



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

CAMPUS DO SERTÃO

ENGENHARIA CIVIL

CAIO LIMA SANTOS

**Ferramenta computacional para auxílio na estimativa
do custo das perdas na produção *in loco* de concreto
armado**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Delmiro Gouveia
17 de Novembro de 2017

CAIO LIMA SANTOS

**Ferramenta computacional para auxílio na estimativa
do custo das perdas na produção *in loco* de concreto
armado**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal de Alagoas - Campus do Sertão, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Alverlando Silva Ricardo
Coorientador: Alexandre Nascimento de Lima

Delmiro Gouveia
17 de Novembro de 2017

CAIO LIMA SANTOS

Ferramenta computacional para auxílio na estimativa
do custo das perdas na produção in loco de concreto
armado

S237f Santos, Caio Lima

Ferramenta computacional para auxílio na estimativa do
custo das perdas na produção in loco de concreto armado /
Caio Lima Santos. - 2017.

91f.: il.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade
Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2017.

Orientação: Prof. Alverlando Silva Ricardo.

1. Concreto Armado. Ferramenta Computacional. 3. Perdas.

CDU 624.012.45

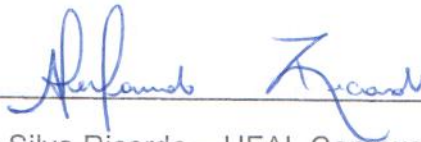
Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Campus Sertão/
UFAL – Delmiro Gouveia

Delmiro Gouveia
17 de Novembro de 2017

AUTOR: CAIO LIMA SANTOS

**FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA AUXÍLIO NA
ESTIMATIVA DO CUSTO DAS PERDAS NA PRODUÇÃO IN
LOCO DE CONCRETO ARMADO**

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado para a obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo Colegiado do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão, em 07 de Dezembro de 2017.



Prof. Msc. Alverlando Silva Ricardo – UFAL Campus do Sertão (Orientador)

Banca examinadora:




Prof. Msc. Karlisson André Nunes da Silva – UFAL Campus do Sertão

(Avaliador interno)



Prof. Msc. Vinicius Costa Correia – UFAL Campus do Sertão (Avaliador interno)



Prof. Msc. Alverlando Silva Ricardo – UFAL Campus do Sertão

(Avaliador interno)

Agradecimentos

Ao meu pai (Landy), que sempre guiou os meus passos, se fez presente do início ao fim e lutou muito (até mesmo mais do que o que eu posso imaginar) para tornar esse sonho real. Obrigado por ser a luz que eu sigo.

À minha mãe (Simone), por ter sido o meu porto seguro durante todos esses anos, independente do que eu enfrentar, depois de tudo, sei que ela estará lá.

À toda a minha família, por terem sempre acreditado que isso era possível e pelo apoio em todos os momentos.

Ao Professor Me. Alverlando Silva Ricardo, orientador do presente trabalho, pela atenção e dedicação conferidas.

Ao Professor Me. Alexandre Nascimento de Lima, coorientador do presente trabalho, cujas dicas também foram fundamentais para a execução do estudo.

Ao Professor Dr. Márcio André Araújo Cavalcante, que não faz mais parte do corpo docente da UFAL-Sertão, mas que foi o responsável por despertar em mim o interesse pela computação, em 2014, durante as suas aulas de Cálculo Numérico.

A todos os professores do corpo docente da UFAL-*Campus* do Sertão, por todo o conhecimento que me foi passado. Todos contribuíram muito para a minha formação.

A todos os meus amigos, pelos momentos alegres partilhados e pelos laços criados durante os meus anos de sertão, especialmente ao Thiago “Imperador” Veras, pela amizade sincera e leal e por todos os momentos compartilhados desde Janeiro de 2013. Que a Magia esteja com todos vocês.

À minha amiga Anne Elizabeth e à toda a sua família, vocês não fazem ideia de como a forma que me acolheram foi importante para mim por todos esses anos.

Ao Eng. Abrahão Lincoln P. de Souza, pela paciência e por toda a orientação durante um ano e meio do estágio mais enriquecedor que eu poderia ter tido. Sempre será a minha maior referência na profissão de Engenheiro Civil.

*“Talvez não só por si, mas pela mãe,
pelo pai, pelos mais que cada amava,
antes de eterna chama ser também.”
(Dante Alighieri, 1321)*

Resumo

A produção do concreto em canteiros de obras leva, inevitavelmente, ao desperdício de parte desse material. Em um mercado cada vez mais competitivo no setor da construção civil, o desperdício de materiais torna-se inviável tanto do ponto de vista econômico, onerando desnecessariamente a construção, quanto ambiental, incrementando a geração de resíduos do setor. Desta forma, o presente trabalho tem por finalidade estimar o possível custo dessas perdas e avaliá-las como evitáveis ou inevitáveis. Para isso, foi implementada, na linguagem *MATrix LABoratory* (MATLAB), uma ferramenta computacional com interface gráfica própria e executável em qualquer computador provido do sistema operacional *Windows*. A partir do programa criado, foi feita a análise das perdas na produção de concreto *in loco* em uma obra na cidade de Delmiro Gouveia-Al. Concluiu-se, no estudo de caso efetuado, que o custo atrelado ao desperdício de insumos foi consideravelmente alto, chegando a pouco mais de 21% do custo total do concreto produzido.

Palavras-chave: Ferramenta computacional. Concreto armado. Perdas.

Abstract

The concrete production in construction sites inevitably leads to the waste of some of this material. In an increasingly competitive market in the construction sector, the waste of materials becomes unfeasible both from an economic point of view, unnecessarily burdening construction, and environmental, increasing the generation of waste in the sector. Therefore, the present work aims to estimate the possible cost of these losses and to evaluate them as avoidable or unavoidable. For this, was implemented, in the MATrix LABoratory (MATLAB) language, a computational tool with its own graphical interface and executable on any computer equipped with the Windows operating system. From the program created, the analysis of the losses in the production of concrete *in loco* was made in a building in the city of Delmiro Gouveia-AI. It was concluded, in the case study carried out, that the cost associated with the wastage of inputs was considerably high, reaching a little more than 21% of the total cost of the concrete produced.

Key words: Computational tool. Reinforced concrete. Waste.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Comparação entre concretos Caldas Branco e concretos comuns	25
Figura 2 – fck vs. consumo de aço por m ³	31
Figura 3 – Análise qualitativa das perdas	35
Figura 4 – Interface gráfica do programa criado	50
Figura 5 – Verificação das medidas internas das padiolas utilizadas	57
Figura 6 – Pás utilizadas para encher as padiolas	58
Figura 7 – Colocação dos agregados na betoneira com o uso das padiolas	58
Figura 8 – Lançamento do concreto no ponto de concretagem	59
Figura 9 – Área concretada pelos dez traços (3,45 x 3,90 metros)	60
Figura 10 – Primeira profundidade de concreto (8 cm)	60
Figura 11 – Segunda profundidade de concreto (6 cm)	61
Figura 12 – Terceira profundidade de concreto (6,5 cm)	61
Figura 13 – Quarta profundidade de concreto (11,5 cm)	62
Figura 14 – Quantidade final de cimento (7 sacos)	63
Figura 15 – Volume final de areia, a cubagem indicou volume aproximado de 3,5 m ³	63
Figura 16 – Volume final de brita, a cubagem indicou um volume aproximado de 2 m ³	64
Figura 17 – Trecho da viga baldrame concretada na segunda análise	65
Figura 18 – Carrinhos utilizados no transporte do cimento	66
Figura 19 – Processo de inserção de cimento na betoneira	67
Figura 20 – Transporte do concreto recém-preparado	67
Figura 21 – Adensamento do concreto estrutural	68
Figura 22 – Estoque de brita no canteiro	69
Figura 23 – Estoque final após a análise (0,5 m ³)	69
Figura 24 – Estoque de areia após a segunda análise (5,1 m ³)	70
Figura 25 – Estoque final de aço, após o preparo da armação da viga baldrame	71
Figura 26 – Perdas na produção dos 540 m ³ de concreto da BR 047	74
Figura 27 – Perdas de cimento na produção de concreto <i>in loco</i> na BR 017	75
Figura 28 – Perdas de cimento na produção de concreto <i>in loco</i> na BR 017	75
Figura 29 – Resultados encontrados na primeira análise	76
Figura 30 – Resultados encontrados na segunda análise	77
Figura 31 – Recebimento do caminhão carregado de areia	79
Figura 32 – Quantidades grandes de impurezas em meio aos agregados	80
Figura 33 – Pilhas de 10 sacos de cimento sobre estrados de madeira	81
Figura 34 – Aço remanescente do corte	83
Figura 35 – Diversos pontos em que o concreto não foi lançado dentro da fôrma	84

Lista de tabelas

Tabela 1 – Custo do m ³ do concreto com preparo manual e estimativa para os 20 milhões de m ³ da produção nacional em 2012	21
Tabela 2 – Custos de matéria prima e R\$/MPa para concretos usuais	23
Tabela 3 – Variação da resistência à compressão em função do fator água/cimento	26
Tabela 4 – Expressões de correlação f_t/f_c	29
Tabela 5 – Consumo de aço conforme a classe de resistência do concreto estrutural	31
Tabela 6 – Consumo esperado de aço para cada traço Caldas Branco	33
Tabela 7 – Perdas de insumos na produção de concreto armado (em %)	39
Tabela 8 – Perdas na produção de concreto armado	39
Tabela 9 – Dados de perdas em canteiros de obras espalhados por 12 estados brasileiros	40
Tabela 10 – Indicador global de perdas de brita na produção <i>in loco</i> de concreto armado	40
Tabela 11 – Estimativa de custo das perdas de concreto nacionais em 2012	41
Tabela 12 – Relação bitola/massa/comprimento para aço CA 50	48
Tabela 13 – Dados de entrada essenciais para o funcionamento do programa e as suas respectivas unidades de medida	49
Tabela 14 – Relação de consumo de cada insumo para a produção de um metro cúbico de concreto	53
Tabela 15 – Índice de perdas da areia e da brita na BR 047	73
Tabela 16 – Índice de perdas do cimento na BR 047	73
Tabela 17 – Índice de perdas do cimento na BR 017 e BR 029	74
Tabela 18 – Resultados encontrados para os índices de perdas	78
Tabela 19 – Custos das perdas na produção de concreto das análises realizadas	78

Lista de símbolos

BR	Batalhão Rodoviário
C30	Concreto com resistência característica à compressão de 30 Mega Pascal
C40	Concreto com resistência característica à compressão de 40 Mega Pascal
C50	Concreto com resistência característica à compressão de 50 Mega Pascal
CA50	Aço com limite de escoamento de 500 Mega Pascal
cm	Centímetro
cm ²	Centímetro quadrado
DN	Diâmetro nominal
FCK	Resistência característica à compressão
f_c	Resistência à compressão
$f_{ctk,inf}$	Resistência do concreto à tração direta inferior
$f_{ctk,sup}$	Resistência do concreto à tração direta superior
$f_{ct,m}$	Resistência média à tração do concreto
f_t	Resistência à tração
kg	Quilo
L	Litro
mm	Milímetro
m	Metro
MPa	Mega Pascal
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
°C	Grau Celsius

%	Percentual
±	Mais ou menos
R\$	Real (moeda brasileira)
UNID	Unidade

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Comentários preliminares	14
1.2	Motivação	15
1.3	Objetivos	16
1.3.1	Objetivo geral	16
1.3.2	Objetivos específicos	16
1.4	Metodologia	17
1.5	Estrutura do trabalho	18
2	REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1	Definições básicas	19
2.2	Panorama mundial e nacional do consumo de concreto	19
2.3	Custos do concreto	20
2.4	Influência dos traços no custo	23
2.5	Análise qualitativa dos traços de concreto	24
2.6	Quantidade de aço em função do traço	27
2.7	Conceito de perdas	33
2.8	Classificação das perdas	34
2.9	Custo geral das perdas no concreto	37
2.10	Métodos para a diminuição das perdas na produção <i>in loco</i> de concreto armado	41
2.10.1	Areia	42
2.10.2	Brita	42
2.10.3	Cimento Portland	42
2.10.4	Aço em vergalhões	43
2.11	Uso do MATLAB como ambiente de programação	44
2.12	Vantagens da criação de um executável a partir do MATLAB	45
3	MATERIAIS E MÉTODOS	47
3.1	Ferramenta computacional	47
3.2	Interface <i>Guide</i> criada	49
3.3	Detalhamento dos passos executados pelo código	51
3.4	Estudo de caso (construção de um hotel em Delmiro Gouveia-AI)	55
3.4.1	Dados do empreendimento	56
3.4.2	Realização das análises	56
3.4.2.1	Primeira análise	56

3.4.2.2	Segunda análise	64
3.5	Hipóteses simplificadoras	71
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
4.1	Resultados	73
4.1.1	Primeira análise	76
4.1.2	Segunda análise	77
4.2	Apresentação geral dos resultados	77
4.3	Discussões	79
4.3.1	Primeira análise	81
4.3.2	Segunda análise	83
5	CONCLUSÃO	85
	REFERÊNCIAS	88

1 Introdução

Neste capítulo, estão contidas a apresentação do presente trabalho, a motivação, os objetivos com a sua realização e um breve resumo sobre a metodologia adotada.

1.1 Comentários preliminares

O concreto se trata do material de produção industrial mais consumido no mundo, representando grande participação no consumo advindo da construção civil. No âmbito nacional, a construção civil apresenta participação de 5,1 % no Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil (FERNANDES NETO; SOUSA JUNIOR; LIMA, 2015).

Apesar do crescente aumento da procura pelo concreto usinado, ainda é muito comum encontrar canteiros produzindo o seu concreto na obra. Dados apresentados pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2013), pelo Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC) e pela Faculdade Getúlio Vargas (FGV), apontam que 28% das construtoras moldam concreto *in loco*, sendo este o objeto de estudo do presente trabalho. Estimativas efetuadas com base nos dados apresentados pelas mesmas empresas permitem afirmar que, no início da presente década, eram produzidos, em média, 20 milhões de m^3 de concreto *in loco* nos canteiros de obras brasileiros, mesmo sabendo que a produção do concreto em canteiros de obras leva, inevitavelmente, ao desperdício de parte desse material.

Visto isto, destaca-se a importância de análises relacionadas ao concreto não só como elemento estrutural, mas também dos seus custos como produto de consumo altamente ligado ao desenvolvimento econômico nacional e mundial. No entanto, os números do custo das perdas na construção civil ainda são bastante expressivos, sendo assim, ao aumentar os números da produção e dos custos do concreto, inerentemente, crescem também os custos do desperdício do mesmo.

Perda refere-se a um serviço desnecessário ou material excedente, que gera custos adicionais, porém, não agrega valor ao produto final. Na construção civil, as perdas se apresentam, principalmente, na forma de material excedente. O presente trabalho quantifica as perdas referentes à produção de concreto em uma obra com base nos dados de consumo em um determinado intervalo de tempo, e as avalia como sendo uma perda inevitável, cujo custo para retirá-la da produção é mais alto do que o próprio custo da perda, ou evitável, quando, através de atitudes pouco custosas, podem ser mitigadas.

Para essa classificação, o presente trabalho se baseou nos dados de perdas teóricas, apresentados por Formoso et al. (1996) e pela Financiadora de Estudos e

Projetos (FINEP), com base nos estudos de Agopyan et al. (1998a), que apontavam como uma perda dentro dos padrões aceitáveis índices de perdas de até: 12% para o aço; 15% para o cimento; 15% para a areia; e 15% para a brita.

Para perdas evitáveis, ou seja, índices superiores aos apresentados pelos autores, o presente trabalho quantifica os custos do desperdício de insumos na produção de concreto armado *in loco* e apresenta possíveis medidas que podem mitigar esses valores. Para se alcançar esse objetivo, um programa em linguagem MATLAB foi criado, de tal forma que, ao ser executado, após a inserção de dados colhidos em campo, o mesmo seja capaz de quantificar o desperdício e apresentar o custo atrelado a ele.

O programa em questão possui interface própria, e, como o ambiente programacional utilizado permite a distribuição dos algoritmos compilados pela sua plataforma, o programa criado independe da instalação de outros aplicativos, como o Pacote *Office*, por exemplo, ou até mesmo do próprio MATLAB, a sua instalação é feita através de um executável capaz de trabalhar em qualquer máquina que possua o sistema operacional *Windows*.

1.2 Motivação

Os custos do desperdício na construção civil no Brasil são bastante dispendiosos. Apesar disso, parte das construtoras não dão a devida atenção às maneiras de diminuir os custos relacionados às perdas, embora diversas atitudes simples sejam capazes de mitigar esses gastos.

A criação de um programa que, através de dados produtivos reais, possa alertar qual é o valor monetário atrelado às perdas na produção de um material tão utilizado como o concreto armado é uma iniciativa interessante, visto que não se encontram na bibliografia ferramentas computacionais ligadas às perdas na construção civil.

Além disso, Bulhões, Formoso e Santana (2002) destacam a importância de se acrescentar a mensuração dos custos ao estudo das perdas. Para isso, os autores se baseiam em três fatores principais, são eles:

(1) - somente a percepção das perdas em termos de custos é capaz de criar nos empresários do setor a mobilização para a aplicação de medidas para diminuir e/ou eliminar as perdas;

(2) - mensurar os custos dá às empresas condições de avaliar quais perdas estão sendo mais onerosas e atuar de forma prioritária na redução desses custos;

(3) - a utilização de medidas de custos permite que sejam agregadas perdas de diferentes naturezas, resultando em indicadores de desempenho global.

A escolha do concreto armado como objeto de estudo do presente trabalho deve-

se à sua importância como produto de largo consumo e alta presença nas obras em geral, por ser o método estrutural mais convencional. Dados da empresa FORMAFER (2017) apontam que a produção e lançamento de concreto armado em superestruturas representam cerca de 19% do custo total de uma obra.

A escolha por se utilizar o MATLAB como ambiente programacional se deu devido à possibilidade de criar um programa independente e com interface própria, onde, em uma mesma tela, pudessem ocorrer a inserção dos dados de entrada, os cálculos em alta velocidade (realizados por uma biblioteca matemática das mais eficientes no ramo programacional), assim como a apresentação dos resultados e a avaliação quantitativa e qualitativa das perdas, as quais apontam os insumos com maiores índices de desperdício e são apresentadas maneiras de reduzir os custos atrelados às perdas dos mesmos.

Na revisão bibliográfica efetuada no presente trabalho, não foram encontradas ferramentas computacionais que se propusessem a efetuar análises de perdas na construção civil. O presente estudo se propõe a dar uma pequena contribuição para a adoção de propostas computacionais, aplicáveis na prática, de quantificação do custo das perdas atreladas à produção no setor da construção civil.

Além do que foi exposto, o presente trabalho possui a vantagem de englobar e compilar estudos como: análises qualitativas de concreto armado; perdas na construção civil e propostas de redução das mesmas; e linguagem computacional avançada.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver uma ferramenta computacional para quantificar os custos das perdas na produção de concreto armado *in loco*, para um determinado período em análise.

1.3.2 Objetivos específicos

Espera-se também:

(1) - estudar os conceitos de perdas envolvidos na concepção do concreto armado na obra;

(2) - apresentar opções de traços de concreto para diversas necessidades de resistência demandadas;

(3) - implementar uma ferramenta computacional capaz de receber dados de obra e qualificar e quantificar as perdas atreladas à produção de concreto armado *in*

loco, além de apresentar medidas mitigadoras do desperdício;

(4) - implementar um programa executável em qualquer máquina provida do sistema operacional *Windows*, que seja provido de interface própria e capaz de realizar o objetivo geral;

(5) - apresentar maneiras não só de reduzir as perdas evitáveis, mas também de diminuir o máximo possível das perdas inevitáveis;

(6) - fazer uma análise da confiabilidade do programa criado, comparando-o com um estudo já produzido;

(7) - efetuar estudos de caso para exemplificar a aplicação do programa criado, além de discutir seus resultados e testar a aplicação das medidas mitigadoras apresentadas na prática.

1.4 Metodologia

Inicialmente, foi feita uma revisão bibliográfica em torno dos estudos de produção de concreto, perdas na construção civil e programação avançada na linguagem do MATLAB.

Para linhas como produção de concreto, optou-se por trabalhos mais antigos, cuja eficiência dos traços foi comprovada através da sua utilização em obras que perderam sem problemas estruturais até a data de realização do estudo. Assim como, para a conceituação das perdas, trabalhou-se com conceitos citados e aceitos por muitos dos autores que publicam sobre o tema há anos. No entanto, para as linhas envolvendo linguagem programacional, buscou-se utilizar como base trabalhos atuais, que apresentavam as tecnologias mais recentes, assim como as bibliotecas programacionais mais avançadas para a produção do algoritmo base.

Na segunda etapa, desenvolveu-se um algoritmo capaz de qualificar e quantificar as perdas na produção *in loco* de qualquer quantidade de concreto armado em qualquer período de tempo analisado pelo usuário.

Dentro do algoritmo, o primeiro passo é o cálculo do índice de perdas, que, basicamente, compara o consumo real em campo com um consumo base, sendo este último, o consumo de uma situação hipotética onde não existissem perdas na produção. Através dos resultados obtidos para cada insumo, o índice de perdas encontrado é comparado com um índice teórico referente a um valor aceitável de perdas, caso o valor encontrado supere o valor esperado, as perdas são consideradas evitáveis, sendo apresentadas medidas para eliminá-las e para diminuir as perdas inevitáveis. Além disso, com base nos preços unitários dos insumos fornecidos, o programa calcula o valor perdido por conta do desperdício.

Na terceira e última etapa, a análise das perdas na produção em campo de concreto em uma obra na cidade de Delmiro Gouveia-AL foi realizada e os seus resultados foram analisados e discutidos.

1.5 Estrutura do trabalho

Este capítulo teve como finalidade apresentar a proposta do presente estudo, contendo a sua motivação, objetivos e metodologia.

O *capítulo 2* traz uma revisão da literatura sobre análise qualitativa do concreto armado, qualificação e quantificação de perdas e modelagem computacional.

O *capítulo 3* traz a metodologia de criação da ferramenta computacional, algumas informações sobre a mesma, além de um resumo do passo-a-passo do seu funcionamento. Também são apresentados nesse capítulo, os passos para a execução de um estudo de caso efetuado para aplicar o programa criado, sendo este estudo dividido em duas análises em dias e ambientes diferentes de concretagem de uma obra situada na cidade de Delmiro Gouveia-AL.

O *capítulo 4* faz uma avaliação da confiabilidade do programa, comparando com um estudo já aplicado para verificar a similaridade dos resultados encontrados. Além disso, apresenta os resultados obtidos no estudo de caso e discute-os.

Por fim, o *capítulo 5* apresenta as considerações finais a respeito do estudo e apresenta sugestões de trabalhos futuros.

2 Revisão da Literatura

2.1 Definições básicas

Carvalho e Figueiredo Filho (2014) denominam como: pasta, a mistura básica entre cimento e água; argamassa, a pasta com acréscimo do agregado miúdo¹; concreto, como a mistura entre argamassa e agregado graúdo², podendo esse conter ou não a presença de aditivos e/ou fibras na sua composição; micro concreto, sendo um concreto onde o agregado graúdo possui dimensões muito reduzidas³ e concreto de alto desempenho, quando a sua resistência à compressão ultrapassa os 50 MPa.

Os autores definem também conceitos como os de argamassa armada, composta pela associação de argamassa simples e armadura de pequeno diâmetro; concreto armado, tratando-se do concreto simples associado à armadura, onde ambos resistem solidariamente aos esforços solicitantes e, por fim, concreto protendido, obtido através da associação do concreto simples e da armadura ativa, por meio da aplicação de uma força na armadura antes da atuação dos esforços.

Para o presente estudo, foi levado em consideração e objeto alvo das análises apenas o conceito de concreto, sem aditivos, contendo como agregado graúdo as britas número 1 e número 2 e com resistências à compressão inferiores a 50 MPa, visto que essa configuração é a mais comum e mais utilizada na produção *in loco* de concreto armado.

2.2 Panorama mundial e nacional do consumo de concreto

Adão e Hemerly (2010) afirmam que o concreto é o material de produção industrial mais consumido no mundo inteiro, os autores afirmam também que o consumo médio de concreto por habitante no planeta equivale a pouco mais que um metro cúbico, ou seja, algo em torno de três toneladas por habitante ao ano.

Sua versatilidade, trabalhabilidade e segurança fazem do concreto um componente essencial em grande parte das obras pelo mundo. Uma boa resistência à compressão, aliada à uma união perfeita com o aço, fizeram do concreto armado um material que apresenta poucas desvantagens na sua utilização. Todas essas qualidades, aliadas a um crescimento notável na construção civil, fizeram do concreto, segundo pesquisa realizada pela ABCP, juntamente com a empresa *e8 Inteligência UBM Brasil*, o produto mais consumido no mundo no ano de 2013.

¹ Areia natural ou artificial

² Pedras britadas ou seixos rolados

³ Em campo, utiliza-se frequentemente o pó de brita para esse fim

No Brasil, os dados de crescimento do consumo de cimento são impressionantes. Segundo o SNIC (2013), no ano de 2003, o consumo de cimento, havia sido de 33.561.690 toneladas, enquanto que no ano de 2013, o consumo foi de 70.974.211 toneladas, um crescimento de aproximadamente 111,5%.

Para a região Nordeste, os dados apresentam um consumo em 2003 de 5.632.623 toneladas, para o ano de 2013, a estimativa foi de 15.351.544 toneladas, apresentando um crescimento aproximado de 172,55%, sendo superior à média nacional.

De uma forma mais específica, o estado de Alagoas obteve um consumo de 316.142 toneladas em 2003, e 805.834 toneladas em 2013, o que resulta em um crescimento na faixa de 154,9% em 10 anos, inferior ao crescimento no consumo na região Nordeste, porém, ainda assim superior à média de crescimento nacional.

Os dados da ABCP estimam, entre os anos de 2005 e 2012, um aumento da produção de concreto preparado em centrais na ordem de 180%, apontando, para o ano de 2012, uma estimativa de produção de concreto de 51 milhões de m^3 . Adentrando a realidade foco da abordagem do trabalho, dados de 2011 revelados pelo SNIC/FGV indicaram que 28% das construtoras produzem concreto na própria obra. Ligando os dados apresentados pela ABCP e pelo SNIC, e considerando que o percentual de construtoras que dosaram concreto na própria obra não sofreu alterações entre 2011 e 2012, pode-se estimar que algo em torno de 20 milhões de m^3 de concreto foram produzidos *in loco* no Brasil no ano de 2012.

A partir do ano de 2015 até a data do presente estudo, a economia nacional como um todo, enfrenta uma forte crise. Dados da SNIC (2016) apontam uma redução no consumo de cimento Portland na ordem de 9,5% em 2015 em relação ao ano de 2014, o que totaliza uma redução de consumo de 65 milhões de toneladas.

A redução de consumo de cimento apenas afirmou os números de redução da atividade da construção civil, que foi de 7,6%, tendo como referência também o ano de 2015 em relação ao de 2014. Historicamente, o consumo de cimento e, conseqüentemente, a produção de concreto tendem a acompanhar a situação da economia, visto que o PIB nacional está diretamente ligado ao desempenho da construção civil, que por sua vez, tende a gerar números mais baixos de desemprego no país. Desse modo, espera-se pela retomada do crescimento do consumo desse material juntamente com a retomada da situação econômica favorável para o país.

2.3 Custos do concreto

O Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), da CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (2017), apresenta diferentes valores

para o m^3 do concreto dosado *in loco*, do preparo manual ao uso da betoneira de 400 L. Através dos custos apresentados pela tabela SINAPI, pôde ser obtida a Tabela 1, que também, através destes custos unitários, estima quanto foi gasto no Brasil para a produção dos 20 milhões de m^3 moldados *in loco* no país no ano de 2012 (ABCP, 2013; SNIC, 2013).

Tabela 1 – Custo do m^3 do concreto com preparo manual e estimativa para os 20 milhões de m^3 da produção nacional em 2012

Descrição	Unidade	Custo da unidade (R\$)	Custo para a produção de 20 milhões de m^3 (R\$)
CONCRETO MAGRO PARA LASTRO, TRAÇO 1:4,5:4,5 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) - PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L.	m^3	236,19	4.723.800.000,00
CONCRETO $FCK = 15MPA$, TRAÇO 1:3,4:3,5 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) - PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L.	m^3	257,59	5.151.800.000,00
CONCRETO $FCK = 20MPA$, TRAÇO 1:2,7:3 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) - PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L.	m^3	279,71	5.594.200.000,00
CONCRETO $FCK = 25MPA$, TRAÇO 1:2,3:2,7 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) - PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L.	m^3	289,78	5.795.600.000,00

Descrição	Unidade	Custo da unidade (R\$)	Custo para a produção de 20 milhões de m^3 (R\$)
CONCRETO $FCK = 30MPa$, TRAÇO 1:2,1:2,5 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) - PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L.	m^3	299,17	5.983.400.000,00
CONCRETO $FCK = 40MPa$, TRAÇO 1:1,6:1,9 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) - PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L.	m^3	339,11	6.782.200.000,00
CONCRETO MAGRO PARA LASTRO, TRAÇO 1:4,5:4,5 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) - PREPARO MANUAL.	m^3	312,89	6.257.800.000,00
CONCRETO $FCK = 15MPa$, TRAÇO 1:3,4:3,5 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) - PREPARO MANUAL.	m^3	332,68	6.653.600.000,00
MÉDIA ARITMÉTICA DOS CUSTOS APRESENTADOS NA TABELA	m^3	287,31	5.854.288.888,89

Adaptado do SINAPI (2017)

A Tabela 1 apresenta apenas uma estimativa, os valores não são exatos e totalmente fiéis à realidade, porém, são capazes de ilustrar os custos da produção de concreto na obra no Brasil.

As estimativas de custos tornam-se aceitáveis, partindo do princípio tratado por Fernandes Neto, Sousa Junior e Lima (2015), que afirma a alta representatividade da construção civil na economia nacional, tendo mantido, entre 2003 e 2015, um percentual médio de participação no PIB na ordem de 5,1%. Dados apresentados pelo Banco Central do Brasil (2017) indicam um PIB real no Brasil de, aproximadamente, 1,8 trilhão de dólares no ano de 2016, tendo isso em vista, é possível esperar que os custos relacionados à construção civil apresentem valores muito altos.

Dados apresentados pela empresa FORMAFER (2017) indicam que, para construções convencionais em concreto armado, o custo da produção de concreto para superestruturas fica próximo de 19% do custo total da obra, percentual que torna o

concreto armado o insumo mais caro em uma obra convencional.

2.4 Influência dos traços no custo

Com base nos dados apresentados pela tabela SINAPI e resumidos na Tabela 1, o custo do concreto varia de acordo com a sua resistência característica à compressão em *MPa*. Essa informação é bastante lógica, visto que o concreto utilizado para um elemento estrutural não pode ser o mesmo concreto utilizado, por exemplo, para um lastro de regularização de base, conseqüentemente, por necessitar de maior resistência, o mesmo torna-se mais custoso.

Bianchini (2010) elaborou um estudo junto às centrais dosadoras de concreto em Curitiba. O estudo relaciona o custo do concreto em reais por *MPa* com a resistência média após 28 dias da concretagem, a Tabela 2 ilustra os resultados encontrados pelo autor.

Tabela 2 – Custos de matéria prima e R\$/MPa para concretos usuais

Resistência Média após 28 dias (<i>MPa</i>)	Cimento Portland (<i>R\$</i>)	Areia Natural (<i>R\$</i>)	Areia Artificial (<i>R\$</i>)	Brita 0 (<i>R\$</i>)	Aditivo (<i>R\$</i>)	Valor Total (<i>R\$</i>)	<i>R\$ / MPa</i>
15	53,65	21,91	17,85	22,34	3,70	119,45	7,96
18	58,87	21,45	17,47	22,60	18,35	138,74	7,71
20	62,35	21,10	17,19	22,76	19,44	142,84	7,14
25	71,34	20,30	16,54	23,15	22,24	153,56	6,14
30	80,62	19,46	15,85	23,57	25,13	164,63	5,49
35	91,06	18,58	15,13	23,99	28,39	177,14	5,06
40	102,37	17,58	14,32	24,40	31,91	190,59	4,76
45	114,84	16,55	13,48	24,82	35,80	205,48	4,57

(BIANCHINI, 2010)

Percebe-se uma diminuição no custo por *MPa* à medida que a resistência do concreto aumenta. Essa redução se deve ao fato de que, o aumento de resistência que o cimento confere ao concreto não se dá de forma totalmente linear. Na Tabela 2, é possível verificar que o custo do cimento na produção de um concreto de 45 *MPa* é pouco mais de duas vezes maior do que o custo do mesmo na produção de um concreto de 15 *MPa*. Ou seja, o custo é duas vezes maior, no entanto, a resistência de um concreto em relação ao outro é três vezes superior.

Tendo em vista as diferenças nos custos para cada necessidade de resistência à compressão do concreto, faz-se necessária uma análise aprofundada das características de cada traço.

2.5 Análise qualitativa dos traços de concreto

Carvalho e Figueiredo Filho (2014) caracterizam trabalhabilidade como a maneira de efetuar o adensamento de um concreto. Os autores ainda afirmam que, a trabalhabilidade e a consistência de um concreto, dependem da granulometria dos materiais sólidos, da incorporação de aditivos, e principalmente, do fator água/cimento do concreto a ser utilizado.

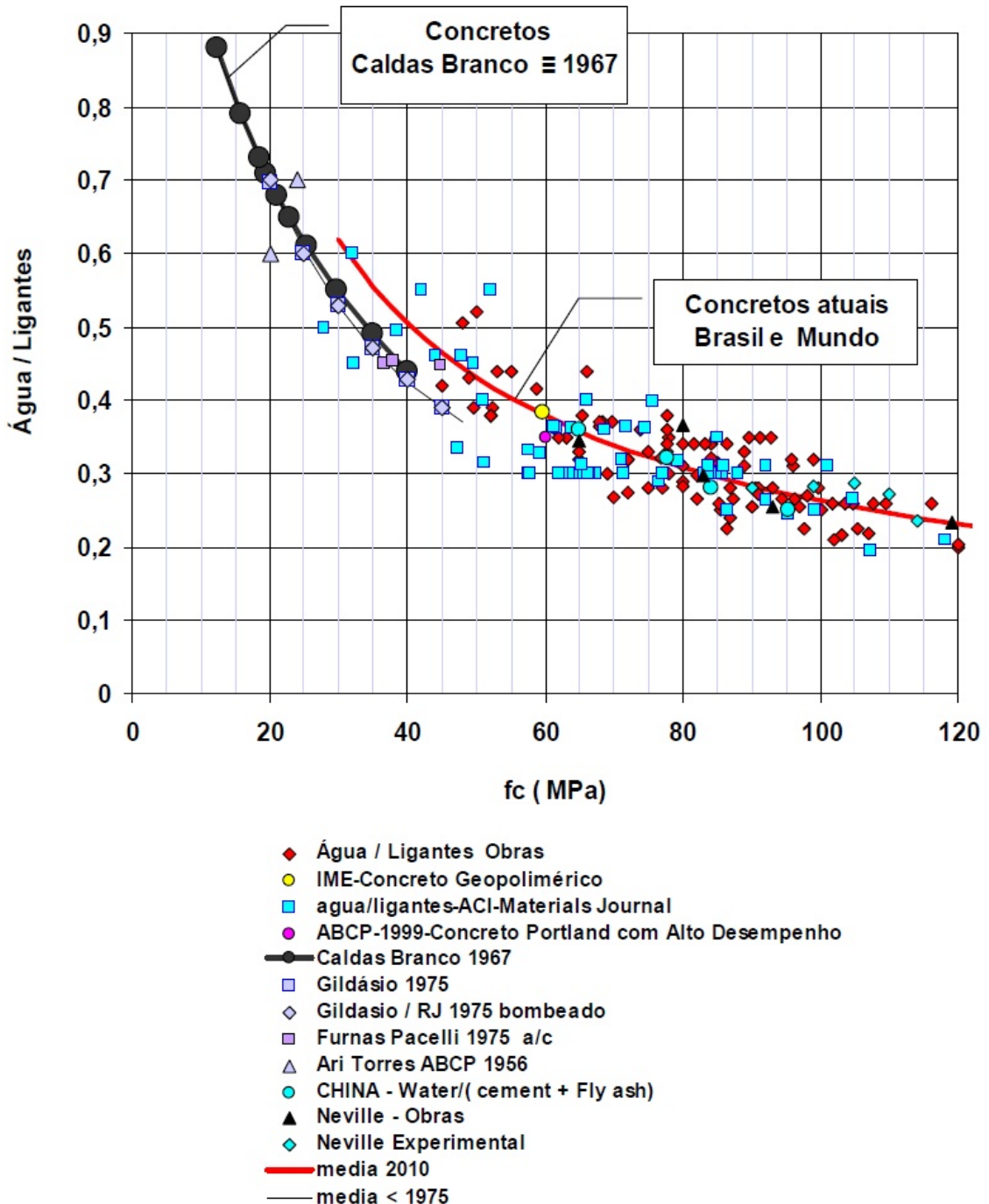
Branco (1967) publicou um aclamado trabalho sequenciando os traços do concreto em peso e volume e estabelecendo diretrizes para a fabricação de cada um dos traços, considerando, inclusive, a relação água/cimento. A Figura 1 apresenta uma comparação entre os resultados encontrados pelo autor, na avaliação da resistência do concreto em função da sua relação água/cimento, nos concretos atualmente fabricados no Brasil e no mundo, além dos traços criados pelo autor, que ficaram conhecidos como concretos Caldas Branco.

Figura 1 – Comparação entre concretos Caldas Branco e concretos comuns

Comparação : Concretos Caldas Branco (1967) x Concretos atuais

Gráfico feito por Eduardo Thomaz

Relação (Água / Ligantes) X Resistência à compressão (f_c).



(BRANCO, 1967)

Observa-se na Figura 1 que a resistência do concreto à compressão diminui de acordo com o acréscimo da quantidade de água no concreto. Empiricamente, sabe-se que, para garantir uma trabalhabilidade adequada em campo, quanto maior o volume de

agregados usados no traço do concreto, maior se torna a demanda de água necessária para misturar o traço. Através da listagem feita por Branco (1967), foi possível extrair a Tabela 3, que relaciona os doze traços de concretos Caldas Branco com as suas resistências à compressão e aos seus fatores água/cimento.

Tabela 3 – Variação da resistência à compressão em função do fator água/cimento

Traço (em volume)	Fator água/cimento (L/kg)	Resistência à compressão após 28 dias (MPa)
1:1:2	0,44	40,0
1:1,5:3	0,49	35,0
1:2:2,5	0,55	29,8
1:2:3	0,61	25,4
1:2,5:3	0,65	22,8
1:2:4	0,68	21,0
1:2,5:3,5	0,71	19,5
1:2,5:4	0,73	18,5
1:2,5:5	0,79	15,7
1:3:5	0,88	12,4
1:3:6	0,95	10,0
1:4:8	1,20	Não houve ensaio de compressão

Adaptado de Branco (1967)

A escolha pela resistência característica à compressão do concreto a ser usada depende da finalidade para a qual o material será utilizado em campo. De acordo com as informações obtidas no estudo de Branco (1967), para se obter uma determinada resistência, se faz necessário o manejo correto do traço volumétrico que será utilizado, por sua vez, para garantir trabalhabilidade ao concreto que será aplicado em campo, é necessário variar a quantidade de água aplicada naquele traço, conseqüentemente, alterando o seu fator água/cimento.

Apesar de não terem sido feitos ensaios para obter a resistência característica à compressão do concreto de traço 1:4:8, empiricamente, sabe-se que esse tipo de traço em campo, quando utilizado, é geralmente aplicado apenas para fins de regularização de cota de fundo em alguns terrenos, popularmente chamado de “concreto magro”, sequer sendo feito uso de barras de aço na sua aplicação.

2.6 Quantidade de aço em função do traço

Adão e Hemerly (2010) afirmam que a existência e uso do concreto armado somente é possível, devido à proximidade dos coeficientes de dilatação desses materiais: 0,0137 *mm* por 1 °C por 1 *m* linear para o concreto e 0,0125 *mm* por 1 °C por 1 *m* linear para o aço. Desse modo, o concreto armado baseia-se em uma união bem-sucedida de materiais com características de resistência diferentes para combater às solicitações que os são impostas.

Ao atuar sobre uma peça de concreto armado, o momento fletor gera tensões normais para cada seção, sendo estas tensões, de compressão e de tração. De modo a combater essas tensões, o concreto é usado para a compressão e o aço para a tração. Apesar disso, como o aço deve estar totalmente revestido para não ter as suas características alteradas por fatores externos, as tensões de tração são inicialmente resistidas pelo concreto, visto que o mesmo compõe a superfície de qualquer peça estrutural em concreto armado. Sendo assim, o concreto precisa apresentar resistência à tração, caso não houvesse, a peça chegaria ao colapso na presença de momentos fletores. A resistência à tração do concreto representa cerca de 10% da sua resistência à compressão (ADÃO; HEMERLY, 2010).

Fusco (2012) classifica o concreto como estrutural, quando este possui armaduras adequadamente dispostas ao longo das peças estruturais, sejam essas protendidas ou não, e concreto simples, como a mistura entre cimento, água, agregado miúdo e agregado graúdo, porém, admite que existam alguns tipos de estrutura que fazem uso apenas de concreto simples. O autor caracteriza o concreto simples como um material de razoável resistência à compressão e reduzida resistência à tração, sendo essa, usualmente inferior a 10% da sua resistência à compressão.

Ainda segundo Fusco (2012), o uso do concreto armado como elemento estrutural só é possível por não haver escorregamento relativo entre os dois materiais após a consolidação total do concreto. Segundo o autor, esta é uma hipótese fundamental da teoria do concreto armado, que admite a solidariedade perfeita entre os dois materiais.

A resistência à tração do concreto depende de diversos fatores, principalmente da aderência dos grãos dos agregados com a argamassa de cimento. A dispersão dos valores de ensaio é muito alta, pois as tensões devidas à temperatura e à retração, por exemplo, não são totalmente evitáveis. O método de ensaio distingue as diferentes resistências à tração do concreto simples em: resistência à tração axial, resistência à tração por fendilhamento e resistência à tração na flexão (LEONHARDT; MÖNNIG, 2008).

Botelho e Marchetti (2015) afirmam que, em média, a resistência à compressão do concreto é 10 vezes maior do que a sua resistência à tração, desse modo, é

necessária a utilização do concreto na seção majoritariamente comprimida, e do aço na seção majoritariamente tracionada da peça. Esse trabalho conjunto dos materiais permite que sejam utilizadas seções relativamente menores de aço na seção comprimida da peça, visto que naquela seção o concreto é o material que melhor resiste aos esforços, assim como permite que o concreto possa até mesmo chegar à fissura na sua parte tracionada sem maiores problemas, visto que naquela seção o trabalho maior de combate aos esforços é do aço.

Tendo em mente essa dualidade do trabalho entre aço e concreto, é possível estabelecer relações entre ambos em peças de concreto armado. Um concreto com uma alta resistência à tração poderia combater os esforços na sua seção tracionada, caso os valores dos esforços solicitantes sejam menores do que a resistência característica da peça. A resistência à compressão de um concreto é dada em função do seu traço, como foi mostrado na Seção 2.5. Para a resistência à tração do concreto, a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) fornece a Equação 2.1, Equação 2.2 e a Equação 2.3.

$$f_{ctk,inf} = 0,7 * f_{ct,m} \quad (2.1)$$

$$f_{ctk,sup} = 1,3 * f_{ct,m} \quad (2.2)$$

$$f_{ct,m} = 0,3 * f_{ck}^{2/3} \quad (2.3)$$

Vale pontuar que essas formulações somente são válidas para concretos de classe até *C50* (resistência à compressão de até 50 MPa), pois, para resistências maiores, a resistência à tração direta média $f_{ct,m}$ é calculada através de uma fórmula diferente, que não foi abordada no presente trabalho, devido ao fato dos traços Caldas Branco englobarem concretos até a classe *C40* (resistência à compressão de até 40 MPa).

A Tabela 4, de (MAGALHÃES, 2009 apud SILVA; SILVA; OLIVEIRA, 2001) apresenta funções de vários estudos diferentes que correlacionam a resistência à tração do concreto em função da sua resistência à compressão.

Tabela 4 – Expressões de correlação f_t/f_c

Pesquisador	Equação de correlação	Faixa de Aplicação
Carneiro e Barcellos <i>apud</i> Oluokun	$f_t = 0,185 * f_c^{0,735}$ (2.4)	-
Akazawa <i>apud</i> Oluokun	$f_t = 0,209 * f_c^{0,730}$ (2.5)	-
Shah e Shuaib <i>apud</i> Iman <i>et al.</i>	$f_t = 0,462 * f_c^{0,550}$ (2.6)	$fc < 84$
FIP/CEB - calcário e seixo	$f_t = 0,540 * f_c^{0,500}$ (2.7)	$fc < 75$
Oluokun	$f_t = 0,214 * f_c^{0,690}$ (2.8)	$27 < fc < 62$
König <i>et al.</i> <i>apud</i> Gomes	$f_t = 2,35 * \ln(1 + 0,1 * f_c)$ (2.9)	$fc < 68$

Pesquisador	Equação de correlação	Faixa de Aplicação
Rammel <i>apud</i> Iman <i>et al.</i>	$f_t = 0,400 * f_c^{0,580}$ (2.10)	$fc < 80$
ACI 318	$f_t = 0,560 * f_c^{0,500}$ (2.11)	$14 < fc < 42$
Gomes - traquito e gnaisse	$f_t = 0,840 * f_c^{0,445}$ (2.12)	$32,5 < fc < 96,8$
Ferrari <i>et al.</i> - calcário e gnaisse	$f_t = -0,51 + 0,67 * f_c^{0,5}$ (2.13)	$10 < fc < 70$

Adaptado de Magalhães (2009, apud SILVA; SILVA; OLIVEIRA, 2001)

Algumas relações não foram abordadas no presente trabalho, visto que a sua faixa de aplicação englobava um intervalo fora das resistências alcançadas pelos traços de concreto Caldas Branco.

Um estudo de Silva (2015), mostrou a influência da resistência à compressão do concreto no consumo de aço das peças. O estudo analisou a variação do consumo de aço de acordo com a resistência do concreto estrutural utilizado, para um concreto de resistência à compressão de 30 MPa, 40 MPa e 50 MPa. Como os concretos de alto desempenho, com resistência acima de 50 MPa não são tão usuais em campo, e é sabido que tais resistências dificilmente são obtidas na produção de concreto *in loco*, para evitar dispersões desnecessárias, foram tomadas como objeto de análise do presente trabalho apenas os dados relativos aos concretos de 30 MPa e 40 MPa.

A Tabela 5 foi montada com base dados do estudo de Silva (2015).

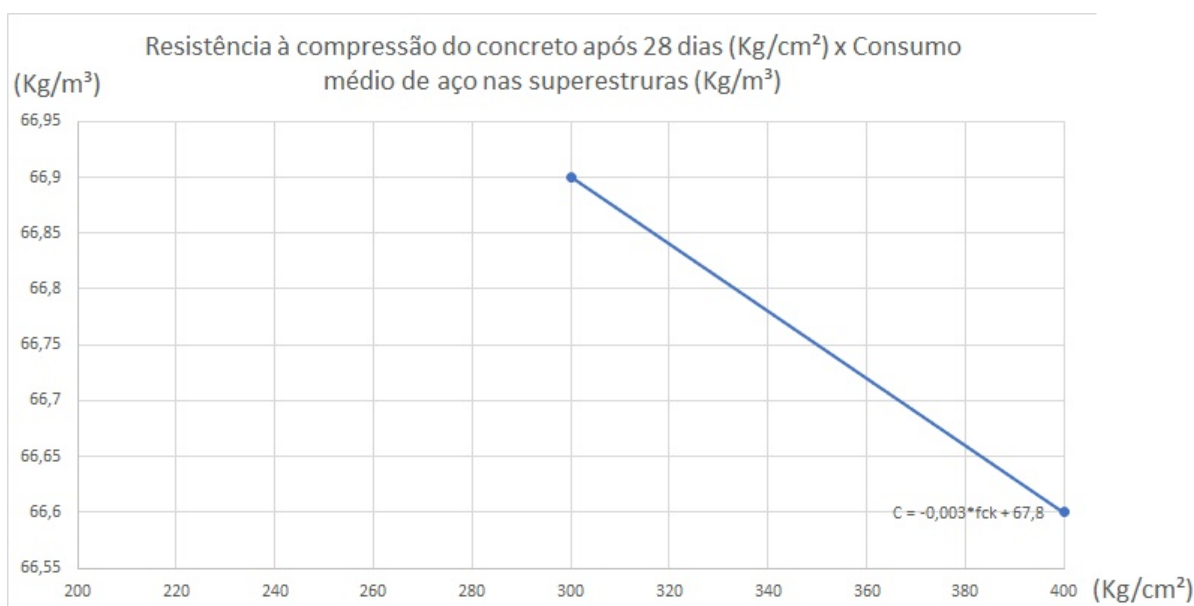
Tabela 5 – Consumo de aço conforme a classe de resistência do concreto estrutural

Elemento estrutural	Classe C30 (kg/m ³)	Classe C40 (kg/m ³)
Pilares	84,50	82,40
Vigas	64,90	61,70
Lajes	63,80	65,20
Total	66,90	66,60

Adaptado de Silva (2015)

Através da análise dos dados apresentados na Tabela 5, é possível fazer algumas observações. Nos pilares, ao analisar os elementos onde foram utilizados concretos com resistência à compressão de 30 MPa e 40 MPa, houve uma redução no consumo de aço do segundo em relação ao primeiro na ordem de aproximadamente 2,49%; nas vigas, após o mesmo procedimento, essa redução foi maior, aproximadamente 4,93%; porém, nas lajes, ao analisar elementos com concreto de 30 MPa e 40 MPa, houve um aumento do segundo em relação ao primeiro da ordem de 2,19%; para o consumo total da superestrutura, houve uma redução de 0,45% do consumo de aço para o concreto de 40 MPa em relação ao de 30 MPa.

O gráfico mostrado na Figura 2 interpola os dados extraídos do estudo de Silva (2015) para criar uma linha de tendência de comportamento.

Figura 2 – f_{ck} vs. consumo de aço por m³

Autor (2017)

A Equação 2.14 representa a interpolação dos valores, estabelecendo uma

relação capaz de estimar o consumo de aço para todos os traços Caldas Branco baseando-se na tendência de consumo para 30 MPa e 40 MPa.

$$C = -0,003 * f_{ck} + 67,8 \quad (2.14)$$

Onde **C** representa o consumo de aço na estrutura em kg/m^3 , enquanto f_{ck} refere-se à resistência à compressão do concreto em kg/cm^2 .

De acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), a resistência à tração é uma função da resistência à compressão do concreto, como apresentado na Equação 2.3, também é possível criar uma relação entre o consumo de aço na superestrutura e a resistência à tração, descrita na Equação 2.15.

$$C = -0,003 * \sqrt[2/3]{\frac{f_{ct,m}}{0,3}} + 67,8 \quad (2.15)$$

Na formulação apresentada pela Equação 2.15, $f_{ct,m}$ refere-se à resistência direta à tração do concreto.

Utilizando os dados de resistência à compressão fornecidos pelo estudo de Branco (1967), e relacionando-os com a Equação 2.14, é possível estimar o consumo de aço previsto para cada um dos 12 traços Caldas Branco. Essa relação pode ser visualizada na Tabela 6.

Tabela 6 – Consumo esperado de aço para cada traço Caldas Branco

Traço (em volume)	Consumo de aço (kg/m^3)	Resistência à compressão (MPa)
1:1:2	66,6	40,0
1:1,5:3	66,75	35,0
1:2:2,5	66,906	29,8
1:2:3	67,038	25,4
1:2,5:3	67,116	22,8
1:2:4	67,17	21,0
1:2,5:3,5	67,215	19,5
1:2,5:4	67,245	18,5
1:2,5:5	67,329	15,7
1:3:5	67,428	12,4
1:3:6	67,5	10,0
1:4:8	Não houve ensaio de compressão	Não houve ensaio de compressão

Autor (2017)

Observa-se na Tabela 6, que o aumento do consumo de aço não foi consideravelmente grande em relação à diminuição da resistência característica à compressão do concreto. Uma diferença de 30,0 MPa de resistência entre traços de concreto demanda um acréscimo de menos de 1 kg/m^3 na composição do concreto armado. No entanto, vale salientar que essa diferença se dá por metro cúbico de concreto produzido, desse modo, para grandes produções, essa diferença pode se tornar consideravelmente grande.

2.7 Conceito de perdas

Além de ser o setor que mais consome recursos naturais e matéria-prima no mundo, a construção civil é o terceiro maior emissor de gases para a atmosfera que contribuem para o efeito estufa, sendo, portanto, um dos maiores componentes da crise ambiental, de maneira simultânea, é um dos setores onde ocorre maior desperdício decorrente da condução inadequada em diversas etapas do processo construtivo (LIMA et al., 2014), boa parte da grande geração de resíduos da construção civil provém

desse desperdício.

Lima *et al.* (2014) apontam também que é consenso entre os pesquisadores que as perdas na construção civil têm valores significativos no orçamento geral da obra, além de ter diversas causas e serem encontradas em diferentes etapas do processo produtivo, apesar disso, as mesmas podem ser mitigadas ou evitadas.

Para Koskela (1992), perda refere-se a qualquer tipo de serviço desnecessário ou utilização de material excedente, os quais geram custos adicionais, embora não agreguem nenhum valor ao produto final. Shingo (1996) aponta que operações que agregam valor transformam realmente a matéria-prima, modificando a sua forma e/ou qualidade, enquanto as operações que não agregam valor não o fazem.

Para Vargas *et al.* (1997, p. 03), o conceito de perda refere-se a “todo e qualquer recurso que se gasta na execução de um produto ou serviço além do estritamente necessário (mão de obra, matéria-prima, materiais, tempo, dinheiro, energia, etc.)”

Ainda segundo Vargas *et al.* (1997), podem-se classificar as perdas, de uma maneira geral como sendo uma despesa extra acrescentada aos custos normais do produto. Sendo esse acréscimo desnecessário.

De acordo com Santos *et al.* (1996), o conceito de perdas aplicado à construção civil equivale a ineficiências no uso de equipamentos, materiais e/ou mão-de-obra que ultrapassem o necessário para a execução da obra.

Para Picchi (1995), desperdício refere-se a todos os gastos que ultrapassam o estritamente necessário em uma situação ideal.

As definições deixam claro que o desperdício deve sempre ser evitado, por gerar custos extras e não agregar valor ao produto, quanto às perdas, geralmente não é possível eliminá-las por completo, mas é de suma importância o seu combate em uma produção eficiente.

Bornia (1995) apresenta uma diferenciação entre perda e desperdício ao apontar que perda refere-se ao custo, seja este de bens e/ou serviços de forma involuntária, o autor afirma ainda que a nomenclatura mais correta para atividades que não agregam valor seria desperdício, e conceitua desperdício como sendo o esforço monetário que não agrega valor ao produto final, no caso de materiais, e que não serve para suportar diretamente o trabalho efetivo, no caso dos serviços.

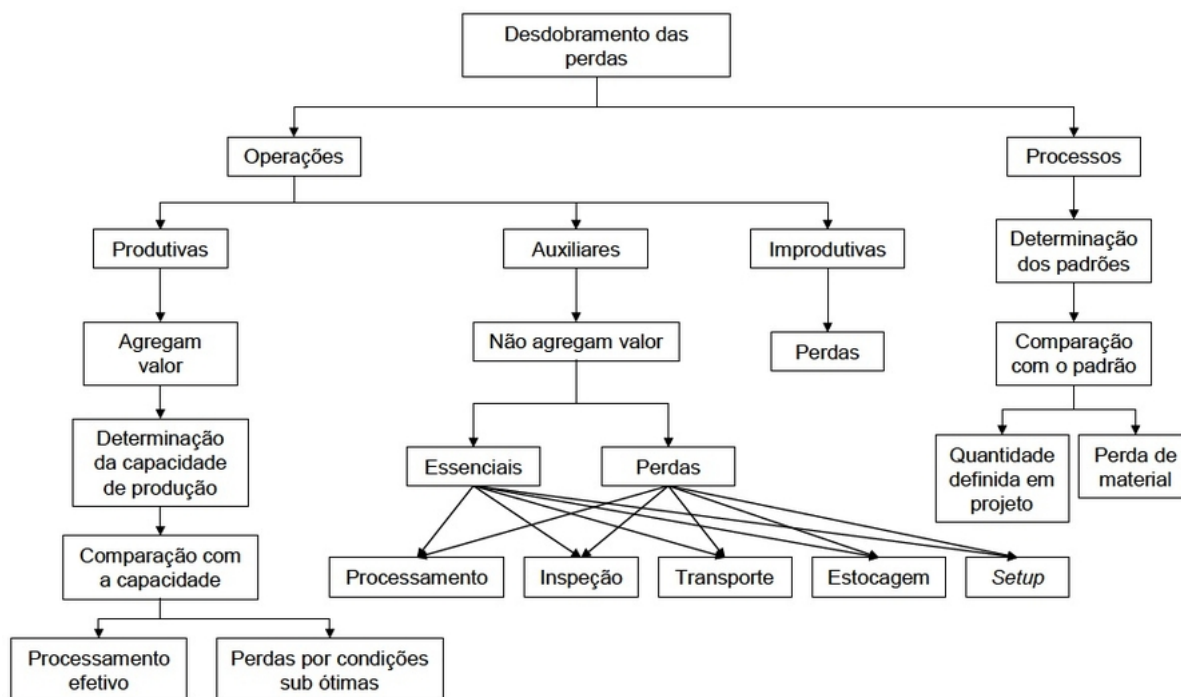
2.8 Classificação das perdas

Nascimento (2014) desvincula o conceito de perdas na construção civil do conceito de desperdício ao apontar que desperdício refere-se ao consumo extra de materiais, no entanto, perdas devem ser vistas como quaisquer ineficiências no projeto

que se reflitam no uso de equipamentos, materiais, mão de obra e capital em quantidades superiores às estritamente necessárias para a produção da edificação e que venham a elevar o custo final da obra.

Bulhões, Formoso e Santana (2002) apresentaram o infográfico mostrado na Figura 3 para auxiliar na identificação e classificação das perdas.

Figura 3 – Análise qualitativa das perdas



(BULHÕES; FORMOSO; SANTANA, 2002, p.1374)

Na construção civil, é possível utilizar de ações que exemplificam alguns itens do infográfico apresentado. Por exemplo, na produção de concreto, podem ser classificadas como operações produtivas a fabricação e o lançamento do concreto em si, como operações auxiliares, teria-se o transporte dos insumos, podendo esse levar às perdas, não agregando valor ao produto final, as ações improdutivas nessa operação seriam, por exemplo, movimentos desnecessários realizados pelos operadores, não vinculados à ação de produzir o concreto.

Quanto às comparações com a capacidade e com o padrão, referem-se às comparações com padrões ótimos de produção e análise do desempenho daquela produção *in loco*.

No presente trabalho, a análise abordada estreita-se às perdas no processo, visto que está sendo analisado o consumo de materiais. O esquema apresentado na Figura 3, permite fazer a seguinte colocação: quantificar as perdas é uma tarefa que requer uma comparação entre um valor padrão que representa o que deveria ter sido gasto na execução de determinado serviço e o que realmente foi gasto.

Ao tratar de perdas físicas, a classificação se dá através da forma com que as mesmas se apresentam no processo. As classificações conhecidas são os desperdícios normais e anormais, sendo os desperdícios normais muito difíceis de ser evitados, desse modo, adotados como perdas inerentes ao processo e incorporados aos custos de produção, enquanto os desperdícios anormais são mais facilmente identificados (BASTOS, 2015 apud SOUZA; DIEHL, 2009), para uma gestão eficiente, as perdas anormais podem e devem ser evitadas ou pelo menos reduzidas.

Na construção civil, é possível exemplificar como perda inerente ao processo o desperdício causado pelo acúmulo de concreto fresco que fica agregado na betoneira, sendo esse fator dificilmente evitado. Um exemplo de perda anormal seria o desperdício por transporte causada por uma grande distância entre o ponto de produção e o ponto de lançamento do concreto, que, devido à possibilidade de mudança dos locais de produção, pode ser facilmente identificado e evitado.

Formoso, Isatto e Hirota (1999) classificam as perdas em duas categorias:

(1) - inevitáveis (ou perda natural), em que o investimento necessário para a sua redução é maior do que a economia que essa redução de perdas pode gerar;

(2) - evitáveis: quando a economia obtida na redução das perdas é superior ao investimento necessário para alcançar essa redução.

Formoso, Isatto e Hirota (1999) afirmam ainda que o percentual de perdas inevitáveis depende da empresa e do local onde a mesma está inserida, visto que esse percentual está diretamente ligado ao nível de desenvolvimento tecnológico.

Meira et al. (1998) afirmam que a avaliação da aceitabilidade de uma perda na construção civil depende de uma análise quantitativa do seu custo, caso o custo seja pouco significativo em relação ao custo final da obra, essa perda pode ser classificada como aceitável. Os autores utilizam ainda como exemplo desse conceito, uma perda de 0,1 %, que no caso de prescrições de medicamentos, por exemplo, resultariam em cerca de 10 mil prescrições incorretas anualmente em um total de 10 milhões, o que seria inaceitável, no entanto, uma perda de 0,1 % nos pregos de uma obra, poderiam ser consideradas aceitáveis, devido ao seu reduzido impacto no panorama geral do empreendimento e nas suas implicações como um todo.

Souza et al. (2004) apontam que a necessidade de aquisição de material em excesso pode se dar através de três maneiras, são elas: por furto; por incorporação de materiais além do necessário à edificação; por entulho. Segundo os autores, o furto normalmente não é muito grande em obras de grande porte, uma vez que nelas existem processos de controle quantitativo e qualitativo de estoque; a incorporação de materiais em excesso nas edificações é mais comum em materiais que exigem a moldagem *in loco* do mesmo, como concreto e revestimentos; o entulho é o resíduo

que sai da obra, sendo assim, a parte mais visível da perda de material.

2.9 Custo geral das perdas no concreto

Segundo Bastos (2015 apud STRAUB, 2010), os desperdícios são intrínsecos à construção civil e dificilmente serão extintos, apesar disso, por estarem ligadas ao custo total, são necessários estudos para avaliar o seu impacto sobre o lucro final.

Bastos (2015) classifica o desperdício como normal e anormal, sendo considerado normal um índice de perdas de até 15% no processo, e anormal qualquer valor de índice de perdas superior a esse.

No entanto, uma análise dos materiais separadamente é necessária, pois, não necessariamente, a incidência de perdas é a mesma para materiais diferentes. O presente trabalho trata o concreto armado como o material a ser produzido e os insumos como materiais básicos para a sua produção.

Para Ferreira, Carvalho e Costa (2008), o modelo de trabalho da construção civil ainda é muito ultrapassado, por falta de investimento tecnológico adequado e por, muitas vezes, desconsiderar um fator importante como as perdas.

Souza *et al.* (2004) expressam matematicamente o cálculo percentual das perdas através da seguinte fórmula apresentada na Equação 2.16.

$$PERDA(\%) = \left[\frac{QMR - QMT}{QMT} \right] * 100 \quad (2.16)$$

Em que **QMR** representa a quantidade de material realmente gasta em campo e **QMT** representa a quantidade de material que, teoricamente, deveria ter sido gasta.

A Equação 2.16 é uma opção viável para quantificar o consumo diretamente na execução, pois **QMR** pode ser avaliada *in loco*, porém, se esse controle esteja sendo feito no estoque, por exemplo, Paliari (1999) apresenta uma forma mais adequada de quantificação desse consumo, apresentado na Equação 2.17.

$$Consumo_{real} = Est_{data_{inicial}} + Rec_{data_{inicial};data_{final}} - Est_{data_{final}} \quad (2.17)$$

Em que **Est (data inicial)** refere-se ao estoque de material na data inicial, **Rec (data inicial; data final)** refere-se ao recebimento de material no estoque entre essas datas, quando houver e **Est (data final)** representa o estoque do material na data final da análise.

Da mesma maneira, Paliari (1999) apresentou a Equação 2.18 como uma

maneira aceitável de calcular o consumo de referência.

$$Consumo_{referencial} = QS_{data_{inicial};data_{final}} * \frac{CM}{QS} * \frac{CMB}{MC} \quad (2.18)$$

Sendo **QS** a quantidade de serviço, no caso do presente trabalho, de concreto produzido, entre a data inicial e a data final da análise, em m^3 , **CM/QS** o consumo de material por unidade de serviço executado e **CMB/MC** o consumo de material básico por unidade de material composto.

No caso do presente trabalho, como o estudo tem como objeto alvo apenas o concreto armado, para a Equação 2.18, o valor de **CM/QS** é sempre igual a 1. Esse fato ocorre pois, no estudo em questão, o material composto analisado é o concreto, enquanto o serviço executado é a própria produção do concreto. Desse modo, essa relação é unitária, visto que 1 m^3 de concreto é a quantidade de material necessária para a produção de 1 m^3 de concreto.

Segundo Paliari (1999), **QS** deve representar a quantidade líquida de serviço realizado, assim como os outros valores, deve corresponder a valores isentos do embutimento de perdas.

Paliari (1999) chega então à fórmula representada na Equação 2.19 para o cálculo do Índice de Perdas (IP).

$$IP(\%) = \left[\frac{Consumo_{real}}{Consumo_{referencial}} - 1 \right] * 100 \quad (2.19)$$

Em posse do valor do índice de perdas do material, é possível fazer uma relação com o preço unitário dos insumos e com o consumo total desse insumo em campo, através dessa relação, é possível estimar qual foi o custo das perdas na produção do concreto utilizado para realizar o serviço analisado.

De modo a obter uma análise um pouco mais qualitativa da perda calculada, resta saber se aquela perda pode ser classificada como inevitável ou se é uma perda evitável.

Formoso *et al.* (1996) realizaram um estudo apontando os valores de perdas quantificadas em diferentes obras e comparando com os valores apresentados por Pinto (1989), Skoyles e Skoyles (1987), além de comparar os valores encontrados com a perda teórica, que em tese, representa o índice de perdas inevitável.

A Tabela 7 apresenta uma adaptação da que foi construída por Formoso *et al.* (1996), contendo os valores de perdas referentes a três dos insumos que compõem o concreto armado, visto que o mesmo é o objeto de estudo do presente trabalho.

Tabela 7 – Perdas de insumos na produção de concreto armado (em %)

Material	Obra A	Obra B	Obra C	Obra D	Obra E	Média	PINTO (1989)	SKOYLES (1987)	Perda teórica
Aço	18,80	27,30	23,01	7,91	18,31	19,07	26,19	5,00	12,00
Cimento	76,60	45,20	34,31	151,86	112,70	84,13	33,11	-	15,00
Areia	27,09	29,73	21,05	109,81	42,19	45,76	39,02	-	15,00

Adaptado de Formoso et al. (1996)

A Tabela 8 apresenta dados das perdas dos insumos básicos da produção de concreto armado, nesse caso, os autores foram Formoso et al. (2002), através de estudos efetuados entre os anos de 1996 e 1998.

Tabela 8 – Perdas de insumo na produção de concreto armado

Material	Média (%)	Mediana (%)	Coefficiente de variação (%)	Coefficiente de dispersão (%)	Perda mínima (%)	Perda máxima (%)	Número de canteiros
Reforço de aço	10,3	10,6	39,5	32,5	4	16,5	12
Cimento	73,7	45,2	84,6	109,3	6,4	247,1	41
Areia	47,5	40,7	71,9	67,6	6,8	118,0	24
Brita	31,3	37,1	61,7	48,4	8,7	56,1	5

Adaptado de Formoso et al. (2002)

Os valores encontrados são altos, em linhas gerais, para todos os materiais. As perdas de aço tiveram uma tendência de seguir algo mais próximo à uma média, sem grandes dispersões, além de apresentar os menores índices de perdas entre todos os materiais analisados, no entanto, as perdas de cimento, areia e brita variaram muito nos diferentes locais de obra visitados, além disso, vale ser ressaltado que, no geral, as perdas desses três materiais tenderam a ser muito altas.

A FINEP, baseada no estudo de Agopyan *et al.* (1998a), também apresentou dados de perdas através da análise de diversos canteiros de obra, a Tabela 9 compila os dados apresentados e resume-os apenas nos insumos básicos da produção do concreto armado.

Tabela 9 – Dados de perdas em canteiros de obras espalhados por 12 estados brasileiros

Material	Média (%)	Mediana (%)	Desvio padrão (%)	Perda mínima (%)	Perda máxima (%)	Número de canteiros
Cimento	95	56	111	6	638	12
Areia	76	44	79	7	311	28
Aço	10	11	4	4	16	12
Concreto produzido em obra	6	6	-	6	6	1

Adaptado de Agopyan et al. (1998)

No que se refere à brita, a quantidade de dados não é tão grande, porém, o mesmo levantamento da FINEP levou as suas perdas em consideração também, analisando as perdas de brita na produção de concreto *in loco* da BR 047. A Tabela 10 apresenta os dados de perdas desse insumo:

Tabela 10 – Indicador global de perdas de brita na produção *in loco* de concreto armado

Obra	Material	Consumo de referência (m^3)	Consumo real (m^3)	Diferença (m^3)	Perda (%)	Consumo de brita por unidade de material composto (m^3/m^3)
BR 047	Brita	399,06	459,00	59,94	15	0,85

Adaptado de Agopyan et al. (1998)

Como pode ser visto, para concreto produzido em obra, obteve-se uma média de 6% de perdas nas obras analisadas, fazendo uma analogia aos dados que foram apresentados na Tabela 1, uma pequena simulação foi feita para a estimativa do custo das perdas na produção de concreto *in loco* nacional em 2012, essa estimativa está representada na Tabela 11.

Tabela 11 – Estimativa de custo das perdas de concreto nacionais em 2012

Descrição	Custo p/ 20 milhões de m ³ (em R\$)	IP(%)	Estimativa de custo das perdas (em R\$)
Produção <i>in loco</i> média de concreto armado em 2012	5.746.200.000,00	6	344.772.000,00

Autor (2017)

Apesar dos dados encontrados serem hipotéticos e baseados em estimativas, o valor encontrado chama a atenção, ao analisar a quantidade de obras menores espalhadas pelo país e com um controle qualitativo e quantitativo muito menos abrangente, existe a possibilidade desse valor ainda estar subestimado.

Formoso, Isatto e Hirota (1999) classificaram as perdas como evitáveis e inevitáveis. Para o seguinte trabalho, os valores de perda teórica apresentados por Formoso *et al.* (1996) foram tomados como um índice de perdas inevitável, sendo assim, perdas abaixo desses valores são tidas como perdas aceitáveis. Pois os dados estatísticos apresentados pelos outros autores, por maior que seja a quantidade de canteiros visitados, estão sujeitos a sofrer variações a depender do local de aplicação do estudo.

Para o caso da brita, o índice tomado como referência de perda inevitável foi o indicador global de perda apresentado pela FINEP, com base nos estudos de Agopyan *et al.* (1998a), pois Formoso *et al.* (1996) não apresentaram índices de perda teórica para a brita.

2.10 Métodos para a diminuição das perdas na produção *in loco* de concreto armado

Shingo (1996) e Ohno (1997) classificam a origem das perdas em sete grupos, são eles: por superprodução; por espera; por transporte; por itens fora do padrão (fabricação); por geração de estoque; por realização de movimentação desnecessária e pelo próprio deslocamento.

Desses grupos, verifica-se que apenas as perdas por espera, que representa a falta de equilíbrio no processo produtivo e as perdas por movimentação desnecessária, que representa movimentos desnecessários realizados por trabalhadores em suas atividades, não representam perdas físicas, os outros cinco grupos de perdas implicam em desperdício de material.

Resende, Taigy e Silva (1998) apontaram alguns erros e acertos que aumentaram ou diminuíram as perdas nas obras pesquisadas no seu estudo, evitar cometer os erros apontados implica na diminuição do custo das perdas nos insumos. A metodologia

apresentada por Resende, Taigy e Silva (1998) é apresentada na Seção 2.10.1, Seção 2.10.2, Seção 2.10.3 e Seção 2.10.4.

2.10.1 Areia

De acordo com os estudos de Resende, Taigy e Silva (1998), grande quantidade das obras não possuem procedimentos sistematizados para o controle da quantidade no recebimento da areia, não fazendo a cubagem das caçambas e/ou utilizando controle tecnológico, o que ocasiona em perdas por não haver um real controle quantitativo do material recebido, desse modo, tendo como base da sua quantidade em estoque apenas a informação passada pelos fornecedores de areia, podendo a quantidade real recebida diferir da quantidade informada. Além disso, a falta de controle tecnológico no recebimento não permite que seja analisado fatores como granulometria do agregado ou grau de pureza do material recebido, podendo este estar misturado com uma grande quantidade de outros materiais.

Segundo as autoras, apenas o fato da metodologia aplicada no seu estudo de caso exigir a cubagem da areia, intimidou os fornecedores, fazendo com que os mesmos entregassem o volume real de material, deixando de receber por “carrada” de areia e passando a receber realmente por metro cúbico de material entregue.

Ainda de acordo com as autoras, no que se refere à estocagem da areia, as seguintes deficiências acarretam em perdas de material: areia exposta a chuva e/ou ventos; não dispostas sobre contrapiso de concreto, ocasionando a mistura do material com solo; não existência de contenções laterais, o que resultou na mistura da areia com materiais circunvizinhos; além disso, a utilização de estoque intermediário, onde a areia era depositada em um local, posteriormente transportada para outro lugar e transportada mais uma vez até a sua utilização na produção do concreto, acarretou em um índice maior de perdas na ordem de 72,44%.

2.10.2 Brita

Segundo Resende, Taigy e Silva (1998), as perdas nas britas de número 1 e 2, objeto de estudo dos autores e também do presente trabalho, foram ocasionadas pelos mesmos fatores da areia, que incluíam a falta de controle no recebimento, estocagem inadequada do material e utilização ou não de estoque intermediário.

2.10.3 Cimento Portland

Segundo Resende, Taigy e Silva (1998), o controle da qualidade do cimento recebido em todas as obras avaliadas no seu estudo de caso é inefetivo ou não

existente. Segundo as autoras, o controle do recebimento limita-se à contagem dos sacos recebidos e verificação se há ou não sacos de cimento rasgados, não sendo efetuada nenhuma verificação ou ensaio para aceitação do cimento, como verificação da resistência à compressão, finura ou pega.

Quanto à metodologia de estocagem dos sacos de cimento recebidos, as autoras são categóricas em afirmar que os sacos devem estar armazenados em local coberto e fechado, em pilhas de até 10 sacos e dispostos sobre estrados de madeira para proteger o material contra a umidade advinda do piso. As autoras ainda recomendam que sejam utilizados carrinhos projetados especificamente para transporte dos sacos de cimento, pois transporte manual ou em carros de mão convencionais ocasionam em maiores índices de perdas por transporte, além disso, é imprescindível que haja acesso restrito ao local, resultando em um maior controle das saídas dos sacos de cimento.

Ainda de acordo com as autoras, a utilização de sistemas que demandavam um menor volume de concreto, também resultavam em menores índices de perdas, como a utilização de lajes com blocos de isopor, treliças pré-fabricadas, lajes do tipo cogumelo, pré-moldadas, ou nervuras com blocos pré-moldados de concreto. Além disso, um sistema de saída de cimento por idade, tal qual o sistema Primeiro que Entra, Primeiro que Sai (PEPS), reduz o índice de perdas de cimento em campo, chegando a reduzir em 0,9% do consumo total de cimento em uma das obras analisadas.

2.10.4 Aço em vergalhões

De acordo com Resende, Taigy e Silva (1998), o controle do recebimento dos vergalhões de aço também é precário em todas as obras analisadas nos seus estudos, um controle tecnológico do recebimento dos vergalhões, assim como a pesagem dos mesmos para a avaliação das relações peso/bitola/comprimento, poderia determinar as perdas provenientes do desbitolamento. Outro fator que poderia diminuir o índice de perdas, segundo as autoras, seria a utilização de programas computacionais para a racionalização dos cortes das barras, diminuindo a quantidade de pontas perdidas.

Segundo Agopyan et al. (1998b), a maior causa das perdas no aço é o mau planejamento do corte das barras, resultando em pouco aproveitamento das pontas. Ainda segundo os autores, pesquisas *in loco* mostraram que ocorrem menores perdas para peças de diâmetros menor, que convivem no projeto junto com peças de comprimento maior, isso se deve ao fato das barras com menor diâmetro serem utilizadas, na maioria dos casos, para o corte de estribos, onde o aproveitamento das pontas é mais comum, visto que os comprimentos demandados são menores.

2.11 Uso do MATLAB como ambiente de programação

Em um cenário marcado cada vez mais pelo aparecimento da informática como um elo comum entre as diversas áreas do conhecimento, a utilização de ferramentas computacionais nos cursos de engenharia é de grande necessidade, devido à sua vasta gama de aplicações (COSTA; XAVIER, 2014 apud VALENTE et al., 1999).

A resolução de problemas de engenharia, muitas vezes, exige a utilização de uma solução computacional, modelos matemáticos altamente detalhados demandam a utilização de ferramentas computacionais para a sua resolução (PALM, 2013), a utilização de tais ferramentas torna possível a resolução de um problema com maior precisão e em uma fração de tempo se comparada à produtividade de uma pessoa em soluções matemáticas.

O MATLAB trata-se de uma linguagem programacional de alto nível, com ambiente interativo para a computação numérica, visualização e programação no mesmo ambiente, a sua utilização torna possível a análise de dados, desenvolvimento de algoritmos e criação de modelos e aplicações, além disso, sua linguagem, ferramentas e funções matemáticas embutidas em uma vasta biblioteca matemática o permite explorar diversas abordagens e chegar à solução de modelos maiores e/ou mais complexos com uma velocidade muito superior às planilhas ou linguagens de programação tradicionais como *C*, *C++* ou *Java* (GÓES et al., 2014).

Ainda segundo Góes *et al.* (2014), o MATLAB apresenta enorme versatilidade, podendo ser utilizado para uma vasta gama de fins, como processamento de sinais e comunicação, imagem e processamento de vídeo, sistemas de controle, teste e medição, finanças computacionais e biologia computacional, além de ter, inserida no próprio programa, a *toolbox* para construção de interfaces próprias, o que faz com que o usuário não precise editar linhas de comando e não tenha acesso às linhas de código escritas pelo programador, evitando que os usuários alterem qualquer conteúdo associado ao funcionamento do programa.

O fato do MATLAB ser um *software* de programação de alto nível e apresentar diversas funções matemáticas já implementadas, torna-o um recurso extremamente recomendado para ser aplicado na programação de ferramentas computacionais voltadas às áreas da engenharia.

Chapra (2013) afirma que o MATLAB é um *software* que permite a realização de diversos tipos de cálculo em ambiente adequado, além disso, possui ferramentas essenciais para a implementação de métodos numéricos.

Pedrosa et al. (2017) classificam o MATLAB como uma linguagem de alto desempenho voltada à computação técnica, que integra computação, visualização e

programação em um ambiente de fácil utilização e com entradas e saídas em notação matemática familiar. Os usos mais comuns do programa pontuados pelos autores são: matemática e computação; desenvolvimento de algoritmos; modelagem, simulação e prototipagem; análise, exploração e visualização de dados; gráficos científicos e de engenharia; desenvolvimento de aplicativos, incluindo criação de interfaces gráficas de usuário.

Uma das principais vantagens do MATLAB trata-se a velocidade no armazenamento e processamento de dados em relação à outras linguagens como o *C* e o *Fortran*, pois o armazenamento se dá através de matrizes, o que torna possível uma fácil e rápida manipulação de uma grande quantidade de informações por parte do programa. Além disso, os autores destacam a grande quantidade de bibliotecas auxiliares (“*Toolboxes*”), que minimizam o tempo gasto para realizar tarefas, tanto por parte do usuário, quanto por parte do programador, visto que ambos poderão utilizar muitas funções já definidas, dispensando o gasto de tempo necessário para criá-las (MIRANDA; ALBUQUERQUE; ALBUQUERQUE, 2007).

De acordo com Pedrosa *et al.* (2017), em ambientes acadêmicos, o MATLAB é a ferramenta de instrução padrão para cursos básicos e avançados em matemática, engenharia e ciência, enquanto na indústria, o MATLAB é a ferramenta comumente escolhida para pesquisa, desenvolvimento e análise de alta produtividade.

A criação de uma interface gráfica através da ferramenta *GUIDE* torna a utilização do programa pelo usuário muito mais interativa, além disso, o MATLAB é uma linguagem computacional com uma rica biblioteca matemática já inserida na sua base de dados, desse modo, costuma levar bem menos tempo para resolver formulações técnicas em comparação com outras linguagens. Todos esses fatores fazem do MATLAB o ambiente de programação ideal para o desenvolvimento de um *software* de análise e processamento de dados matemáticos para a engenharia.

2.12 Vantagens da criação de um executável a partir do MATLAB

Roque e Fonseca (2013) destacam a função do MATLAB de transformar os ficheiros relacionados com o programa desenvolvido em um único ficheiro executável, função que é conhecida no meio computacional como compilação. Segundo os autores, a ferramenta utilizada para essa função, chamada *deploytool*, possibilita a construção de dois tipos de ficheiros executáveis, sendo que um deles funciona apenas em computadores que possuem o MATLAB instalados, enquanto o segundo tipo é totalmente independente do MATLAB, neste último, os programas podem ser utilizados por usuários que não dispõem de licença do MATLAB, o que é mais uma grande vantagem da utilização dessa linguagem programacional.

Miranda, Albuquerque e Albuquerque (2007) afirmam que os executáveis criados são de difícil execução em um ambiente fora do MATLAB. Os autores classificam como complexa a tarefa de criar um compilador que torne o algoritmo executável em uma plataforma que não tenha o MATLAB instalado, além de criar um vínculo comercial entre o algoritmo criado e o MATLAB, uma vez que seria necessária a aquisição do programa para que fosse possível o algoritmo ser lido.

A afirmação de Roque e Fonseca (2013) foi mais adequada à situação atual do programa, visto que, na versão do MATLAB utilizada no presente trabalho (V. 2014b), o programa tinha o seu próprio aplicativo compilador para a criação do executável, o MATLAB *Compiler*, desse modo, não havendo a necessidade da criação de um compilador para executar essa tarefa, além disso, o executável criado continha duas versões, sendo uma delas, uma versão para quem tinha o MATLAB instalado no seu sistema e a outra versão, contendo um pacote com alguns aplicativos para serem instalados no sistema, tornando a execução possível, mesmo sem a instalação do MATLAB no sistema.

A criação de um executável independente do MATLAB a partir de um algoritmo feito no mesmo mostra-se uma grande vantagem, visto que dá a possibilidade de que um usuário que não possua a licença do MATLAB seja capaz de fazer uso do modelo computacional criado, através do seu próprio sistema operacional.

3 Materiais e Métodos

3.1 Ferramenta computacional

A ferramenta computacional criada é do tipo executável, podendo ser utilizada em qualquer computador que contenha o sistema operacional *Windows*. A ferramenta foi criada no ambiente de programação MATLAB, através do uso da ferramenta *GUIDE* para a criação da interface gráfica e compilada para se tornar um arquivo executável independente através da ferramenta *MATLAB Compiler*.

O código possui como variáveis de entrada as datas de início e de final da coleta de dados (não sendo estas indispensáveis para o funcionamento do código); o traço utilizado, sendo que, este deve estar entre um dos doze traços estudados por Caldas Branco, o que diminui a margem de erro no código, pelo fato do mesmo se basear em estudos precisos de volume de insumos para cada um dos doze traços. O traço deve ser inserido por escrito na caixa de texto indicada seguindo a relação volumétrica: “1:areia:brita”.

A próxima variável de entrada é a quantidade de concreto produzida entre o período inicial e final da análise, sendo essa dada em metros cúbicos e totalmente isenta de qualquer índice de perdas ou percentual de desperdício.

Além disso, devem ser inseridas as quantidades em estoque na data inicial da análise, de cimento, areia, brita e aço. As quantidades de areia e brita devem ser inseridas em metros cúbicos, buscando obrigar o usuário a fazer uma cubagem correta da quantidade de areia no seu estoque, diminuindo a quantidade de perdas por estocagem e tendo um controle mais rigoroso tanto do recebimento quanto da disponibilidade de material.

A quantidade de cimento deve ser dada em unidades, ou seja, em número de sacos de 50 *kg*. Enquanto a quantidade de aço deve ser inserida em *kg*, ou seja, o usuário deve fazer a relação entre bitola/massa por comprimento dos vergalhões de aço e inserir a quantidade total em *kg*.

A Tabela 12 apresenta as relações de massa por metro de comprimento de diversas bitolas de barras de aço comumente utilizadas na construção, os dados são fornecidos pelo catálogo da fabricante Comercial Gerdau (2017), uma das maiores referências em aço no Brasil.

Tabela 12 – Relação bitola/massa/comprimento para aço CA 50

Diâmetro Nominal (<i>DN</i>) (<i>mm</i>)	Massa Nominal (<i>kg/m</i>)
6,3	0,245
8,0	0,395
10,0	0,617
12,5	0,963
16,0	1,578
20,0	2,466
25,0	3,853
32,0	6,313
40,0	9,865

Catálogo Gerdau (2017)

A ideia de inserir as quantidades em estoque, ao invés de simplesmente contar no campo a quantidade utilizada, serve para que não sejam descartadas as perdas no transporte, visto que as mesmas são fatores de grande influência na análise de perdas em materiais como areia e brita.

Outros dados de entrada necessários são o recebimento, quando houver, de material no estoque entre a data inicial da análise e a data final da mesma, além das quantidades em estoque no momento final da análise, ambos nas mesmas unidades de medida dos dados iniciais.

Os últimos dados inseridos são os preços unitários dos materiais, ou seja, valor do metro cúbico da areia e da brita, valor do saco de cimento e do quilo do aço. Em situações em que os fornecedores de aço do usuário vendam preços variados do *kg* para cada bitola, como os preços variam muito pouco nesses casos (geralmente as variações são de ordens inferiores a 10 centavos), aconselha-se que seja feita uma média aritmética entre os preços do *kg* das bitolas analisadas. A Tabela 13 resume o que foi dito sobre as variáveis de entrada e as suas respectivas unidades.

Tabela 13 – Dados de entrada essenciais para o funcionamento do programa e as suas respectivas unidades de medida

Dados de entrada	Unidade de medida
Traço	1:areia:brita
Quantidade de concreto produzida entre o período inicial e final	m^3
Estoque na data inicial; quantidade recebida entre o período inicial e final; estoque na data final de cimento	Número de sacos de 50 kg
Estoque na data inicial; quantidade recebida entre o período inicial e final; estoque na data final de areia	m^3
Estoque na data inicial; quantidade recebida entre o período inicial e final; estoque na data final de brita	m^3
Estoque na data inicial; quantidade recebida entre o período inicial e final; estoque na data final de aço	kg
Preços unitários dos materiais: metro cúbico da areia, metro cúbico da brita, saco de cimento, quilo do aço.	R\$

Autor (2017)

Esses dados devem ser inseridos de acordo com o preço pago pelo usuário, visto que um valor baseado em tabelas de composição de preços aumentaria a margem de erro do programa, pois mesmo que as diferenças entre valor de tabela e valor pago fossem mínimas, elas estariam inseridas no custo das perdas fornecidos pelo programa. Além disso, a ideia é tornar o programa utilizável em qualquer obra que produza concreto *in loco* e que utilize um dos doze traços avaliados ou que tenha condições de se adaptar e utilizar algum deles, caso os preços fossem pré-definidos, os seus valores poderiam divergir muito de região para região e se afastar demasiadamente da realidade.

3.2 Interface *Guide* criada

Toda a interface foi criada através da ferramenta *GUIDE*, que permite a criação de um ambiente de maior interação com o usuário, pois a interface pode ter o seu tamanho e fonte ajustados visando uma melhor utilização, fornece a possibilidade da criação de textos na janela, além de caixas de texto para a exibição de mensagens de saída do programa e, principalmente, para a inserção dos dados de entrada por parte do usuário. A interface gráfica do programa pode ser visualizada na Figura 4.

Figura 4 – Interface gráfica do programa criado

Perdas na produção de concreto in loco

Obs.: A linguagem programacional utiliza o padrão norte-americano, para separar casas decimais, utilize sempre o "." (ponto), e nunca a "," (vírgula).

Data Inicial (DI) Data inicial da análise

Data Final (DF) Data final da análise

Traço Traços disponíveis: 1:1,2; 1:1,5,3; 1:2,2,5; 1:2,3; 1:2,5,3; 1:2,4; 1:2,5,3,5; 1:2,5,4; 1:2,5,5; 1:3,5; 1:3,6; 1:4,8

Quantidade de concreto produzida (DI-DF) Quantidade de concreto produzida entre as datas DI e DF (em m³)

	Cimento	Areia	Brita	Aço
Estoque inicial (DI)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Quantidade recebida (DI-DF)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Estoque final (DF)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Preço unitário do material	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Quantidade no estoque na data DI (em unidades p/ cimento, em m³ para areia ou brita e em Kg para aço)

Quantidade recebida no estoque entre as datas DI e DF (Se não houver, =0)

Quantidade no estoque na data DF (em unidades p/ cimento, em m³ para areia ou brita e em Kg para aço)

Preço em RS da unidade (p/ cimento), do m³ (para areia ou brita) ou do Kg (para aço)

CALCULAR PERDAS

	Cimento	Areia	Brita	Aço
Índice de perdas de cada insumo (em %)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Custo total do concreto perdido Valor perdido em RS por desperdício de cimento, areia, brita e aço entre as datas DI e DF

Valor perdido por m³ de concreto produzido Valor perdido em RS por metro cúbico de concreto produzido entre as datas DI e DF

Autor (2017)

O Código 3.1 mostra um trecho do código criado, tratam-se dos cálculos efetuados pelo algoritmo de maneira prévia à análise do traço recebido, ou seja, é o recebimento dos dados de entrada e os métodos que o algoritmo utiliza para torná-los executáveis dentro do ambiente programacional, além da execução de cálculos preliminares que são comuns ao concreto e independem do traço que esteja sendo utilizado.

Os comandos são executados imediatamente após o clique no botão **CALCULAR PERDAS**, que pode ser visto na Figura 4, função mais importante do algoritmo. O trecho citado encontra-se entre as linhas 165 e 200 do código.

Código 3.1 – Recebimento dos dados de entrada e execução dos cálculos preliminares (Linha 160 - Linha 195)

```
traco=get(findobj(gcf,'Tag','tracoedit'),'String');
t112=strcmp(traco,'1:1:2');
t1153=strcmp(traco,'1:1,5:3');
t1225=strcmp(traco,'1:2:2,5');
t123=strcmp(traco,'1:2:3');
t1253=strcmp(traco,'1:2,5:3');
t124=strcmp(traco,'1:2:4');
t12535=strcmp(traco,'1:2,5:3,5');
t1254=strcmp(traco,'1:2,5:4');
t1255=strcmp(traco,'1:2,5:5');
t135=strcmp(traco,'1:3:5');
t136=strcmp(traco,'1:3:6');
t148=strcmp(traco,'1:4:8');
qs=str2num(get(findobj(gcf,'Tag','prod'),'String'));
estdicimento=str2num(get(findobj(gcf,'Tag','eicimento'),'String'));
```

```

estdiareia=str2num(get(findobj(gcf,'Tag','eiareia'),'String')
);
estdibrita=str2num(get(findobj(gcf,'Tag','eibrita'),'String')
);
estdiaco=str2num(get(findobj(gcf,'Tag','eiaco'),'String'));
reccimento=str2num(get(findobj(gcf,'Tag','recebcimento'),'
String'));
recareia=str2num(get(findobj(gcf,'Tag','recebareia'),'String
'));
recbrita=str2num(get(findobj(gcf,'Tag','recebbrita'),'String
'));
recaco=str2num(get(findobj(gcf,'Tag','recebaco'),'String'));
estdfcimento=str2num(get(findobj(gcf,'Tag','efcimento'),'
String'));
estdfareia=str2num(get(findobj(gcf,'Tag','efareia'),'String')
);
estdfbrita=str2num(get(findobj(gcf,'Tag','efbrita'),'String')
);
estdfaco=str2num(get(findobj(gcf,'Tag','efaco'),'String'));
pcimento=str2num(get(findobj(gcf,'Tag','precocimento'),'
String'));
pareia=str2num(get(findobj(gcf,'Tag','precoareia'),'String'))
;
pbrita=str2num(get(findobj(gcf,'Tag','precobrita'),'String'))
;
paco=str2num(get(findobj(gcf,'Tag','precoaco'),'String'));
consumocimento=estdicimento+reccimento-estdfcimento;
consumoareia=estdiareia+recareia-estdfareia;
consumobrita=estdibrita+recbrita-estdfbrita;
consumoaco=estdiaco+recaco-estdfaco;
cm=1;

```

A compilação do código foi executada pelo *MATLAB Compiler*, aplicativo que criou duas versões do executável final: uma destinada a usuários que possuem o MATLAB instalado em seus computadores, sendo esta uma versão mais leve do programa, visto que não se faz necessária a instalação de *plug-ins* para executar o programa; e a outra versão é mais pesada, destinada a usuários que não possuem o MATLAB instalado nos seus computadores, ao instalar o executável, o programa instala também os *plug-ins* necessários para o perfeito funcionamento do código.

3.3 Detalhamento dos passos executados pelo código

O primeiro passo executado pelo algoritmo é receber tudo que foi inserido pelo usuário na interface gráfica e transformar os textos, caixas e botões em linguagem programacional passível de leitura pelo código. O próprio MATLAB já insere o código necessário para tornar essa leitura possível. Dessa maneira, o programador dispensa o trabalho de chamar diversas bibliotecas e escrever diversas linhas de código, cujo número de linhas aumenta à medida que a interface gráfica contém mais elementos e

elementos mais complexos, sendo essa uma das grandes vantagens da utilização do MATLAB.

Todas as outras funções do código são executadas após a inserção dos dados necessários colhidos em campo nas caixas de texto presentes na interface gráfica do programa e após o usuário clicar no botão **CALCULAR PERDAS**, visto na Figura 4.

As outras linhas de código tratam de funções que retiram as informações dos textos inseridos pelo usuário nas caixas de texto e transformam esses caracteres em números, quando necessário, para serem interpretados e posteriormente trabalhados pela biblioteca matemática do MATLAB, que também não precisa ser chamada pelo programador, economizando outras linhas de código.

Ainda nesse passo do código, antes de quaisquer outras análises sobre o traço a ser estudado, o algoritmo encontra o consumo real de cada insumo e o armazena na sua memória para posterior utilização. Para isso, o programa aplica a Equação 2.17 para cada um dos insumos com base nas leituras de estoque inseridas pelo usuário.

O passo seguinte efetuado pelo código é a definição das variáveis necessárias para o cálculo de acordo com o traço informado pelo usuário.

A Tabela 14 mescla dados apresentados por Caldas Branco para o consumo básico de insumos na produção de um metro cúbico de concreto nos seus 12 traços com os dados apresentados na Tabela 6. Na Tabela 14, é possível notar que o consumo de aço no traço 1:3:6 foi repetido para o consumo de aço do traço 1:4:8. Como o traço 1:4:8 não possui uma resistência à compressão definida, não foi possível determinar o consumo esperado com a Equação 2.14. Essa aproximação é válida, pois um traço com resistência tão baixa dificilmente é utilizado para um elemento estrutural, e muitas vezes, sequer leva aço na sua composição.

Tabela 14 – Relação de consumo de cada insumo para a produção de um metro cúbico de concreto

Traço (em volume)	Aço (kg/m^3)	Cimento ($UNID./m^3$)	Areia (m^3/m^3)	Brita (m^3/m^3)	Água (L/m^3)
1:1:2	66,6	10,3	0,465	0,726	226
1:1,5:3	66,75	7,70	0,524	0,818	189
1:2:2,5	66,906	7,50	0,676	0,660	206
1:2:3	67,038	6,90	0,622	0,728	210
1:2,5:3	67,116	6,40	0,719	0,674	207
1:2:4	67,17	5,94	0,538	0,840	202
1:2,5:3,5	67,215	5,86	0,662	0,724	208
1:2,5:4	67,245	5,50	0,623	0,780	201
1:2,5:5	67,329	4,90	0,557	0,870	195
1:3:5	67,428	4,60	0,622	0,810	202
1:3:6	67,5	4,20	0,564	0,882	198
1:4:8	67,5	3,20	0,584	0,912	194

Adaptado de Branco (1967)

Para cada traço informado, uma condicionante programacional é ativada, inserindo os valores referentes de consumo básico de cada insumo nas suas respectivas variáveis. Isso faz com que o programa não precise definir valores para variáveis que não são utilizadas, o que aconteceria caso os condicionantes não fossem utilizados, o algoritmo apenas define os valores das variáveis que são utilizadas no cálculo do traço informado pelo usuário. Essa ação economiza tempo na execução do programa.

Definidas as variáveis, o algoritmo aplica a Equação 2.18 para cada um dos insumos, encontrando o consumo de referência de cada um desses. O seguinte passo é aplicar a Equação 2.19 também para cada insumo e obter o índice de perdas de cada um. Uma pequena modificação na Equação 2.19 é necessária, pois os índices de perdas não são utilizados na sua forma percentual (%) para os cálculos, o valor é apresentado ao usuário dessa maneira para um melhor entendimento das informações, portanto, no algoritmo, a aplicação da Equação 2.19 ocorre da maneira apresentada

na Equação 3.1.

$$IP = \frac{Consumo_{real}}{Consumo_{referencial}} - 1 \quad (3.1)$$

Onde **IP** refere-se ao índice de perdas de determinado insumo.

Teoricamente, esses valores representam o percentual da quantidade total do insumo que foi perdida por conta de desperdício. Como o objetivo é calcular o custo total do concreto perdido, dado pela Equação 3.6, as seguintes perdas unitárias dos insumos são calculadas e somadas, conforme equações: Equação 3.2; Equação 3.3; Equação 3.4; e Equação 3.5. Todos os valores resultantes são dados na moeda local, ou seja, em que foram inseridos os custos unitários.

$$Perdas_{cimento} = IP_{cimento} * valor_{unid.,cimento} * cons_{real,cimento} \quad (3.2)$$

$$Perdas_{areia} = IP_{areia} * valor_{m^3,areia} * cons_{real,areia} \quad (3.3)$$

$$Perdas_{brita} = IP_{brita} * valor_{m^3,brita} * cons_{real,brita} \quad (3.4)$$

$$Perdas_{aco} = IP_{aco} * valor_{kg,aco} * cons_{real,aco} \quad (3.5)$$

$$Perdas_{totais} = Perdas_{cimento} + Perdas_{areia} + Perdas_{brita} + Perdas_{aco} \quad (3.6)$$

Nas equações apresentadas, as variáveis **valor** referem-se ao valor pago na obra por um saco de 50 kg de cimento, no caso do cimento, o valor pago pelo metro cúbico da areia e da brita e o valor do kg do aço, inseridos pelo usuário na interface do programa; as variáveis definidas como **cons.** tratam-se da quantidade de cimento, areia, brita e aço consumidas em campo, que o próprio programa calcula através dos dados de estoque inseridos; as variáveis nomeadas como **Perdas** indicam o valor perdido de determinado insumo na produção da quantidade informada de concreto, assim como **Perdas (totais)** refere-se ao valor total perdido para a produção da mesma quantidade.

Dependendo da dimensão da obra analisada, pode ser confuso apresentar somente o custo total das perdas. Em casos de quantidades muito grandes de concreto produzido, esse dado pode acabar por confundir o usuário. Dessa maneira, uma função

inserida no programa calcula o valor perdido por metro cúbico de concreto produzido. Utilizando a Equação 3.7 para calcular essa relação.

$$Perdas_{m^3} = \frac{Perdas_{totais}}{Volume_{concreto}} \quad (3.7)$$

Na Equação 3.7, a variável **Perdas (m³)** aponta a perda por metro cúbico de concreto produzido na análise indicada; assim como a variável **Volume (concreto)** indica o volume total de concreto produzido na análise, que é inserido pelo usuário na interface do programa.

Algumas análises devem ser feitas para um melhor entendimento dos dados de entrada por parte do programa. Caso o consumo informado seja nulo, significa que aquele insumo não foi utilizado ou o usuário não deseja inserir as suas perdas no cálculo. Para todos os insumos, uma condicionante é inserida para entender esse raciocínio e retirar aquele insumo de consumo zero dos cálculos.

Também é cabível uma melhor análise nos casos em que o usuário informe valores extremamente desconformes com o que se espera da realidade. Caso isso ocorra, o programa retorna uma mensagem de erro, interrompe a continuação dos cálculos e orienta o usuário a rever os valores digitados. Essa função é de grande importância, pois inviabiliza o uso do programa para os casos em que o usuário esteja apenas digitando valores aleatórios teoricamente impossíveis de obedecer à uma relação de consumo e produção, além de detectar e alertar sobre possíveis erros de digitação no momento da inserção dos dados.

Feito isso, o programa compara as perdas encontradas com os valores de perdas teóricas apresentados na Tabela 7, para o aço, cimento e a areia, e na Tabela 10 para a brita. Índices de perdas abaixo desses referenciais, enquadram-se na categoria das perdas inevitáveis. Valores superiores indicam ocorrência de perdas evitáveis no campo. O algoritmo compara insumo por insumo e apresenta uma caixa de texto com dicas para diminuir as perdas evitáveis, quando estas existem, além de maneiras de amenizar ao máximo possível as perdas inevitáveis, buscando sempre obter o desperdício mínimo.

3.4 Estudo de caso (construção de um hotel em Delmiro Gouveia-AI)

Um estudo de caso foi realizado a fim de se mostrar a aplicabilidade da ferramenta implementada. Nesse estudo, foi analisada a execução de um concreto de regularização de piso, além da concretagem de uma viga baldrame na construção de um hotel na cidade de Delmiro Gouveia-AI, onde foram colhidos os dados necessários para a aplicação do cálculo efetuado pelo programa.

3.4.1 Dados do empreendimento

O empreendimento situa-se na cidade de Delmiro Gouveia, englobada na região do Alto Sertão Alagoano, tratava-se da construção do hotel de maior porte na cidade até a data do presente estudo. A obra possuía 3.422,84 m² de área interna construída, distribuídos por quatro pavimentos e 3.560,06 m² de área externa, incluso acessos, área verde, estacionamentos, entre outras. Além disso, o empreendimento contava com uma área de lazer, local que foi alvo do estudo, contendo 3.317,82 m², distribuídos entre um auditório, um prédio de apoio, uma academia, uma sauna, uma sala de jogos, três piscinas, área verde e área de circulação.

3.4.2 Realização das análises

Foram coletadas, junto à betoneira, as quantidades de padiolas de areia e brita utilizadas na produção de dez traços em cada um dos três dias analisados.

A contagem da quantidade de cimento, além dos volumes de areia e brita utilizados, quantificaram o volume de concreto produzido, enquanto as dimensões da região concretada multiplicadas pela profundidade, quantificaram o volume de concreto aplicado. Em linhas gerais, a diferença entre o concreto que foi produzido na betoneira e a quantidade que foi lançada no ponto de concretagem foi perdida, a ferramenta computacional estimou o custo destas perdas, após receber o custo unitário dos materiais, e avaliou se as mesmas se enquadravam no conceito de perdas inevitáveis. Para os casos em que as perdas no campo foram superiores às perdas inevitáveis, a ferramenta apresentou um breve texto com dicas de como reduzir as perdas desses materiais.

3.4.2.1 Primeira análise

O traço utilizado em campo foi o 1:2:2,5 sendo aplicado o cimento Elizabeth CP II Z 32, que, segundo a fabricante, possui na sua composição, entre 6% e 14% de pozolana. A padiola utilizada na obra do hotel possuía as seguintes dimensões: 35,0 cm de largura; 45,0 cm de comprimento e 25,0 cm de profundidade, todas medidas internas, como é possível verificar na Figura 5.

Figura 5 – Verificação das medidas internas das padiolas utilizadas

Autor (2017)

No primeiro dia de análise, estava ocorrendo a concretagem de uma regularização de piso, a fim de tornar o espaço uniforme para a aplicação do concreto armado no fundo de uma das piscinas. Por ser um concreto apenas de regularização, não houve a utilização de aço, desse modo, para a primeira análise, a verificação das perdas de aço não foi efetuada.

O traço utilizado para a regularização do piso era consideravelmente forte para o fim que foi utilizado, conseqüentemente, muito mais custoso do que deveria ter sido. Os responsáveis pela obra foram questionados sobre os motivos de utilizar um concreto com resistência tão alta para uma regularização, e informaram que eles utilizavam o mesmo traço para todas as produções de concreto da obra, porém, no caso dos lastros de regularização, utilizavam o cimento Elizabeth, que, por ser mais barato, reduzia o custo daquela produção.

Como aponta Caldas Branco, o fator água/cimento é afetado pela umidade total. Portanto, além do volume de água inserido na betoneira, as condições climáticas e a quantidade de água nos agregados tendem a aumentar os volumes produzidos de concreto, mesmo que em proporções muito pequenas.

Segundo o portal *The Weather Channel*, no momento final da análise, a temperatura era de 28 °C e a umidade relativa do ar era de 53%, além do dia estar totalmente nublado e algumas pancadas de chuva terem atingido a região momentos antes da análise.

A cubagem do estoque de areia anterior à análise apresentou uma quantidade de 4,3 m³ de areia em estoque. Quanto à cubagem das britas eram de um volume total

de $2,8 \text{ m}^3$. Durante a concretagem, as padiolas eram preenchidas através da utilização de pás, vide Figura 6.

Figura 6 – Pás utilizadas para encher as padiolas



Autor (2017)

Posteriormente, as padiolas eram transportadas por duas pessoas e despejadas dentro da betoneira, cuja entrada não era totalmente compatível com a abertura da padiola, o que resultava em pequenos volumes perdidos em cada ciclo do transporte, como mostra a Figura 7.

Figura 7 – Colocação dos agregados na betoneira com o uso das padiolas



Autor (2017)

Após o concreto ser produzido na betoneira, o mesmo era lançado no chão, onde era apanhado com o uso de pás e transportado até encher dois carros de mão,

que, simultaneamente, faziam o transporte do concreto recém lançado da betoneira, até o seu ponto de aplicação. Ao chegar no seu destino final, o carro de mão era virado e o concreto fluía no ponto de concretagem, onde um pedreiro já aguardava e o regularizava com o uso de uma pá e uma colher de pedreiro, como mostra a Figura 8.

Figura 8 – Lançamento do concreto no ponto de concretagem



Autor (2017)

Durante a concretagem, pequenos pedaços de barras de aço eram introduzidos no concreto, a cada metro linear de avanço da concretagem, para que pudesse ser verificada a profundidade de concreto atingida e, conseqüentemente, obter o volume total do mesmo. Os dez traços foram produzidos na betoneira e, após o lançamento de todo o concreto no ponto de concretagem, o pessoal que executava a concretagem foi orientado a parar momentaneamente, para que pudesse ser feita uma rápida medição da área concretada.

A Figura 9 mostra a área concretada, cuja medição definiu-a como sendo de 3,45 x 3,90 metros. A Figura 10 mostra a profundidade obtida no primeiro metro de concreto, que foi de 8 cm. A Figura 11 mostra a segunda profundidade, de 6 cm. A Figura 12 mostra a terceira profundidade, de 6,5 cm. Por fim, a Figura 13 ilustra a última profundidade medida, de 11,5 cm. Obtendo então a profundidade média, o cálculo da média aritmética apontou a mesma como sendo de 8 cm. Por fim, o produto da multiplicação da área concretada pela profundidade média de concreto aplicada resultou em 1,0764 m³.

Figura 9 – Área concretada pelos dez traços (3,45 x 3,90 metros)



Autor (2017)

Figura 10 – Primeira profundidade de concreto (8 cm)



Autor (2017)

Figura 11 – Segunda profundidade de concreto (6 cm)



Autor (2017)

Figura 12 – Terceira profundidade de concreto (6,5 cm)



Autor (2017)

Figura 13 – Quarta profundidade de concreto (11,5 cm)



Autor (2017)

Após a medição da quantidade de concreto aplicada, uma medição foi realizada para indicar a quantidade de insumos gasta. O estoque inicial de cimento junto à betoneira era de 17 sacos. Durante a concretagem não houve nenhuma entrada nesse estoque, portanto, após a produção dos dez traços, o estoque de cimento no local era de 7 sacos, como mostra a Figura 14.

Quanto à quantidade de areia, a cubagem da mesma apontou um volume restante de $3,5 m^3$, que pode ser vista na Figura 15. A cubagem também foi efetuada para a brita, gerando um volume remanescente de $2 m^3$, visto na Figura 16.

Para efetuar o cálculo do volume dos montes de areia e brita, admitiu-se que os mesmos formavam cones regulares e aplicou-se a fórmula de volume do cone, apresentada no presente trabalho como Equação 3.8. Onde V simboliza o volume obtido em m^3 , ao passo que d se refere ao diâmetro da base do monte, e h se trata da altura da base ao topo da figura.

$$V = \frac{1}{12} * \pi * d^2 * h \quad (3.8)$$

Figura 14 – Quantidade final de cimento (7 sacos)



Autor (2017)

Figura 15 – Volume final de areia, a cubagem indicou volume aproximado de 3,5 m³



Autor (2017)

Figura 16 – Volume final de brita, a cubagem indicou um volume aproximado de 2 m³

Autor (2017)

Em relação às cubagens, foram efetuadas quatro análises, sendo uma para a areia e uma para a brita antes da produção dos dez traços, e outra para os dois insumos, após a produção dos traços.

Em cada uma das análises, foram obtidos uma altura e um diâmetro, aproximados, dos montes de insumos no chão, tornando-se possível a aplicação da Equação 3.8.

As seguintes medidas foram encontradas para as análises antes da produção: 4,05 m de diâmetro e 1,00 m de altura do monte de areia e 4,62 m de diâmetro e 0,50 m de altura de brita. Após a produção, foram obtidos os seguintes valores: 3,85 m de diâmetro e 0,90 m de altura do monte de areia e 4,35 m de diâmetro e 0,40 m de altura do monte de brita.

Os preços unitários foram informados pela empresa. O saco de cimento com 50 kg da marca utilizada para a concretagem na primeira análise custou R\$ 18,26. O metro cúbico da areia custou R\$ 40,00. Enquanto o metro cúbico da brita custou R\$ 100,00.

3.4.2.2 Segunda análise

A segunda concretagem analisada foi do complemento de uma viga baldrame, o traço utilizado foi o mesmo, 1:2:2,5. A viga baldrame em questão possuía dimensões de 22 cm de largura, por 30 cm de altura, por 8,40 m de comprimento, totalizando um

volume de $0,5544 \text{ m}^3$. A viga pode ser vista na Figura 17, que mostra parte do seu comprimento.

Por se tratar de um volume consideravelmente pequeno, não foram necessários 10 traços para a concretagem, nesse caso, apenas 5 traços foram suficientes.

Figura 17 – Trecho da viga baldrame concretada na segunda análise



Autor (2017)

As condições climáticas na data da segunda análise (27 Out. 2017) foram diferentes das condições da primeira análise. O clima estava ensolarado, sem a presença de nuvens. O canal *The Weather Channel* apontou as seguintes condições climáticas para o momento em que a concretagem estava sendo realizada: temperatura em $33 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar em 36%.

Para o elemento estrutural em questão foi utilizado o Cimento Poty - CP II-Z-32. As padiolas utilizadas foram as mesmas, com dimensões internas: $45,0 \text{ cm}$ de comprimento, $25,0 \text{ cm}$ de profundidade e $35,0 \text{ cm}$ de largura.

Os 5 sacos de cimento foram utilizados para a produção dos 5 traços. Foi novamente utilizada a Equação 3.8 para a cubagem da areia e da brita, resultando em $5,5 \text{ m}^3$ de areia em estoque e 1 m^3 de brita no estoque inicial. Esses volumes foram obtidos após a coleta das seguintes dimensões para o monte de areia: $3,55 \text{ m}$ de diâmetro e $1,67 \text{ m}$ de altura. Para a brita, as dimensões foram de: $2,50 \text{ m}$ de diâmetro e $0,60 \text{ m}$ de altura.

Quanto à quantidade de aço em estoque inicial, havia 30 vergalhões de $6,3 \text{ mm}$ de diâmetro, 40 vergalhões de $8,0 \text{ mm}$ de diâmetro, 50 vergalhões de $10,0 \text{ mm}$ de diâmetro e 120 vergalhões de $12,5 \text{ mm}$ de diâmetro, cada vergalhão medindo 12 m de

comprimento.

Com o auxílio da Tabela 12, a relação entre bitola/massa/comprimento apontou 2034,72 kg de aço no estoque inicial.

Os processos de transporte dos insumos, preenchimento de padiolas, colocação na betoneira, transporte do concreto e lançamento do mesmo no ponto de concretagem foram os mesmos realizados na primeira análise. A Figura 18 mostra os carrinhos utilizados para transporte do cimento do almoxarifado até o canteiro de obras. A Figura 19 mostra a inserção do cimento na betoneira. Ao passo que a Figura 20 mostra o transporte do concreto através do uso de carros de mão convencionais.

Figura 18 – Carrinhos utilizados no transporte do cimento



Autor (2017)

Figura 19 – Processo de inserção de cimento na betoneira

Autor (2017)

Figura 20 – Transporte do concreto recém-preparado

Autor (2017)

Ao contrário da análise anterior, o concreto recém-saído da betoneira foi imediatamente lançado nos carros de mão. Esse fato contribuiu para a redução do desperdício de concreto junto à betoneira. O método de produção se deu dessa maneira na segunda análise devido ao fato de que, nessa análise, o ritmo de produção na betoneira estava mais lento, desse modo, os dois carros de mão que estavam sendo utilizados para o transporte do concreto fresco conseguiam recolher o material recém-produzido,

lançá-lo e voltar a tempo de buscar a nova quantidade de material produzida sem precisar que esse material fosse despejado no chão.

Durante a primeira análise, por se tratar de um lastro de regularização, a vibração do concreto não foi realizada. Ao contrário do que ocorreu na primeira análise, o concreto da viga baldrame avaliada na segunda análise foi vibrado, garantindo o seu correto adensamento, como mostra a Figura 21.

Figura 21 – Adensamento do concreto estrutural



Autor (2017)

Por uma falha no planejamento prévio na disposição dos agregados, o estoque de brita encontrava-se muito afastado da betoneira, por isso, fez-se necessário o uso de um estoque intermediário para encher as padiolas. Desse modo, o transporte da brita era feito mais de uma vez de forma desnecessária.

A Figura 22 mostra o estoque principal de brita no canteiro. A Figura 23 mostra o estoque intermediário após a concretagem da viga, cuja cubagem através do uso da Equação 3.8 apontou um volume de $0,5 \text{ m}^3$ de brita, com $0,30 \text{ m}$ de altura e $2,50 \text{ m}$ de diâmetro.

Figura 22 – Estoque de brita no canteiro



Autor (2017)

Figura 23 – Estoque final após a análise (0,5 m³)



Autor (2017)

A cubagem da quantidade restante de areia, através do uso da Equação 3.8 e do levantamento das dimensões de 3,50 m de diâmetro e 1,60 m de altura, resultou em um volume aproximado de 5,1 m³, que pode ser visto na Figura 24.

Quanto ao aço utilizado, uma nova contagem das barras restantes em estoque foi realizada e apontou as seguintes quantidades: 30 vergalhões de 6,3 mm; 37 vergalhões de 8,0 mm; 46 vergalhões de 10,0 mm; 120 vergalhões de 12,5 mm de diâmetro. Portanto, foram utilizadas 3 barras de 12 metros de aço com 8,0 mm de diâmetro e 4 barras com 12 metros de aço com 10,0 mm de diâmetro. O auxílio da Tabela 12 indica, para o estoque final, uma quantidade de aço de 1990,88 kg. O estoque final de aço pode ser visto na Figura 25.

Figura 24 – Estoque de areia após a segunda análise (5,1 m³)



Autor (2017)

Figura 25 – Estoque final de aço, após o preparo da armação da viga baldrame

Autor (2017)

Os preços unitários foram informados pela empresa. O saco de cimento com 50 kg da marca utilizada para a segunda concretagem analisada custou R\$ 22,80. O preço do metro cúbico da areia foi mantido por R\$ 40,00. O mesmo para o preço do metro cúbico da brita, que continuou custando R\$ 100,00. Quanto ao aço, o kg dos vergalhões de 10 mm de diâmetro custava R\$ 3,12, enquanto o kg dos vergalhões de 8 mm custava R\$ 3,08, portanto, perfazendo um preço médio de R\$ 3,10.

3.5 Hipóteses simplificadoras

Para o presente estudo, foi utilizado como base principal o estudo do Engenheiro Abílio de Azevedo Caldas Branco, tendo como principal referência os seus doze traços volumétricos, que ficaram conhecidos como concretos Caldas Branco.

No estudo de Caldas Branco, as misturas consistiam em: Cimento Portland Comum CPI (clinker+gesso), fabricado no Rio de Janeiro; Areia quartzosa Mauá (módulo de Adams=3,16); e Pedras Britadas Gnáissicas, brita 1 e brita 2, com módulos de finura de Abrams de, respectivamente, 6,21 e 7,14, da cidade do Rio de Janeiro.

Estudos apontam alterações nas características finais do concreto decorrentes de pequenas mudanças no tipo de insumo utilizado. Uma das hipóteses adotadas pelo presente trabalho é de que as características do aglomerante e dos agregados utilizados sejam similares às apresentadas, resultando em diferenças desprezíveis nas características finais do concreto.

O presente estudo não levou em consideração estudos e perdas de água na

produção do concreto, visto que a mesma é de difícil mensuração *in loco*. O que se supõe em relação à água, é que a quantidade de água utilizada seguiu a recomendação de Caldas Branco para o traço em questão, caso isso não ocorra, as resistências características à compressão do concreto são diferentes das apresentadas na Tabela 3, assim como a sua resistência à tração, alterando também os padrões de consumo de aço por metro cúbico.

Os sacos de Cimento Portland são considerados com massa de 50 *kg*, com uma tolerância de $\pm 2\%$, ou seja, são válidos para o presente estudo sacos de cimento com pesos entre 49 *kg* e 51 *kg*. Quanto ao volume dos mesmos, considera-se um volume de 35,3 litros, o que resulta em uma massa por metro cúbico de 1420 *kg*.

Quanto à utilização das britas, levou-se em consideração uma divisão de 50% do volume total de Brita 1 e 50% de Brita 2.

A umidade padrão da areia adotada foi de 3%, resultando em algo mais próximo das condições reais de obra. Caldas Branco já considera a Ação de Inchamento (*Bulking Action*) causada pela presença da umidade na areia e já apresenta as medidas das suas padiolas adaptadas a esse “inchamento” da areia.

Para a cubagem dos volumes de areia e brita, considerou-se que os “montes” formados por esses insumos no canteiro assumiam a forma aproximada de um cone, essa consideração permite a aplicação da Equação 3.8. Desse modo, sabe-se que os volumes calculados são aproximados.

As resistências à compressão dos concretos Caldas Branco apresentados na Tabela 3 referem-se à Compressão Axial e derivam de curvas baseadas no ensaio de 72 corpos de prova realizados de acordo com as preconizações das normas MB - 2/37 e MB - 3/37, da Associação Brasileira de Normas Técnicas, sendo estas as normas vigentes à época.

4 Resultados e Discussão

4.1 Resultados

Inicialmente, para confirmar a confiabilidade dos cálculos do programa, foi feita uma comparação com dados da FINEP, com base no trabalho de Agopyan *et al.* (1998a). A Tabela 15 mostra os dados apresentados para as perdas de areia e brita na produção *in loco* de 540 m^3 de concreto na obra da BR 047, enquanto a Tabela 16 mostra os dados do consumo de cimento para a mesma produção.

Tabela 15 – Índice de perdas da areia e da brita na BR 047

Insumo	Consumo referencial de material básico por unidade de material composto (m^3/m^3)	Consumo real total de material básico (m^3)	Perda (%)
Areia	0,42	242	6
Brita	0,74	459	15

Adaptado de Agopyan *et al.* (1998a)

Tabela 16 – Índice de perdas do cimento na BR 047

Insumo	Consumo referencial de material básico por unidade de material composto ($unid./m^3$)	Consumo real total de material básico ($unid.$)	Perda (%)
Cimento	7	3996	6

Adaptado de Agopyan *et al.* (1998a)

A análise dos dados apresentados nas tabelas permite afirmar que o traço utilizado na obra em questão não se trata de um dos traços Caldas Branco. A Tabela 14 não contém nenhum traço com consumo de 0,74 m^3 de brita ou 0,42 m^3 de areia por metro cúbico de concreto produzido. É possível concluir que, por questões práticas, o consumo de areia adotado no estudo de Agopyan *et al.* (1998a) foi de areia seca, muito diferente do consumo unitário para a areia a 3% da umidade, portanto, para essa comparação, o consumo de referência da areia foi adotado como 0,42 m^3 no programa.

O traço Caldas Branco que mais se aproxima desses valores é o 1:2:3, que apresenta um consumo de brita de 0,728 m^3 de brita por metro cúbico de concreto produzido, portanto, sabe-se que uma pequena diferença na simulação é esperada.

A tela da simulação encontrada pelo programa está exposta na Figura 26, que encontrou uma perda de 7,24638% para o cimento, 6,70194% para a areia e 16,7582% para a brita.

Os valores condizem com os resultados encontrados pela FINEP, pois no traço Caldas Branco utilizado para simulação, o consumo referencial de brita, cimento e areia por metro cúbico de concreto produzido deveria ser menor, desse modo, o programa entende que uma quantidade ainda menor desses insumos deveria ter sido utilizada para a produção da mesma quantidade de concreto, o que resultou em uma perda um pouco maior nos seus cálculos.

Figura 26 – Perdas na produção dos 540 m³ de concreto da BR 047

The screenshot shows a software window titled "Perdas na produção de concreto in loco". It contains several input fields and calculated results. The input fields include:

- Data Inicial (DI): 14/11/2017
- Data Final (DF): 14/11/2017
- Traço: 1:2:3
- Quantidade de concreto produzida (DI-DF): 540
- Estoque inicial (DI) for Cimento: 3996, Areia: 242, Brita: 459, Aço: 0
- Quantidade recebida (DI-DF) for all materials: 0
- Estoque final (DF) for all materials: 0
- Preço unitário do material for all materials: 0

 The calculated results are:

- Índice de perdas de cada insumo (em %): Cimento: 7.24638, Areia: 6.70194, Brita: 16.7582, Aço: 0
- Custo total do concreto perdido: 0
- Valor perdido por m³ de concreto produzido: 0

 A button labeled "CALCULAR PERDAS" is located in the center of the interface. A note at the bottom states: "Valores altos de perdas encontrados na brita. Maneiras de reduzir as perdas desse insumo, além de minimizar ainda mais as perdas de cimento, areia e aço: procedimento sistematizado para o controle da quantidade no recebimento do cimento, exec".

Autor (2017)

A Tabela 17 mostra os dados de consumo de cimento de mais duas obras analisadas no estudo de Agopyan *et al.* (1998a), trata-se da produção de concreto *in loco* da BR 017 e da BR 029.

Tabela 17 – Índice de perdas do cimento na BR 017 e BR 029

Obra	Quantidade de concreto produzida (m³)	Consumo referencial de material básico por unidade de material composto (unid./m³)	Consumo real total de material básico (unid.)	Perda (%)
BR 017	98,70	7,25	875	22
BR 029	100,64	6,70	1053	56

Adaptado de Agopyan et al. (1998a)

De acordo com a Tabela 14, novamente os dados de consumo referencial não são equivalentes devido ao uso de traços diferentes nas obras analisadas, portanto, foram feitas aproximações. Na obra da BR 017 os cálculos foram efetuados com base no traço 1:2:2,5 e na BR 029 com base no traço 1:2,5:3.

A Figura 27 mostra o resultado para a análise das perdas no cimento da obra da BR 017, enquanto a Figura 28 mostra os resultados encontrados para a situação representada na BR 029.

Figura 27 – Perdas de cimento na produção de concreto *in loco* na BR 017

Perdas na produção de concreto in loco

Obs.: A linguagem programacional utiliza o padrão norte-americano, para separar casas decimais, utilize sempre o "." (ponto), e nunca a "," (vírgula).

Data Inicial (DI): 14/11/2017 Data inicial da análise: 14/11/2017

Data Final (DF): 14/11/2017 Data final da análise: 14/11/2017

Traço: 1:2:2,5 Traços disponíveis: 1:1:2; 1:1,5:3; 1:2:2,5; 1:2:3; 1:2,5:3; 1:2:4; 1:2,5:3,5; 1:2,5:4; 1:2,5:5; 1:3:5; 1:3:6; 1:4:8

Quantidade de concreto produzida (DI-DF): 98,7 Quantidade de concreto produzida entre as datas DI e DF (em m³):

	Cimento	Areia	Brita	Aço
Estoque inicial (DI)	875	0	0	0
Quantidade recebida (DI-DF)	0	0	0	0
Estoque final (DF)	0	0	0	0
Preço unitário do material	0	0	0	0

Quantidade no estoque na data DI (em unidades p/ cimento, em m³ para areia ou brita e em Kg para aço)

Quantidade recebida no estoque entre as datas DI e DF (Se não houver, =0)

Quantidade no estoque na data DF (em unidades p/ cimento, em m³ para areia ou brita e em Kg para aço)

Preço em R\$ da unidade (p/ cimento), do m³ (para areia ou brita) ou do Kg (para aço)

CALCULAR PERDAS

	Cimento	Areia	Brita	Aço
Índice de perdas de cada insumo (em %)	18.2033	0	0	0

Custo total do concreto perdido: 0 Valor perdido em R\$ por desperdício de cimento, areia, brita e aço entre as datas DI e DF

Valor perdido por m³ de concreto produzido: 0 Valor perdido em R\$ por metro cúbico de concreto produzido entre as datas DI e DF

Valores altos de perdas encontrados no cimento. Maneiras de reduzir as perdas desse insumo, além de minimizar ainda mais as perdas de areia, brita e aço: procedimento sistematizado para o controle da quantidade no recebimento do cimento; exec:

Autor (2017)

Figura 28 – Perdas de cimento na produção de concreto *in loco* na BR 017

Perdas na produção de concreto in loco

Obs.: A linguagem programacional utiliza o padrão norte-americano, para separar casas decimais, utilize sempre o "." (ponto), e nunca a "," (vírgula).

Data Inicial (DI): 14/11/2017 Data inicial da análise: 14/11/2017

Data Final (DF): 14/11/2017 Data final da análise: 14/11/2017

Traço: 1:2,5:3 Traços disponíveis: 1:1:2; 1:1,5:3; 1:2:2,5; 1:2:3; 1:2,5:3; 1:2:4; 1:2,5:3,5; 1:2,5:4; 1:2,5:5; 1:3:5; 1:3:6; 1:4:8

Quantidade de concreto produzida (DI-DF): 100,64 Quantidade de concreto produzida entre as datas DI e DF (em m³):

	Cimento	Areia	Brita	Aço
Estoque inicial (DI)	1053	0	0	0
Quantidade recebida (DI-DF)	0	0	0	0
Estoque final (DF)	0	0	0	0
Preço unitário do material	0	0	0	0

Quantidade no estoque na data DI (em unidades p/ cimento, em m³ para areia ou brita e em Kg para aço)

Quantidade recebida no estoque entre as datas DI e DF (Se não houver, =0)

Quantidade no estoque na data DF (em unidades p/ cimento, em m³ para areia ou brita e em Kg para aço)

Preço em R\$ da unidade (p/ cimento), do m³ (para areia ou brita) ou do Kg (para aço)

CALCULAR PERDAS

	Cimento	Areia	Brita	Aço
Índice de perdas de cada insumo (em %)	63.4849	0	0	0

Custo total do concreto perdido: 0 Valor perdido em R\$ por desperdício de cimento, areia, brita e aço entre as datas DI e DF

Valor perdido por m³ de concreto produzido: 0 Valor perdido em R\$ por metro cúbico de concreto produzido entre as datas DI e DF

Valores altos de perdas encontrados no cimento. Maneiras de reduzir as perdas desse insumo, além de minimizar ainda mais as perdas de areia, brita e aço: procedimento sistematizado para o controle da quantidade no recebimento do cimento; exec:

Autor (2017)

Como pode ser visto na Figura 27 e na Figura 28, houve diferenças nos índices

de perdas encontrados, devido às diferenças no traço utilizado no campo e no traço utilizado como referência para essa avaliação, apesar disso, essas diferenças não são tão grandes.

O programa encontrou uma perda de cimento de 18,2033% na obra da BR 017 e uma perda de 63,4849% na obra da BR 029.

Os resultados encontrados sugerem que o programa foi implementado corretamente. No entanto, a medida que outros trabalhos forem surgindo, o mesmo necessitará ser submetido à outras validações.

Efetuada a confirmação da veracidade dos resultados obtidos pelo programa, a Seção 4.1.1 e a Seção 4.1.2 mostram a execução da estimativa do custo das perdas de concreto para cada uma das análises descritas no Capítulo 3.

4.1.1 Primeira análise

Os dados encontrados na primeira análise foram inseridos no programa. Os resultados obtidos podem ser vistos na Figura 29.

Figura 29 – Resultados encontrados na primeira análise

The screenshot shows a software window titled "Perdas na produção de concreto in loco". It contains the following data:

Item	Cimento	Areia	Brita	Aço
Índice de perdas de cada insumo (em %)	23.8697	9.94351	12.6088	0
Custo total do concreto perdido	56.855			
Valor perdido por m³ de concreto produzido	52.8196			

Other visible data includes: Data inicial (DI) 11/10/2017, Data final (DF) 11/10/2017, Traço 1:2:2.5, and a button labeled "CALCULAR PERDAS".

Autor (2017)

O programa apontou uma perda de 23,8697% no cimento, 9,94351% na areia, 12,6088% na brita, e 0% no aço, visto que o mesmo não foi utilizado nesse caso. O valor total do concreto perdido foi de R\$ 56,86. Além disso, o valor perdido por metro cúbico de concreto produzido foi próximo a R\$ 52,82.

4.1.2 Segunda análise

Após a inserção dos dados necessários no programa, o comando de cálculo das perdas foi dado e os resultados podem ser vistos na Figura 30.

Figura 30 – Resultados encontrados na segunda análise

Perdas na produção de concreto in loco

Obs.: A linguagem programacional utiliza o padrão norte-americano, para separar casas decimais, utilize sempre o "." (ponto), e nunca a "," (vírgula).

Data inicial (DI) 11/10/2017 Data inicial da análise 11/10/2017

Data Final (DF) 11/10/2017 Data final da análise 11/10/2017

Traço 1:2:2:5 Traços disponíveis: 1:1:2; 1:1.5:3; 1:2:2.5; 1:2:3; 1:2.5:3; 1:2:4; 1:2.5:3.5; 1:2.5:4; 1:2.5:5; 1:3:5; 1:3:6; 1:4:8

Quantidade de concreto produzida (DI-DF) 0.5544 Quantidade de concreto produzida entre as datas DI e DF (em m³)

	Cimento	Areia	Brita	Aço
Estoque inicial (DI)	5	5.5	1	2034.72
Quantidade recebida (DI-DF)	0	0	0	0
Estoque final (DF)	0	5.1	0.5	1990.88
Preço unitário do material	22.8	40	100	3.1

Quantidade no estoque na data DI (em unidades p/ cimento, em m³ para areia ou brita e em Kg para aço)

Quantidade recebida no estoque entre as datas DI e DF (Se não houver, =0)

Quantidade no estoque na data DF (em unidades p/ cimento, em m³ para areia ou brita e em Kg para aço)

Preço em R\$ da unidade (p/ cimento), do m³ (para areia ou brita) ou do Kg (para aço)

CALCULAR PERDAS

	Cimento	Areia	Brita	Aço
Índice de perdas de cada insumo (em %)	20.2501	6.73088	36.6479	18.1904

Custo total do concreto perdido 67.2075 Valor perdido em R\$ por desperdício de cimento, areia, brita e aço entre as datas DI e DF

Valor perdido por m³ de concreto produzido 121.228 Valor perdido em R\$ por metro cúbico de concreto produzido entre as datas DI e DF

Valores altos de perdas encontrados no cimento, brita e aço. Maneiras de reduzir as perdas desses insumos, além de minimizar ainda mais as perdas de areia: procedimento sistematizado para o controle da quantidade no recebimento do cimento, ex:

Autor (2017)

É possível verificar uma perda de 20,2501% no cimento, 6,73088% na areia, 36,6479% na brita e 18,1904% no aço. A análise qualitativa efetuada pelo programa apontou que os índices encontrados foram considerados acima do limite de perdas evitáveis para o cimento, a brita e para o aço. Perfazendo um custo total de perdas na produção desses 0,5544 m³ de concreto na ordem de R\$ 67,21. Os resultados apontaram um valor de R\$ 121,23 perdidos por metro cúbico de concreto produzido.

4.2 Apresentação geral dos resultados

A Tabela 18 apresenta uma compilação dos resultados obtidos na primeira e na segunda análise, em termos de índice de perdas, facilitando a comparação dos resultados.

Tabela 18 – Resultados encontrados para os índices de perdas

Análise	Quantidade de concreto produzida (m^3)	Traço (em volume)	IP do cimento (%)	IP da areia (%)	IP da brita (%)	IP do aço (%)
Primeira concretagem	1,0764	1:2:2,5	23,8697	9,94351	12,6088	NÃO SE APLICA
Segunda concretagem	0,5544	1:2:2,5	20,2501	6,73088	36,6479	18,1904

Autor (2017)

Como apresentado anteriormente, o acréscimo no índice de perdas na brita se deu devido ao método ineficaz de transporte utilizado na segunda análise, fazendo uso de um estoque intermediário. Quanto ao índice de perdas do aço, o acréscimo foi devido ao mau planejamento do corte e dobra das barras, sendo perdidas uma grande quantidade de pontas de vergalhões. Os demais insumos, apresentaram índices de perdas não tão diferentes nas duas análises.

A Tabela 19 compila os dados da Tabela 18 em termos de custos, apresentando os valores encontrados para o desperdício nas análises executadas. Desse modo, é possível fazer uma comparação adequada em termos financeiros.

Tabela 19 – Custos das perdas na produção de concreto das análises realizadas

Análise	Quantidade de concreto produzida (m^3)	Traço (em volume)	Custo total da produção (R\$)	Custo do material perdido (R\$)	Percentual aproximado de perda na produção (%)	Valor perdido por m^3 de concreto produzido (R\$/ m^3)
Primeira concretagem	1,0764	1:2:2,5	294,60	56,86	19,30	52,82
Segunda concretagem	0,5544	1:2:2,5	315,90	67,21	21,28	121,23

Autor (2017)

Apesar do percentual total de perdas na produção não ter sido muito diferente nas duas análises, o valor perdido por metro cúbico de concreto produzido foi muito diferente. Esse acréscimo financeiro ocorreu, principalmente, devido ao aumento do índice de perdas da brita ter sido muito grande, sendo esse um insumo relativamente caro, visto que a obra analisada pagava R\$ 100,00 por m^3 de brita adquirido. Além disso, destaca-se a utilização de aço, fazendo da primeira análise uma fabricação de concreto

simples e da segunda análise uma fabricação de concreto armado, desse modo, devido ao alto valor do aço na produção total de concreto, espera-se uma fabricação muito mais custosa para a geração do concreto armado. O aumento do custo da produção, conseqüentemente, aumenta o custo das perdas atreladas à mesma.

As análises foram efetuadas para casos específicos, além disso, as produções eram consideravelmente pequenas, portanto, em casos de produções maiores, a empresa responsável pela construção evita cometer muitos dos erros que ocasionaram nas perdas analisadas. Desse modo, os resultados apresentados não indicam o desempenho global da obra, mas sim casos específicos que ilustram a ocorrência de perdas na construção.

Os resultados são discutidos com maior nível de detalhamento na Seção 4.3, na Seção 4.3.1 e na Seção 4.3.2.

4.3 Discussões

De um modo geral, alguns fatores ocasionaram as perdas dos insumos no canteiro analisado. Um deles, tratava-se do recebimento de areia e brita.

Durante a primeira análise, ocorreu a entrega de um caminhão carregado de areia, onde nenhum procedimento de cubagem da quantidade recebida foi realizado. A Figura 31 ilustra a chegada desse material. Desse modo, a construtora ficava dependente somente da informação de quantidade de material repassada pelo fornecedor, que poderia divergir do volume real entregue. O mesmo processo de entrega, sem conferência da quantidade de material, ocorria para a brita.

Um procedimento simples de controle do recebimento desses insumos, realizando uma cubagem do material entregue, poderia evitar possíveis gastos excessivos.

Figura 31 – Recebimento do caminhão carregado de areia



Outro fator que levava à ocorrência de perdas era a quantidade de impurezas juntas do material, como pode ser visto na Figura 32. Essa situação também poderia ser evitada caso houvesse um maior controle no recebimento e estocagem dos agregados. Bastava que o responsável pela obra não aceitasse materiais com grandes quantidades de impurezas e evitasse o contato direto dos materiais com o solo sem contrapiso.

Além disso, seria interessante a utilização de contenções laterais para a separação dos materiais. No canteiro em estudo não havia qualquer proteção dos agregados contra chuva e/ou ventos, o que permitia a ocorrência de possíveis perdas por arraste desse material. Pontua-se ainda o fato de que, o contato direto com a chuva aumenta a umidade dos agregados, principalmente da areia, como ocorreu durante a primeira análise feita, conseqüentemente, aumentando o seu volume para além do volume real.

Figura 32 – Quantidades grandes de impurezas em meio aos agregados



Autor (2017)

Além desses fatores, destaca-se na primeira análise, o método de transporte do concreto recém-saído da betoneira. O concreto era despejado diretamente no chão, de onde eram utilizadas pás para transportá-lo até os carros de mão.

Não por coincidência, na segunda análise, foi verificado um menor índice de perdas no cimento. Nesse caso, o concreto era despejado diretamente no carro de mão. Fator que contribuiu para um menor desperdício do material.

Em linhas gerais, as maiores perdas verificadas nos estudos de caso ocorreram devido aos métodos de transporte, não só dos insumos básicos, mas também do próprio concreto, os motivos das ocorrências dessas perdas por transporte podem ser verificados na Seção 4.3.1 e na Seção 4.3.2.

4.3.1 Primeira análise

No primeiro caso analisado, observou-se uma perda considerável de cimento. Esse insumo foi o único que apresentou um índice acima dos valores de perdas teóricas apresentados por Formoso *et al.* (1996) e Agopyan *et al.* (1998a), mostrados na Tabela 7 e na Tabela 10. Desse modo, somente o cimento apresentou índice de perdas evitáveis.

Não foram constatadas irregularidades na estocagem do cimento, o local de armazenamento era fechado e coberto, somente o almoxarife possuía a chave de acesso ao local, além disso, os sacos estavam empilhados em até 10 sacos e sobre estrados de madeira, como pode ser observado na Figura 33.

Além disso, como é possível verificar na Figura 18, não eram utilizados carros de mão convencionais para transporte dos sacos de cimento, o carrinho utilizado tanto para transporte no recebimento, do caminhão até o estoque e, posteriormente, do estoque para o canteiro, possibilitava um transporte de uma maior quantidade por viagem, além de, por possuir uma plataforma maior, dificultava o risco de quedas dos sacos e/ou outros tipos de acidentes no transporte.

Figura 33 – Pilhas de 10 sacos de cimento sobre estrados de madeira



Na Figura 33, é possível também verificar uma grande quantidade de aglomerante no chão, além de um saco de cimento rasgado. Segundo o almoxarife, responsável pelo estoque, não era incomum um saco de cimento ser rasgado durante o transporte. Desse modo, essas perdas estão mais atreladas ao transporte do material do que à sua estocagem.

Apesar disso, as saídas dos sacos de cimento não eram rigorosas, o sistema PEPS não era aplicado, e não era incomum ver sacos de cimento mais recentes serem empilhados em cima dos sacos de cimento que estavam há mais tempo no estoque, consequentemente, alguns passavam mais tempo do que deveriam no estoque. Além disso, os testes de finura e pega, assim como o teste de resistência à compressão não eram aplicados no canteiro em questão, tornando o controle do recebimento do cimento meramente quantitativo, mas não qualitativo.

Outro fato que contribuiu na composição do índice de perda do cimento foi a maneira como os sacos de cimento eram abertos e introduzidos na betoneira no momento da concretagem. Quando o saco de cimento era cortado ao meio, uma pequena parte do material caía no chão, outra parte permanecia sob ação do vento por alguns instantes, para daí então, ser também introduzida na betoneira e completar o traço. Durante a colocação do cimento na betoneira, também não era difícil observar uma outra parte do aglomerante caindo do lado de fora da betoneira, ocasionando em mais perda de material.

As perdas de areia e brita foram classificadas pelo programa como perdas inevitáveis, podendo ser classificadas como um valor aceitável de perdas. Mesmo assim, essas perdas poderiam ser minimizadas, pois, assim como no cimento, o ato de introdução desses insumos na betoneira sempre se dava de modo que uma pequena parte do material era desperdiçada.

Esse problema ocorreu devido ao fato da betoneira possuir medidas incompatíveis com a padiola utilizada. O que é possível verificar na Figura 7. A betoneira utilizada possuía 45 *cm* de diâmetro na sua abertura, enquanto as padiolas também tinham 45 *cm* de comprimento, porém, de medidas internas, adicionando 2,5 *cm* a cada lado devido à madeira compensada, o comprimento externo das padiolas chega a 50 *cm*, o que impossibilita a sua total inserção na betoneira.

Como não havia estoque intermediário entre a areia e a brita e a betoneira, esses insumos eram transportados somente uma vez, o que reduzia a quantidade de perdas.

4.3.2 Segunda análise

Para a segunda análise, foram detectados altos índices de perdas no cimento, brita e no aço.

Um grande salto no índice de perdas em relação à primeira análise foi encontrada na brita, este acréscimo deve-se, principalmente, à utilização de um estoque intermediário entre o estoque principal de brita e a betoneira. No canteiro, isso se deu devido ao fato de não haver uma máquina disponível para transportar a quantidade de conchas necessárias para a concretagem. Por se tratar de um volume pequeno de concreto, próximo a meio metro cúbico, não foi dada a devida atenção às perdas que poderiam advir dessa concretagem.

As perdas no aço se deram, provavelmente, devido a um mau aproveitamento das pontas no corte e dobra *in loco*. A Figura 34 mostra as pontas perdidas no processo de corte e dobra da armação da viga baldrame analisada. As sobras tinham, em média, 1,50 m de comprimento. A orientação dada foi de que as pontas remanescentes fossem utilizadas para estribos, nos diâmetros de 6,3 mm ou inferiores, e nos diâmetros superiores, guardadas para uma possível utilização futura como complementos de vigas e/ou pilares.

Figura 34 – Aço remanescente do corte



Autor (2017)

O transporte do concreto recém-preparado também foi mais complexo durante essa concretagem. Novamente, por se tratar de uma quantidade pequena de concreto, a betoneira não foi transportada para um ponto próximo ao local da concretagem, desse modo, o concreto fresco era transportado em carros de mão por uma distância

de aproximadamente 150 m, até ser lançado no ponto de concretagem, distância consideravelmente grande para transporte em carros de mão.

Assim como na primeira análise, o concreto era lançado apenas virando o carro de mão no local a ser concretado. Na primeira análise, por se tratar de uma área maior e de mais fácil lançamento, esse lançamento não resultou em grandes perdas. No entanto, no caso da concretagem da viga baldrame, o espaço disponível para lançar o concreto correspondia à largura da viga, ou seja, 22 cm. Como pode ser observado na Figura 35, parte do concreto acabava caindo do lado de fora da fôrma, dessa maneira, sendo perdido.

Figura 35 – Diversos pontos em que o concreto não foi lançado dentro da fôrma



Autor (2017)

Foi possível notar uma perda por metro cúbico bastante superior na concretagem da segunda análise em relação à primeira análise. Esse fato deve-se a um maior índice de perdas de brita, que é o mais caro entre os agregados, assim como à presença do aço, o que não ocorreu no lastro de concreto para regularização da primeira análise. Sabe-se que o aço representa o insumo mais caro na produção do metro cúbico do concreto armado. Somente a perda de aço resultou em aproximadamente R\$ 24,72 de todos os R\$ 67,21 perdidos na segunda análise.

5 Conclusão

No presente estudo, foi adotada uma padronização da maneira de produção de concreto simples (aglomerante, agregados e água), tomada como referência nas relações volumétricas do concreto. Em posse dos padrões de volume, pôde-se estabelecer as quantidades necessárias de cada componente básico para a produção do material composto (concreto).

Ao se realizar os estudos de caso para a avaliação dos gastos para a produção de determinada quantidade de concreto, foi possível efetuar cálculos que indicaram as quantidades de cada material que estavam sendo perdidas em relação ao padrão estabelecido.

Um pequeno avanço em relação à bibliografia existente na área, foi a criação de uma ferramenta computacional capaz de realizar esses cálculos e além disso, atrelar à essas perdas os seus devidos custos, assim como indicar maneiras de diminuir essas perdas, desse modo, contribuindo não só para o meio acadêmico, mas também para o meio profissional da construção civil.

Diante dos objetivos apresentados, o presente trabalho foi capaz de atrelar custos às perdas da produção de concreto armado *in loco*, além de qualificá-las como evitáveis ou inevitáveis e apresentar maneiras de mitigar essas perdas. Foram apresentadas relações volumétricas de quantidades de insumos para produção de concreto de praticamente todas as necessidades de resistência à compressão em obras, além de apresentar as principais causas de perdas de concreto em obras civis, que, no estudo de caso efetuado, ocorreram em sua maioria, devido ao transporte dos insumos e do próprio concreto.

A ferramenta computacional implementada independe da utilização de *softwares* terceiros, possibilitando a sua instalação e utilização através de qualquer usuário, para quantificar e qualificar as perdas envolvidas na produção de qualquer quantidade de concreto, em qualquer período de tempo analisado.

O MATLAB foi de extrema importância na concepção do seguinte trabalho, visto que através desse ambiente programacional, foi possível criar um programa com interface própria, aumentando a sua interatividade com o usuário e fazendo com o que o mesmo não precisasse ter acesso à elevada complexidade do código programacional por trás do seu funcionamento.

Além disso, o calculador Caldas Branco foi essencial para a padronização das relações volumétricas da produção de concreto simples *in loco*. Além dos outros autores da revisão bibliográfica, que forneceram conceitos, consumo de outros insumos como

o aço, além de praticamente todo o equacionamento necessário para os cálculos.

Para a validação do programa, foram feitas simulações, onde foram inseridos dados de pesquisas já existentes e verificada a similaridade dos resultados apresentados pelo programa com os dados das pesquisas.

O estudo de caso efetuado apresentou dados interessantes, indicando custos altos de desperdício em produções pequenas. Na primeira análise do estudo, a produção de $1,0764 \text{ m}^3$ de concreto gerou uma perda de R\$ 56,86, perfazendo um custo de R\$ 52,82 por metro cúbico de concreto produzido. Enquanto que para a segunda análise do estudo, na produção de $0,5544 \text{ m}^3$, a perda encontrada foi de R\$ 67,21, o equivalente a R\$ 121,23 por metro cúbico de concreto produzido.

Como sugestões para análises futuras, poderiam ser incluídos alguns fatores que aumentariam a precisão dos cálculos, além de elementos que facilitariam a utilização do programa por parte do usuário. Pode-se citar a inclusão de métodos mais precisos de cálculo dos volumes de insumos em estoque, como por exemplo, a utilização do cálculo integral no próprio programa para quantificar o volume de insumos, de acordo com as medidas dos montes de insumos fornecidas pelo usuário, ou, uma cubagem mais eficiente, fazendo os insumos formarem formas geométricas onde a cubagem seja mais precisa e adequada.

Também poderia ser acrescentado um estudo mais detalhado dos volumes de água inseridos no traço, visto que os mesmos são determinantes para a quantidade final de concreto produzida, embora, quantificar volumes de água utilizados nem sempre seja viável e/ou possível em campo.

Além disso, para facilitar a utilização do programa, sugere-se que a quantificação da massa total de aço em estoque poderia ser feita através de uma função no próprio programa, evitando que o usuário precise do auxílio de tabelas para fazer a relação peso/bitola/comprimento, apesar de que, em uma relação já implementada, o usuário poderia ter dificuldade para inserir as sobras de vergalhões cortados como parte do seu estoque.

Outra função que poderia somar muito seria uma análise das ações feitas em campo para identificar de onde estavam vindo a maior parte das perdas. Essa análise poderia ser feita através de uma lista de perguntas respondidas pelo usuário que pudesse apontar quais hábitos produtivos estavam gerando um maior índice de perdas e trabalhar prioritariamente na melhoria desses processos.

Alguns temas citados no presente trabalho podem ser tratados de forma mais aprofundada em futuros estudos, como por exemplo: a real relação entre a resistência à tração do concreto e o consumo de aço por metro cúbico de concreto em estruturas; a real interferência das condições de umidade do ar em relação à quantidade total de

água para a produção de traços de concreto; ou ainda um estudo para a implementação de um programa que permita a abordagem de perdas de outros insumos na construção civil, como por exemplo, perdas nos elementos de vedação, revestimento e acabamento. Além de uma quantificação das perdas relacionadas ao trabalho, ou seja, associadas à produtividade dos funcionários de uma obra.

Referências

- ABCP. *Pesquisa inédita e exclusiva revela cenário do mercado brasileiro de concreto*. 2013. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/imprensa/noticias/pesquisa-inedita-e-exclusiva-revela-cenario-do-mercado-brasileiro-de-concreto/>>. Acesso em: 04/09/2017.
- ADÃO, F. X.; HEMERLY, A. C. *Concreto armado: novo milênio: cálculo prático e econômico*. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 224 p.
- AGOPYAN, V.; SOUZA, U. E. L. de; PALIARI, J. C.; ANDRADE, A. C. de. *Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras*. São Paulo, 1998. Volume 3.
- AGOPYAN, V.; SOUZA, U. E. L. de; PALIARI, J. C.; ANDRADE, A. C. de. *Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras*. São Paulo, 1998. Volume 4.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. *Indicadores econômicos consolidados*. 2017. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/pec/Indeco/Port/indeco.asp>>. Acesso em: 28/10/2016.
- BASTOS, L. W. *Análise de custos do desperdício na construção civil*. 2015. 26 p. Monografia (Engenharia de Produção) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- BIANCHINI, M. *Análise da influência dos teores de sílica ativa na produção de concretos de alta resistência em central dosadora de concreto*. 2010. 148 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- BORNIA, A. C. *Mensuração das perdas dos processos produtivos: uma abordagem metodológica de controle interno*. 1995. 125 p. Tese (Engenharia de Produção) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- BOTELHO, M. H. C.; MARCHETTI, O. *Concreto armado, eu te amo*. 8. ed. São Paulo: Blucher, 2015. v. 1. Revista segundo a nova norma de concreto armado NBR 6118/2014.
- BRANCO, A. de A. C. *Calculador Caldas Branco: Régua prática, baseada em trabalho experimental próprio, destinada à resolução de Traços de Concreto e Orientação Técnico Profissional na dosagem em "Peso" ou Volume*. Rio de Janeiro: [s.n.], 1967. Patente de Invenção Nº 30.431: D.N.P.I. do antigo Ministério do Trabalho, Indústria e Comércio.
- BULHÕES, I. R.; FORMOSO, C. T.; SANTANA, M. J. A. Método para medir o custo das perdas em canteiros de obras. In: IX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2002, Foz do Iguaçu. Foz do Iguaçu, 2002. p. 1371 – 1380.

- CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. *Download tabela SINAPI*. 2017. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_639>. Acesso em: 28/10/2017.
- CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. de. *Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado*: segundo a NBR 6118: 2014. 4. ed. São Paulo: Edufscar, 2014. 415 p.
- CHAPRA, S. C. *Métodos Numéricos Aplicados com MATLAB® para Engenheiros e Cientistas*. 3. ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2013. 672 p.
- COMERCIAL GERDAU. *Catálogo de Produtos*. 2017. Disponível em: <<https://www.comercialgerdau.com.br/pt/productsservices/products/DocumentGallery/catalogo-produtos-cg.pdf>>. Acesso em: 02/11/2017.
- COSTA, V. J.; XAVIER, J. A. Ferramentas computacionais para engenharia - MATLAB. In: 31º SEURS - SEMINÁRIO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA DA REGIÃO SUL, 2014, Florianópolis. Florianópolis, 2014.
- FERNANDES NETO, M.; SOUSA JUNIOR, A. M. de; LIMA, D. de F. Análise qualitativa do trabalho em altura: um estudo multicaso em canteiro de obra em um campus universitário. In: XXXV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2015, Fortaleza. Fortaleza, 2015.
- FERREIRA, J. C.; CARVALHO, R. A. de; COSTA, H. G. Emprego de uma metodologia para aquisição de materiais numa empresa de construção civil da cidade de Campos dos Goytacazes. *GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, Campos dos Goytacazes, v. 3, n. 1, p. 23 – 35, Agosto 2008.
- FORMAFER. *Análise Comparativa: Custos Estrutura Metálica X Estrutura de Concreto*. 2017. Disponível em: <<http://formafer.com.br/2017/04/15/analise-comparativacustos-estrutura-metalica-x-estrutura-de-concreto/>>. Acesso em: 04/09/2017.
- FORMOSO, C. T.; CESARE, C. M. de; LANTELME, E. M. V.; SOIBELMAN, L. *As perdas na construção civil: conceitos, classificações e seu papel na melhoria do setor*. Porto Alegre, 1996. Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação.
- FORMOSO, C. T.; ISATTO, E. L.; HIROTA, E. H. Method for waste control in the building industry. *Proceedings IGLC-7: Seventh Conference of the International Group for Lean Construction*, Berkeley, p. 325 – 334, July 1999. University of California.
- FORMOSO, C. T.; SOIBELMAN, L.; CESARE, C. de; ISATTO, E. L. Material waste in building industry: main causes and prevention. *JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT*, p. 316 – 325, July/August 2002.
- FUSCO, P. B. *Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados*. 2. ed. São Paulo: PINI, 2012.
- GÓES, D. B. R.; SILVA, G. M. da; GUEDES, D. L.; SILVA, O. F. Desenvolvimento de Interface em MATLAB para Aprendizagem e Comparação de Métodos Numéricos. In: XXXV CONGRESSO NACIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL, 2014, Natal. Natal, 2014.

KOSKELA, L. *Application of the new production philosophy to construction*. Palo Alto, 1992. Center for Integrated Facility Engineering.

LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. *Construções de concreto: princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado*. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. v. 1. 336 p.

LIMA, Y. C. C. D.; MENESES, V. N. de; EIROZ, E. lima de qu; CARVALHO, H. G. de A.; FRASAO, S. C. Lean Construction e P+L como ferramenta de gestão da qualidade na construção civil: uma estratégia competitiva. *XXXIV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, Curitiba, 2014.

MAGALHÃES, F. C. *Estudo probabilístico da resistência à compressão e da resistência à tração na flexão dos concretos utilizados na construção do dique seco do estaleiro Rio Grande, no superporto, em Rio Grande-RS*. 2009. 181 p. Dissertação (Engenharia Oceânica) — Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.

MEIRA, A. R.; LIBRELOTTO, L. I.; SANTOS, P. L.; HEINECK, L. F. M. *Metodologia para redução das perdas na construção civil*. 1998.

MIRANDA, A. T.; ALBUQUERQUE, M. P. de; ALBUQUERQUE, M. P. de. *Introdução ao MATLAB*. 2007. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. CBPFNT-002/2007.

NASCIMENTO, J. M. do. A importância da compatibilização de projetos como fator de redução de custos na construção civil. *Revista Especialize On - line IPOG*, Goiânia, v. 1, n. 7, Julho 2014. 7 ed.

OHNO, T. *O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala*. [S.l.]: Bookman, 1997. 149 p.

PALIARI, J. C. *Metodologia para coleta e análise de informações sobre consumos e perdas de materiais e componentes nos canteiros de obras de edifícios*. 1999. 473 p. Dissertação (Engenharia Civil) — Universidade de São Paulo, São Paulo.

PALM, W. J. *Introdução ao MATLAB para Engenheiros*. 3. ed. [S.l.]: AMGH Editora, 2013. 571 p.

PEDROSA, A. L.; MORAES, N. M.; RODRIGUEZ, J. L. M.; NASCIMENTO, M. H. R. do; FERNANDES FILHO, S. F. Application of the MATLAB Computational Tool for the Problem of the Economic Dispatch of Electric Energy using Genetic Algorithm: Case Study. *Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications*, v. 3, n. 10, p. 179 – 184, Junho 2017.

PICCHI, F. A. *Gestão da qualidade: impacto na redução de desperdícios*. São Paulo: [s.n.], 1995. Seminário Gerenciamento Versus Desperdício.

PINTO, T. de P. *Perda de materiais em processos construtivos tradicionais*. 1989. Dissertação (Engenharia de Construção Civil e Urbana) — Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

RESENDE, M. de F.; TAIGY, A. C.; SILVA, V. L. G. e. Perdas de materiais na construção civil: algumas medidas que fazem a diferença nas obras do Nordeste. In: XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1998, Niterói. Niterói, 1998.

- ROQUE, D.; FONSECA, A. *Desenvolvimento de aplicações informáticas para o processamento digital de imagens em linguagem MATLAB*. Lisboa, 2013. Departamento de Barragens de Betão.
- SANTOS, A. dos; FORMOSO, C. T.; ISATTO, E. L.; LANTELME, E. M. V.; OLIVEIRA, M. *Método de intervenção para redução de perdas na construção civil: manual de utilização*. Porto Alegre: SEBRAE/RS, 1996. 104 p.
- SHINGO, S. *O sistema Toyota de produção*. Porto Alegre: Bookman, 1996.
- SILVA, E. M.; SILVA, M. E.; OLIVEIRA, M. S. de. Resistências à tração por compressão diametral e por flexão de prismas em concretos de alto desempenho. In: 43^º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, ANAIS, 2001, Foz do Iguaçu. Foz do Iguaçu, 2001.
- SILVA, T. de L. *Influência da resistência característica à compressão do concreto no dimensionamento estrutural de um edifício em concreto armado*. 2015. 93 p. Monografia (Engenharia Civil) — Faculdade Pio Décimo, Aracaju.
- SKOYLES, E. R.; SKOYLES, J. R. *Waste prevention on site*. London: Mitchell, 1987. 208 p.
- SNIC. *Consumo anual de cimento: por UF, grandes regiões e Total Brasil*. 2013. Disponível em: <<http://cimento.org/downloads-cimento/>>. Acesso em: 03/11/2017.
- SNIC. *Dados de produção e consumo de cimento no Brasil*. 2016. Disponível em: <<http://www.cimentoverdedobrasil.com.br/producao-e-consumo-de-cimento-no-brasil/>>. Acesso em: 22/10/2017.
- SOUZA, M. A. de; DIEHL, C. A. *Gestão de custos: uma abordagem integrada entre contabilidade, engenharia e administração*. 1. ed. [S.l.]: Atlas, 2009. 328 p.
- SOUZA, U. E. L. de; PALIARI, J. C.; AGOPYAN, V.; ANDRADE, A. C. de. Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 33 – 46, Outubro 2004.
- STRAUB, M. L. *Estudo de caso: estudo do custo do desperdício na construção civil*. 2010. 76 p. Monografia (Engenharia Civil) — Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville.
- VALENTE, J. A.; FREIRE, F. M. P.; ROCHA, H. V. da; D'ABREU, J. V.; BARANAUSKAS, M. C. C.; MARTINS, M. C.; PRADO, M. E. B. B. *O computador na sociedade do conhecimento*. Campinas, 1999. Unicamp/NIED.
- VARGAS, C. L. S.; MARCHIORI, F. F.; MENEZES, M. de O.; COELHO, R. de Q.; LIMEIRA, U. R.; HEINECK, L. F. M. Avaliação de perdas em obras: aplicação de metodologia expedita. In: XVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1997, Gramado. Gramado, 1997.