



T07

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

Caio Lima Santos ¹, Alverlando Silva Ricardo ²

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.*

1. INTRODUÇÃO

O concreto é o material de produção industrial mais consumido no mundo, apresentando um consumo de pouco mais de um metro cúbico por habitante, ou seja, aproximadamente três toneladas (ADÃO & HEMERLY, 2010).

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. 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.

Segundo Koskela (1992), perda refere-se a um serviço desnecessário ou material excedente, que, embora gere custos adicionais, não agrega valor algum ao produto final. O presente estudo quantifica as perdas referentes à produção de concreto em uma obra com base nos dados de consumo em um determinado intervalo de tempo, e avalia-as como sendo uma perda inevitável ou evitável.

¹ Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão
Email: caiolima012@gmail.com

² Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão
Email: alverlando.ricardo@hotmail.com



Para essa classificação, baseou-se 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 apresenta medidas capazes de mitigar esses valores. Assim como desenvolveu maneiras de quantificar os custos dessas perdas na produção de concreto *in loco*. Todos esses passos foram programados e são executados por um programa de autoria própria, que além de apresentar quanto está sendo desperdiçado, apresenta também o custo atrelado a esse desperdício. O programa em questão foi desenvolvido na linguagem programacional MATLAB, 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* ou até mesmo o próprio MATLAB, a sua instalação é feita através de um executável capaz de trabalhar em qualquer máquina que possua o sistema operacional *Windows*.

Na revisão de literatura efetuada no presente estudo, não foram encontradas ferramentas computacionais que se propusessem a efetuar análises de perdas na construção civil, fazendo do presente estudo, possivelmente, um primeiro passo para a adoção de propostas computacionais, aplicáveis na prática, de quantificação do custo das perdas atreladas à produção no setor. Além de possuir 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.

Inicialmente, foi efetuada uma revisão bibliográfica trazendo parte do que existe na literatura sobre os temas abordados no presente trabalho. 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 perduram 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 na linha de pesquisa, assim como as bibliotecas programacionais mais avançadas para a produção do algoritmo base.

Quanto à execução dos cálculos, 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. Link para *download* e instruções de instalação do programa criado: https://1drv.ms/f/s!Atc_1hc1Sx6qgxUO_w5K2nkOe_T3

1.1 OBJETIVO

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.



Busca-se alcançar esse objetivo através da criação de um programa executável em qualquer plataforma *Windows*, que apresente as perdas envolvidas na produção e que possa expor medidas capazes de mitigar essas perdas.

2. 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.

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.

Basicamente, o equacionamento segue os passos indicados por Paliari (1999), iniciando-se na Equação 01.

$$C_{real} = E_i + R_{i,f} - E_f \quad (\text{Equação 01})$$

Sendo:

C_{REAL} → consumo do insumo analisado entre o período inicial e final;

E_I → estoque inicial do insumo (no início da análise);

$R_{I,F}$ → recebimento do insumo no estoque entre o início e fim da análise (quando houver);

E_F → estoque final do insumo (no fim da análise);

Para o consumo referencial, sendo este o valor teórico ocorrido em uma situação onde não houvesse a presença de perdas, Paliari (1999) apresenta a fórmula exposta na Equação 02.

$$C_{referencial} = QS_{i,f} * \frac{CM}{QS} * \frac{CMB}{MC} \quad (\text{Equação 02})$$

Sendo:

$C_{REFERENCIAL}$ → consumo referencial do insumo analisado (em situação de perdas inexistentes);

$QS_{I,F}$ → quantidade de serviço realizada (concreto produzido em m^3);

CM/QS → consumo de material por unidade de serviço realizada;



CMB/MC → consumo padrão de material básico analisado por unidade de material composto;
Por fim, Paliari (1999) chega à Equação 03 para o cálculo do índice de perdas (IP).

$$IP(\%) = \left[\frac{C_{real}}{C_{referencial}} - 1 \right] * 100 \quad (\text{Equação 03})$$

Em posse dos valores unitários pagos em cada um dos insumos, fornecidos pelo usuário, o algoritmo calcula o custo da perda do material através da Equação 04.

$$P_{ins}(\$) = IP_{ins} * V_{ins} * C_{real} \quad (\text{Equação 04})$$

Sendo:

P_{INS} → valor perdido do material (em moeda local);

V_{INS} → valor unitário pago pelo insumo (em moeda local);

Assim como indicar a quantidade de perdas, o programa também faz uma análise qualitativa e aponta essas perdas como evitáveis ou inevitáveis, Formoso et al. (1999) conceituam esses termos da seguinte maneira:

- (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 et al. (1996) apresentaram dados de perda teórica na produção de concreto *in loco*, esses valores foram tomados como base no estudo para a qualificação da perda como evitável ou inevitável, sendo estas perdas de: 12% para o aço; 15% para o cimento; 15% para a areia; 15% para a brita. No caso da brita, o percentual levado em consideração é oriundo do estudo de Agopyan et al. (1998a).

Nos casos em que as perdas ultrapassem os limites de classificação como perdas inevitáveis, o programa apresenta medidas para diminuir as perdas desses insumos, com base nas recomendações apresentadas por Resende et al. (1998) e Agopyan et al. (1998b).

Na terceira e última etapa do estudo, 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. Os dados foram colhidos no canteiro de obras e inseridos no programa para o cálculo das perdas.



3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi criada uma interface gráfica através da ferramenta *GUIDE*, contida no MATLAB, visando um funcionamento dinâmico para o usuário e independente de outras ferramentas além do próprio programa criado. A interface pode ser vista na Figura 01.

Figura 01 – 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).

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

| | Cimento | Areia | Brita | Aço | |
|-----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---|
| Estoque inicial (DI) | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | Quantidade no estoque na data DI (em unidades p/ cimento, em m ³ para areia ou brita e em Kg para aço) |
| Quantidade recebida (DI-DF) | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | Quantidade recebida no estoque entre as datas DI e DF (Se não houver, =0) |
| Estoque final (DF) | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | Quantidade no estoque na data DF (em unidades p/ cimento, em m ³ para areia ou brita e em Kg para aço) |
| Preço unitário do material | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | Preço em R\$ da unidade (p/ cimento), do m ³ (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 R\$ por desperdício de cimento, areia, brita e aço entre as datas DI e DF

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

Fonte: Os Autores (2017)

Assim como os dados colhidos no estudo de caso foram inseridos no programa e apresentaram os resultados mostrados na Figura 02, para a primeira análise, e na Figura 03 para a segunda análise.

Figura 02 – Custo das perdas na primeira análise do estudo de caso

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).

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

| | Cimento | Areia | Brita | Aço | |
|-----------------------------|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---|
| Estoque inicial (DI) | <input type="text" value="17"/> | <input type="text" value="4.3"/> | <input type="text" value="2.8"/> | <input type="text" value="0"/> | Quantidade no estoque na data DI (em unidades p/ cimento, em m ³ para areia ou brita e em Kg para aço) |
| Quantidade recebida (DI-DF) | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> | Quantidade recebida no estoque entre as datas DI e DF (Se não houver, =0) |
| Estoque final (DF) | <input type="text" value="7"/> | <input type="text" value="3.5"/> | <input type="text" value="2"/> | <input type="text" value="0"/> | Quantidade no estoque na data DF (em unidades p/ cimento, em m ³ para areia ou brita e em Kg para aço) |
| Preço unitário do material | <input type="text" value="18.26"/> | <input type="text" value="40"/> | <input type="text" value="100"/> | <input type="text" value="0"/> | Preço em R\$ da unidade (p/ cimento), do m ³ (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" value="23.8697"/> | <input type="text" value="9.94351"/> | <input type="text" value="12.6088"/> | <input type="text" value="0"/> |

Custo total do concreto perdido 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 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

Fonte: Os Autores (2017)



Figura 03 – Custo das perdas na segunda análise do estudo de caso

Perdas na produção de concreto in loco

Data Inicial (DI) 11/10/2017 Data inicial da análise
Data Final (DF) 11/10/2017 Data final da análise
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 |

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 121,226 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

Fonte: Os Autores (2017)

A Tabela 01 apresenta os dados encontrados com ênfase no custo ocasionado pelas perdas.

Tabela 01 – Custos das perdas na produção de concreto nas análises realizadas

| Análise | Quantidade de concreto produzida (m³) | Traço (em volume) | Custo total da produção (R\$) | Custo do material perdido (R\$) | Percentual aproximado de perdas na produção (%) | Valor perdido por m³ de concreto produzidos (R\$) |
|----------------------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|---------------------------------|---|---|
| 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 |

Fonte: Os Autores (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 m³ 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.

Outros fatores que aumentaram as perdas em ambas as análises, foram os métodos de recebimento de areia e brita, que não faziam análises tão adequadas nem da quantidade recebida e nem da qualidade dos insumos. No entanto, o fator que mais causou perdas foi o transporte, tanto dos insumos quanto



do concreto produzido. As técnicas de transporte eram defasadas e em diversos momentos, desnecessárias, fazendo uso de estoques intermediários e movimentos muito longos para o transporte do concreto do ponto de produção ao ponto de lançamento.

4. CONCLUSÕES

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 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 independente de quaisquer outros *softwares* 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.

O estudo de caso efetuado apresentou dados interessantes, indicando custos altos de desperdício em produções pequenas. Na primeira análise do estudo, a produção de $1,0764 m^3$ 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 $0,5544 m^3$, 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.

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.

Outros temas citados no presente estudo podem ser tratados de forma mais aprofundada em futuros trabalhos, 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 BIBLIOGRÁFICAS

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.

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.

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

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.

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.