68 |
| 6.18 | Volume vendido em setembro | 68 |
| 6.19 | Custos por traços de concreto | 68 |
| 6.20 | Custos por traços de concreto CPLEX | 69 |

Sumário

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introdução | 21 |
| 1.1 | Justificativas | 23 |
| 1.2 | Objetivo | 24 |
| 1.3 | Estrutura do Trabalho | 25 |
| 2 | Conceitos e Características do Concreto | 27 |
| 2.1 | Concreto | 27 |
| 2.2 | Estado Fresco | 28 |
| 2.3 | Estado Endurecido | 31 |
| 2.4 | Métodos de Dosagem | 33 |
| 2.4.1 | Método IPT/EPUSP | 34 |
| 2.5 | Aditivos | 36 |
| 3 | Revisão Bibliográfica | 39 |
| 4 | O Processo Produtivo | 45 |
| 4.1 | A Empresa | 45 |
| 4.2 | Unidade de Insumos | 45 |
| 4.2.1 | Baias de Agregados | 46 |
| 4.2.2 | Silo de Cimento | 46 |
| 4.2.3 | Reservatório de Água | 47 |
| 4.3 | Unidade de Produção | 48 |
| 5 | Modelagem Matemática | 51 |
| 5.1 | Equações Paramétricas | 51 |
| 5.2 | Formulação Matemática sem Aditivo | 53 |
| 5.3 | A Influência dos Aditivos | 54 |
| 5.3.1 | Dados Experimentais | 55 |
| 5.3.2 | Formulação Matemática com Aditivo | 57 |
| 6 | Resultados Computacionais | 59 |
| 6.1 | Abordagem sem Aditivos | 59 |
| 6.2 | Abordagem Aditivada | 61 |
| 6.3 | Análise de Resultados | 62 |
| 6.3.1 | Comparação com Abordagens da Literatura | 63 |
| 6.3.2 | Verificação das Leis Universais da Engenharia de Concreto | 65 |
| 6.3.3 | Análise Financeira | 67 |
| 7 | Conclusões e Propostas Futuras | 71 |

1 Introdução

O setor de construção civil encontra-se em constante evolução devido ao crescimento socioeconômico do país, sendo o concreto o principal insumo compatível com este segmento devido a suas propriedades tanto no estado fresco, em que se verifica um composto com alto índice de plasticidade, possibilitando facilmente sua modelagem conforme a forma desejada, quanto em seu estado endurecido, em que possui alta resistência à compressão, propriedade extremamente relevante para se atender a segurança da obra contratada.

Historicamente, há uma unanimidade entre pesquisadores que os romanos foram os primeiros a usar o concreto em larga escala, quando descobriram que misturando-se a cinza vulcânica com cal hidratada obtinham uma pasta que endurecia sob a água. Com o composto final, chegaram à construção do Coliseu e do Panteão. O concreto segue em crescente evolução desde os tempos de Roma, com a engenharia aliada à tecnologia buscando cada vez mais encontrar formulações para que os produtos tenham maior durabilidade, confiabilidade, eficiência e menor custo envolvido.

O concreto de cimento do tipo Portland é o material de construção civil mais utilizado em obras e também o mais consumido em escala mundial [1]. O concreto propriamente dito é uma mistura homogênea obtida entre um aglomerante (cimento Portland), agregados miúdos (areia fina, areia média), agregados graúdos (brita, pedrisco) e água [2], além da presença de aditivos químicos utilizados em pequena escala visando redução de custo e melhoria em várias de suas propriedades, tanto em seu estado fresco quanto endurecido [3] e são cada vez mais empregados nas indústrias de concreto.

A dosagem destes componentes em proporções adequadas é o principal objetivo de qualquer centro de dosagem, culminando em uma mistura (concreto) compatível com as especificações técnicas exigidas em projeto. Diante do cenário de competitividade industrial cada vez mais exacerbado, entregar um composto simplesmente aceitável pode fazer a empresa cada vez mais perder clientes e se extinguir do mercado; portanto a busca incessante por um produto final em seu estado de otimalidade, ou seja, que atenda todos os critérios exigidos de qualidade e segurança com o menor custo possível, deve ser sempre tratada como prioridade.

O maior responsável para que a mistura tenha o comportamento citado é o cimento, pois somente ele possui a capacidade de aumentar a viscosidade do concreto, o que propicia uma melhor interação entre os agregados durante o processo, reduzindo os espaços vazios e, conseqüentemente, formando uma mistura homogênea com a resis-

tência suficiente e necessária para segurança do projeto.

Diante do exposto, o consumo de concreto vem aumentando em escala global, já que sua utilização se dá na construção dos principais segmentos de infraestrutura, como portos, aeroportos, usinas, edifícios (apartamentos, shopping centers), pavimentação (ciclovias, calçadas, praças, parques), dentre outros. No Brasil, o concreto produzido e transportado por centrais dosadoras para as obras envolvidas gira em torno de 30 milhões de metros cúbicos anuais, valor inferior apenas ao consumo de água [4]. De acordo com o SNIC (2019), 52,7 milhões de toneladas de cimento foram vendidas no país em 2018, mas foi em 2014 que seu consumo atingiu o ápice no Brasil, atingindo a marca de quase 72 milhões de toneladas. Esta diferença significativa é facilmente justificada pela crise econômica sofrida pelo país a partir de 2016. A Figura 1.1 ilustra o consumo de cimento desde meados da década de 60.

De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), o setor de construção civil tem perspectiva de crescimento de 3% para o ano de 2020, o que pode gerar 150 mil novos empregos e também houve um aumento na intenção de investimentos no setor pelos empresários de construção segundo estudo realizado pela Confederação Nacional da Indústria (CNI), mostrando que os investidores acreditam no crescimento do setor em 2020, conforme Figura 1.2. O índice de intenção de investimento chegou a 42.2 pontos em dezembro de 2019, sendo o maior desde 2014. Observa-se que tais perspectivas foram tratadas antes da pandemia ocasionada pelo COVID-19 e que vem assolando o mundo nas últimas semanas. Possivelmente, devido às consequências econômicas, essas perspectivas terão que ser revistas.

Diante dos números bastante relevantes e expressivos do setor de construção civil e sua importância macroeconômica para o país, o uso do concreto deve também ser analisado com certo cuidado no quesito impacto ambiental devido a alta presença de cimento, componente da mistura de maior impacto ambiental em virtude da emissão de dióxido de carbono e elevado consumo energético para o trabalho exigido em seu processo de fabricação [5].

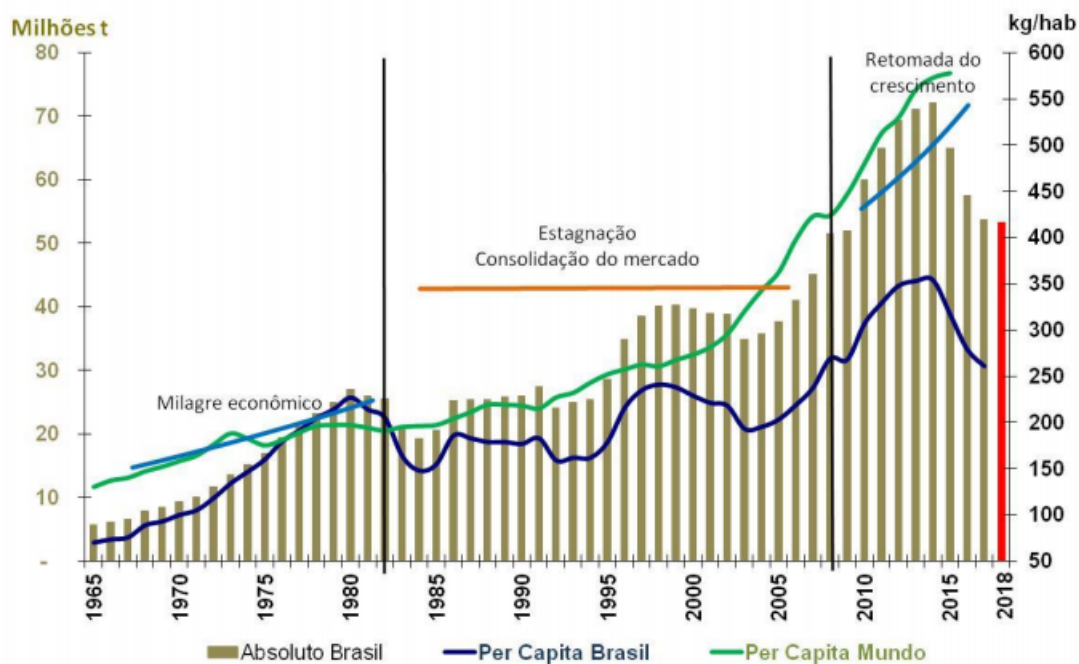


Figura 1.1: Produção de cimento no Brasil (década de 60 a 2018) - Fonte: SNIC

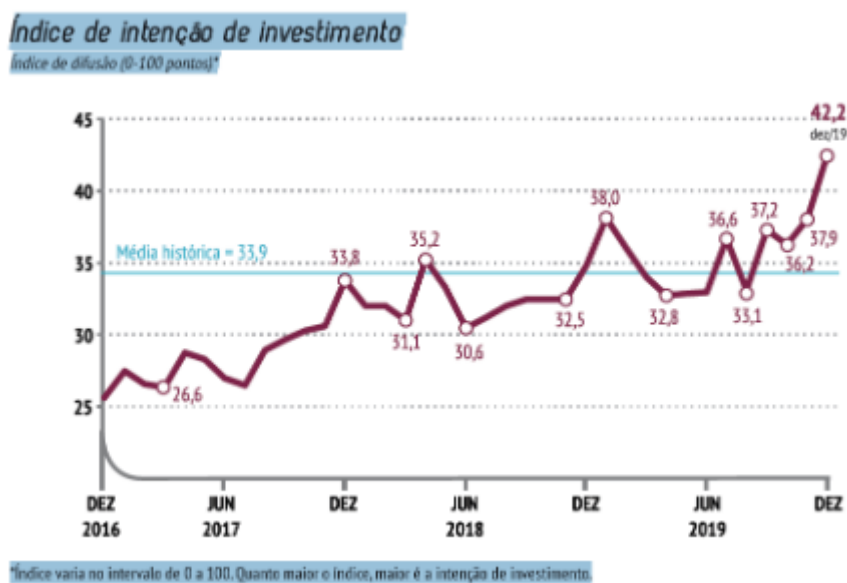


Figura 1.2: Índice de intenção de investimento no setor de construção civil - Fonte: CNI

1.1 Justificativas

Atualmente a empresa, objeto da pesquisa deste trabalho, não dispõe de uma ferramenta eficaz capaz de retornar a melhor dosagem possível, possuindo como suporte para o engenheiro, que se utiliza de sua experiência, o uso de ábacos que fornecem alguns intervalos pertinentes e relações admissíveis entre os componentes da matéria-prima. Neste cenário, via de regra, a mistura obtida tem que passar por etapas de

redosagem até se atingir características técnicas e visuais plenamente admissíveis, podendo o método ser classificado a princípio como tentativa e erro, sem nenhum viés de otimização a ser levado em consideração.

Como motivação inicial para este trabalho tem-se o uso e a aplicação de ferramentas de modelagem em uma empresa do setor como forma de auxiliar as tomadas de decisões, gerando economia e prevendo, com certo grau de confiabilidade, os valores correntes dos principais parâmetros exigidos para cada tipo de produto final, principalmente com a utilização de aditivos, que alteram significativamente as propriedades originais do concreto. O uso de aditivos é de extrema relevância para a melhoria de determinadas propriedades químicas do concreto, permitindo sua ampla variedade de aplicação, com vantagens econômicas e ambientais, pois permitem a redução de água e consequentemente de cimento no concreto, e ainda assim, melhoram sua trabalhabilidade ou efeito *slump* [6]. Define-se *slump* como um parâmetro que mede a consistência do concreto visando conferir a trabalhabilidade necessária.

Neste trabalho, considera-se para a confecção das restrições o uso de intervalos encontrados por pesquisadores em estudos específicos sobre o comportamento do concreto e a influência de cada matéria-prima e suas relações no composto final. Dessa forma, o modelo é fundamentado para que se consiga atingir um resultado satisfatório de qualidade. Na literatura, existe uma relação que foi utilizada nesta dissertação e representa, matematicamente, o comportamento do *slump* de maneira generalizada (para o concreto não aditivado); no entanto, devido às variações de cada componente do concreto e ao complexo dimensionamento da reação química envolvida entre eles, é extremamente complicado se obter modelos com 100% de confiabilidade para tais características, pois variam conforme temperatura, umidade, tipos de cimento, granulometria dos agregados, etc. Ademais, por uma linearização da lei de Abrams (equação não linear que diz que a resistência à compressão do concreto é inversamente proporcional à sua relação água-cimento) foi extraído o comportamento da resistência para o tipo de cimento utilizado na indústria abordada.

1.2 Objetivo

Este trabalho visa, em parceria com uma empresa de fabricação de concreto alocada no interior do Estado de São Paulo, através do uso de um modelo matemático de programação linear, buscar a melhor composição da mistura com o menor custo possível, de maneira a satisfazer as especificações técnicas exigidas pelo cliente, em especial a resistência de projeto e o *slump* para vários tipos de produtos distintos, ou seja, em uma abordagem multi produto.

Serão realizados dois estudos, sem aditivo e com aditivo na mistura final. Para o segundo caso, devido à ausência de referências e equações coerentes que simplifiquem a relação entre a variável dependente *slump* e as variáveis independentes referentes à proporção entre os elementos constituintes do produto final, foram colhidas várias amostras com o objetivo de se chegar a uma regressão linear múltipla para o *slump* que possa atender, de maneira eficiente, o modelo com aditivo. Pelas clássicas leis de Abrams, Lyse e Molinari referentes à engenharia do concreto no quesito dosagem o

modelo resultante seria não linear.

1.3 Estrutura do Trabalho

A presente dissertação está organizada em capítulos, conforme segue abaixo:

No Capítulo 1 é feita uma introdução ao tema, apresentando um quadro geral sobre o concreto visto sob o problema da mistura, além de uma abordagem geral do mesmo no Brasil sob o aspecto evolutivo e econômico. De maneira complementar, uma motivação para o trabalho e objetivos a serem alcançados foram incluídos.

No Capítulo 2 é apresentado uma avaliação teórica sobre o concreto incluindo suas principais propriedades nos estados fresco e endurecido, estudos de dosagens, apresentação das leis de Abrams, Lyse e Molinari e o uso de aditivos.

No Capítulo 3 é realizado uma revisão bibliográfica com enfoque no concreto, ou seja, apresentação de artigos sobre otimização e métodos utilizados para resolver o problema de mix de concreto.

No Capítulo 4 é descrito o processo produtivo da empresa foco deste trabalho, bem como, os materiais envolvidos.

No Capítulo 5 são apresentados os modelos matemáticos e todo processo até se chegar nas principais equações que regem o modelo comportamental do concreto. Detalhou-se o mix de concreto testado em centro de dosagem relacionando cada quantidade com a medida do *slump*, além de uma análise estatística de validação.

No Capítulo 6 são apresentados os resultados obtidos e uma análise bem detalhada para cada tipo de abordagem (com e sem aditivo). Nesta etapa, o leitor será munido de dados reais e utilizados na empresa. Comparações com outros autores, adequação às leis clássicas e análise econômico financeira estão presentes.

No Capítulo 7 são feitas considerações finais, apontando as principais conclusões tiradas da dissertação.

7 Conclusões e Propostas Futuras

Neste trabalho, foi desenvolvido um método para otimização da mistura de concreto utilizando-se de uma abordagem pertinente à otimização linear, em um cenário multi produto. Verificou-se, com base em comparações literárias e observações laboratoriais, que o método utilizado obteve êxito em todas as suas abordagens, gerando misturas com o menor custo possível e satisfazendo principalmente as especificações de projeto no fator *slump* e resistência à compressão, além de outros como fator de argamassa e consumo mínimo de cimento.

O modelo apresenta como vantagens o fato de prever os valores correntes para qualquer parâmetro, dentro de uma faixa aceitável, antes mesmo de se iniciar testes empíricos e laboratoriais e também, para a empresa, poder trabalhar com um software em *Excel*, visto que o solver interno do software é adaptado para otimização linear, possuindo o benefício de ser extremamente simples, rápido e eficiente, características essenciais para os objetivos da empresa considerada. Com isso, a mesma pode se desfazer da realização dos testes de dosagem e redosagem que consomem tempo e valor monetário e obviamente fornecem um composto final com um gap de otimalidade considerável, como os que estavam sendo utilizados anteriormente.

O modelo linear mostrou-se altamente aceitável para as faixas utilizadas no dia a dia da empresa, principalmente na adição de aditivo químico, em que através de uma análise e amostragem estatística consegue-se obter uma relação linear confiável do parâmetro *slump* com os ingredientes. Mesmo utilizando-se de abordagem exclusivamente linear, a resposta fornecida pelo modelo é totalmente compatível com os regimentos das leis de Abrams, Lyse e Molinari.

O trabalho também demonstrou as diferenças e vantagens econômicas no uso de aditivos comparativamente ao concreto sem nenhum aditivo incorporado. Em alguns casos, observou-se que a redução do consumo de cimento chegou a mais de 20% para o mesmo tipo de concreto.

Observando-se as vendas da empresa em um trimestre, chegou-se à conclusão que o uso do modelo aqui apresentado forneceu uma economia de mais de 3% ao mês em comparação ao traço que a empresa vinha utilizando. Apesar do objetivo principal ser a criação de uma ferramenta capaz de passar confiança ao engenheiro responsável, evitando-se redosagens, testes laboratoriais para obtenção de um novo traço e problemas na obra, a utilização do modelo conseguiu obter uma economia mensal superior a dez mil reais. Consegue-se também, em um intervalo de tempo próximo a um se-

gundo, obter o consumo de cada ingrediente para qualquer horizonte de planejamento, possibilitando assim efetuar um planejamento de insumos em um tempo bem anterior à execução da mistura propriamente dita e como consequência reduzir estoque dos ingredientes.

Como propostas futuras pretende-se aprimorar a ferramenta desenvolvida e elaborar uma versão para o Solver de Excel, de tal maneira que a empresa possa utilizar e usufruir dos benefícios da mesma. Além disso observou-se que a empresa citada sofre com um problema logístico, em que algumas vezes alguns caminhões ficam parados aguardando todo o tempo para a finalização do processo de carregamento, gerando filas para abastecimento e conseqüentemente atrasos no início da obra subsequente. Este problema acaba gerando um efeito cascata, pois com a mudança de um caminhão misturador para outro, quase via de regra, mudam-se as especificações do produto e o processo deve ser recommçado da etapa inicial de pesagem dos agregados, visto que não se aproveita o produto anteriormente utilizado. Ademais, a ferramenta desenvolvida neste trabalho pode ser utilizada como base para outras empresas de concreto em uma abordagem multi período, visando controlar estoques de matéria prima e produto final (Neste caso específico, a empresa deve atuar com blocos de concreto e não com o mesmo em estado fresco, visto que não há como estocar nesta situação, que é o caso da empresa abordada).

Referências

- [1] P. K. Mehta and P. J. Monteiro, *Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*. São Paulo: IBRACON, 2 ed., 2014.
- [2] W. D. Callister Junior and D. G. Rethwisch, *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. Rio de Janeiro: LTC, 8 ed., 2012.
- [3] R. Rixom and N. Mailvaganam, *Chemical admixtures for concrete*. Crc Press, 3 ed., 1999.
- [4] F. PEDROSO, “Concreto: Material construtivo mais consumido no mundo,” *Revista Concreto & Construções*. Ano XXXVII, no. 53, 2009.
- [5] J. A. R. d. Lima, *Avaliação das conseqüências da produção de concreto no Brasil para as mudanças climáticas*. PhD thesis, Universidade de São Paulo, 2010.
- [6] “Aditivos: a química a favor da qualidade e da produtividade.” <http://sinaprocim.org.br/portal/wp-content/uploads/2015/10/produtos-de-cimento-02.pdf>, 2015.
- [7] P. K. Mehta, P. J. Monteiro, and A. Carmona Filho, *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: Pini, 1994.
- [8] H. M. T. Lopes, *Aplicação do conceito de empacotamento de partículas na otimização de dosagem de concretos de cimento Portland*. PhD thesis, Universidade de São Paulo, 2019.
- [9] P. Helene and B. Tutikian, *Dosagem dos concretos de cimento Portland*. São Paulo: Geraldo Cechella Isaia, ed. Concreto: Ciência e Tecnologia, IBRACON, 1 ed., 2011. cap. 12.
- [10] A. M. Neville, *Propriedades do concreto*. São Paulo: Pini, 2 ed., 1997.
- [11] L. A. FALCÃO BAUER *et al.*, “Materiais de construção,” *Livros Técnicos e científicos Editora S/A-1985*, 1994.
- [12] V. C. Campiteli, “Concreto de cimento portland: um método de dosagem,” *Revista UM*, no. 20, 2004.
- [13] A. J. BOGGIO, “Estudo comparativo de métodos de dosagem de concreto de cimento portland. 2000. 182 f,” *Monografia (Pós-graduação)–Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre*, 2000.

-
- [14] J. Vasconcellos, “Fundamentos da dosagem racional dos concretos,” *Palestra proferida do Ibracon em 30/11/1977, em São Paulo*, 1977.
- [15] D. R. d. Silva, *Estudo de inibidores de corrosão em concreto armado, visando a melhoria na sua durabilidade*. PhD thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.
- [16] B. M. Toralles, Á. F. do Couto, G. S. F. Nogueira, G. F. B. Sandoval, G. P. Alves, I. C. de Souza, and R. S. Paulino, “Estudo comparativo de diferentes métodos de dosagem de concretos convencionais,” *REVISTA DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA*, vol. 10, no. 1, pp. áginas–184, 2018.
- [17] G. C. Isaia *et al.*, “Concreto: ensino, pesquisa e realizações,” *São Paulo: IBRA-CON*, vol. 2, 2005.
- [18] “Aditivos para concreto.” <http://www.abesc.org.br/pdf/manual.pdf>, 2007.
- [19] C. T. Hartmann and P. R. Helene, “Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos de cimento portland,” Master’s thesis, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.
- [20] S. Ahmad and S. Alghamdi, “A statistical approach to optimizing concrete mixture design,” *TheScientificWorldJournal*, vol. 2014, 2014.
- [21] M. Shariq, J. Prasad, and A. Ahuja, “Optimization of concrete mix proportioning,” *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 2, no. 7, pp. 22–28, 2012.
- [22] S. Ahmad, “Optimum concrete mixture design using locally available ingredients,” vol. 32, 2007.
- [23] R. Saboya, E. Tozzo, S. Cotrim, E. Galdamez, and G. C. Lapasini Leal, “Optimization of aggregate mixture to paver production using linear programming,” *DYNA*, vol. 84, pp. 42–48, 2017.
- [24] J.-H. Lee, Y.-S. Yoon, and J. Kim, “A new heuristic algorithm for mix design of high-performance concrete,” *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 16, 2012.
- [25] I.-C. Yeh, “Computer-aided design for optimum concrete mixtures,” *Cement and Concrete Composites*, vol. 29, no. 3, pp. 193–202, 2007.
- [26] K. Sobolev, “The development of a new method for the proportioning of high-performance concrete mixtures,” *Cement and Concrete Composites*, vol. 26, pp. 901–907, 2004.
- [27] A. Lotfy, K. Hossain, and M. Lachemi, “Lightweight self-consolidating concrete with expanded shale aggregates: Modelling and optimization,” *International Journal of Concrete Structures and Materials*, vol. 9, 2015.
- [28] M. Moini, “The optimization of aggregate blends for sustainable low cement concrete,” *Construction and Building Materials*, vol. 93, p. 627–634, 2015.
- [29] C. EFFTING, “Propriedades do concreto fresco e endurecido,” *Joinville: Udesc*, vol. 59, 2014.

-
- [30] P. Manuel and D. Dal Molin, “Influência do tipo de agregado graúdo na dosagem de concretos convencionais,” *SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO O BETÃO NAS ESTRUTURAS*, pp. 9–16, 2005.
- [31] B. F. Tutikian, “Método para dosagem de concretos auto-adensáveis,” Master’s thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.
- [32] C. Corrêa, “Estudo do desempenho dos aditivos plastificantes e polifuncionais em concretos de cimento portland tipo cpiii-40,” in *Anais do 52 Congresso Brasileiro do Concreto, Fortaleza, Ceará, Brasil*, 2010.
- [33] F. De Larrard, *Concrete mixture proportioning: a scientific approach*. CRC Press, 1999.
- [34] P. M. Rodolpho, “Estudo do comportamento do concreto no estado fresco contendo areia britada,” Master’s thesis, Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília, 2007.
- [35] M. DeRousseau, J. Kasprzyk, and W. Srubar III, “Computational design optimization of concrete mixtures: A review,” *Cement and Concrete Research*, vol. 109, pp. 42–53, 2018.
- [36] T. Roshavelov, “Prediction of fresh concrete flow behavior based on analytical model for mixture proportioning,” *Cement and Concrete Research - CEM CONCR RES*, vol. 35, pp. 831–835, 2005.
- [37] C. Okere, “Simplex-based concrete mix design,” *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, vol. 5, pp. 46–55, 2013.
- [38] I. Yeh, “Modeling slump flow of concrete using second-order regressions and artificial neural networks,” *Cement and Concrete Composites*, vol. 29, pp. 474–480, 2007.
- [39] G. d. R. Gonçalves, “Análise da influência da água de amassamento contaminada por elementos químicos oriundos de mineração de carvão nas propriedades do concreto,” 2017.