



XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído **ENTAC 2022**

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Tratamento estatístico de indicadores de produtividade como ferramenta de gerenciamento em obras

Statistical treatment of productivity indicators as a
management tool in civil construction

Tiago Haddad Marum

Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE) | São Paulo (SP) | Brasil |
marum@thmestatistica.com

Ronney Rodrigues Agra

Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE) | São Paulo (SP) | Brasil |
agra@thmestatistica.com

Ricardo Nunhez da Silva

Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE) | São Paulo (SP) | Brasil |
nunhez@thmestatistica.com

Renan Pereira de Andrade

Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE) | São Paulo (SP) | Brasil |
renan.andrade@fipe.org.br

Márcio José Serra Paixão

Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE) | São Paulo (SP) | Brasil |
marcio.paixao@fipe.org.br

Flávio Leal Maranhão

Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE) | São Paulo (SP) | Brasil |
flavio.maranhao@fipe.org.br

Resumo

Na construção civil, a depender do tipo de recurso avaliado (mão de obra, material ou equipamento), a literatura designa indicadores específicos para obtenção da produtividade. Pouco se discute no meio técnico-científico a respeito da interpretação e utilização desses indicadores associados com seu nível de abrangência (diário, cumulativo ou cíclico), em especial associados a um tratamento estatístico. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo promover tais discussões, de forma a auxiliar a avaliação da produtividade em obra e proporcionar aos gestores uma alternativa matemática eficiente de acompanhamento, baseada na análise de dados e estatística, que pode ser aplicada mesmo com recursos limitados.

Palavras-chave: Produtividade. RUP. Gerenciamento. Tratamento estatístico. Análise de dados.



Como citar:

MARUM, T.H.; AGRA, R.R.; SILVA, R.N.; ANDRADE, R.P.; PAIXÃO, M.J.S.; MARANHÃO, F.L. Tratamento estatístico de indicadores de produtividade como ferramenta de gerenciamento em obras. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-12.

Abstract

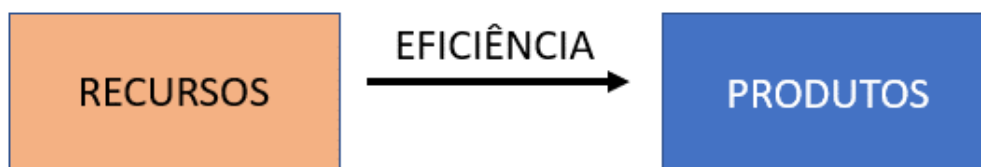
In civil construction, depending on the type of resource evaluated, the literature designates specific indicators for obtaining productivity. Little is discussed in the technical-scientific field regarding the interpretation and use of these indicators associated with their level of coverage (daily, cumulative or cyclical), especially associated with a statistical treatment. In this context, the present study aims to promote such discussions, in order to help the evaluation of productivity in constructions and provide managers with an efficient technological alternative for monitoring, based on data analysis, which can be applied even with limited resources.

Keywords: Productivity. RUP. Management. Statistical treatment. Data analysis.

INTRODUÇÃO

No contexto de serviços de engenharia civil, o termo produtividade pode ser entendido como a eficiência na transformação de recursos (ou entradas, ou esforços) em produtos (ou saídas, ou resultados) (Figura 1) [1,2]. Na construção, os principais recursos aos quais a produtividade pode ser avaliada podem ser classificados em mão de obra, materiais e equipamentos. As eficiências nos usos desses recursos são então denominadas: produtividade da mão de obra, consumo unitário de materiais e eficiência de equipamentos [2]. Para avaliar cada uma destas, indicadores de produtividade são definidos a partir de uma relação entre o recurso (ou esforço) e o produto obtido (ou resultado).

Figura 1: Esquema ilustrativo do termo produtividade: eficiência na transformação de recursos em produtos



Fonte: o autor.

De maneira geral, os indicadores de produtividade em serviços de construção civil seguem a relação exposta na Equação 1, conforme apresentado no “Manual básico de indicadores de produtividade na construção civil” [2]. Ressalta-se que índices menores indicam maiores produtividades.

$$IP = \frac{R_s}{Q_s} \quad (1)$$

Onde,

IP = indicador de produtividade;

R_s = recurso ou esforço;

Q_s = quantidade de serviço/produto obtido.

A depender do recurso, o indicador pode apresentar nomenclaturas específicas. Para produtividade da mão de obra, este indicador é conhecido como Razão Unitária de Produção (RUP) [2,3,4]. Nesta, o recurso é medido a partir do conceito de “Homens

hora” (Hh) e da quantidade de serviço realizada (Qs). Para materiais emprega-se o nome Consumo Unitário de Materiais (CUM) [2,4], definido a partir do quociente entre a quantidade de materiais efetivamente utilizados (Qmat) e a quantidade de produto obtido. Para este recurso, também é comum discriminar os consumos em teóricos e efetivos, de forma a estimar as perdas de material decorrentes do processo executivo [2]. Em equipamentos, o indicador é denominado Eficiência de Equipamentos (EFE) [2,4], o qual decorre da relação entre as horas de equipamento empregadas (Heq – hora de equipamento) e o resultado obtido (Qs).

De maneira geral, os indicadores de produtividade (IP) podem ser avaliados em função do intervalo de tempo relacionado às entradas e saídas. Os IPs podem ser definidos como diários, cumulativos ou cíclicos. O IP Diário mede a produtividade do serviço a cada dia. O IP Cumulativo corresponde à produção acumulada ao longo de um intervalo de tempo, enquanto o IP Cíclico à acumulação dentro de um ciclo de produção.

Apesar de bem definidos de acordo com seu nível de abrangência (diário, cumulativo ou cíclico), a literatura pouco aborda a respeito da interpretação e utilizações desses indicadores, em especial associados a um tratamento estatístico adequado. Assim, o tratamento estatístico é relevante neste caso, uma vez que é aplicado com a finalidade de caracterizar e compreender os dados coletados, por meio da elaboração de gráficos de evolução da produtividade e através da concepção de modelos probabilísticos que proporcionam o agrupamento de dados de diferentes cenários e fornecem estimativas dos índices em obras, até mesmo considerando a dispersão inerente às apropriações diárias. Assim, decisões assertivas por parte dos gestores podem ser tomadas após aplicação destes procedimentos.

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo promover discussões a respeito da correta utilização dos indicadores diários ou cumulativos a partir do recurso mão de obra (RUP diária x RUP cumulativa) em serviços de alvenaria com base em uma extensa campanha de coleta de dados em diferentes obras e tipos de bloco. Essas discussões ora realizadas neste artigo auxiliam a avaliação da produtividade em obra e proporcionam aos gestores uma alternativa matemática eficiente de acompanhamento, baseada em estatística e análise de dados, que pode ser aplicada mesmo com recursos limitados.

METODOLOGIA

Para este estudo, o serviço de alvenaria foi acompanhado em três obras, denominadas “Obra A”, “Obra B” e “Obra C”, ambas localizadas no município de São Paulo.

Nos serviços de alvenaria acompanhados, diferentes tipos de blocos vazados de concreto foram utilizados em obras de edificações, tanto em ambientes internos quanto na região aparente dos edifícios, cada um com sua frente de serviço específica. Os blocos avaliados diferiam por suas espessuras, as quais possuíam 9, 14 e 19 cm. Já as dimensões de comprimento e largura eram, respectivamente, 19 e 39 cm.

A aferição do serviço nas obras foi conduzida considerando cada dia, frente de serviço (equipe) e obra analisada. Dessa forma, cada apropriação é um elemento do espaço amostral que representa a produtividade para o serviço de alvenaria por dia, obra e tipo de bloco. O indicador de cada elemento é denotado “IP Elementar”. O recurso de mão de obra foi apropriado em horas (h) consumidas para a quantidade de produto realizado e o serviço em metros quadrados levantados (m²).

CARACTERIZAÇÃO DAS OBRAS

A Obra A constitui uma construção distribuída em sete galpões em estrutura de concreto pré-moldada com três pavimentos e cobertura e concentra-se em um único terreno. Trata-se de uma obra de edificações de porte médio, com início em 18/11/2020, e conta com canteiro interno, refeitório, almoxarifado, além de contemplar alojamento localizado junto a obra.

A Obra B constitui uma construção predial de 2 torres, 16 pavimentos e uma creche no subsolo. Trata-se de uma obra de edificações de porte médio, com início em 09/03/2020, e conta com canteiro de obras, refeitório e vestiário para mão de obra próximo ao local de trabalho.

A Obra C constitui uma construção predial de 8 torres com canteiro de obras, refeitório e banheiros para mão de obra próximo ao local de trabalho. Devido o escopo do projeto contemplar a execução de dois lotes (16 torres), o terreno apresenta uma área elevada com relação a quantidade de serviço executada. Trata-se de uma obra de edificações de porte médio, com início em 17/06/2019.

Durante o período de apropriação de dados nas três obras, o qual foi iniciado em abril de 2021 e finalizado em fevereiro de 2022, objetivou-se a maior quantidade de coleta de apropriações em campo (esforço amostral). Ao final do período, 452 apropriações (n) foram coletadas, divididas em 127, 194 e 131 para as obras A, B e C, respectivamente. A coleta de dados foi realizada com visitas às obras, de equipes compostas por engenheiros, pesquisadores e estagiários de engenharia civil. A quantidade de apropriações distintas entre as obras sofreu influência da execução (ou não) do serviço analisado durante o período de visita da equipe nas obras. Além disso, apesar das obras apresentarem algumas características distintas entre elas, os dados pertencem ao mesmo universo amostral das produtividades para o serviço sob análise, o que permite a comparação entre elas. A quantidade total de recurso medido em obra foi de, aproximadamente, 5292 horas, empregadas para a execução de 5483 m² de alvenaria.

TRATAMENTO ESTATÍSTICO DA PRODUTIVIDADE

CONCEITOS E PREMISSAS ESTATÍSTICAS

Os níveis de abrangência dos indicadores (diário, cumulativo, cíclico) apresentam propriedades estatísticas distintas, o que implica em diferentes usos e interpretações,

a depender dos objetivos da análise. Quando pretende-se avaliar a tendência central de um conjunto de indicadores de produtividade, isto é, quando o interesse está em entender o comportamento “médio” do conjunto de dados (e, então, inferir o comportamento geral da população de onde a amostra foi extraída), pode-se avaliar as seguintes métricas: IP diário médio (média dos IP’s diários); IP cíclico médio (média dos IP’s cíclicos); ou IP cumulativo até o último dia apropriado [1,2,4].

De maneira geral, considera-se que as apropriações diárias são medidas independentes entre si, isto é, dada uma amostra com “n” dias coletados, o valor de produtividade de cada dia não é afetado pelos demais [2]. Isso significa assumir que a produtividade de um dia não afeta a produtividade do(s) próximo(s). Considerando esse caso, estatísticas descritivas (como média, mediana, desvio padrão, amplitude, entre outros) e ferramentas inferenciais (como testes de hipótese, construção de intervalos de confiança, entre outros) podem ser utilizadas sem ressalvas, uma vez que tais métodos estatísticos exigem independência entre os elementos de uma amostra [5,6]. Nesse sentido, gráficos boxplot foram utilizados a fim de visualizar a distribuição e os valores discrepantes (*outliers*) dos indicadores de produtividade diário por obra. Além disso, por meio desses gráficos e tabelas, foi possível comparar as medidas descritivas (como a mediana e os demais quartis) entre as obras analisadas.

Para o índice cumulativo, o comportamento é distinto. Uma vez que sua formulação envolve a “acumulação” dos resultados de todos os dias até o último avaliado, não se pode assumir independência entre elementos. Como cada dia acumula os anteriores, não se pode considerar que as produtividades acumuladas sejam independentes entre si. Nesse caso, o IP cumulativo até o último dia coletado se mostra a medida de tendência central de interesse, uma vez que considera todos os cenários (ponderando todos esforços e quantidades produzidas) de todas as coletas [2]. Nesse sentido, a curva de acumulação foi adotada neste estudo como forma de acompanhar a evolução da produtividade em cada obra.

O IP cíclico se encontra em um passo intermediário entre os dois anteriores. Ao se avaliar cada ciclo, a tendência é analisar a métrica de maneira similar ao IP cumulativo. Por outro lado, em caso de mais de um ciclo de medição, pode-se entender cada ciclo como independente dos outros e então adotar uma abordagem similar à utilizada para os IP’s diários.

No presente estudo, foram avaliados somente os indicadores diários e cumulativos. Além disso, o tratamento estatístico proposto consiste de três avaliações distintas: análise descritiva da produtividade; acompanhamento de produtividade por obra e; modelagem estatística da produtividade global. Todos os gráficos e representações utilizadas no presente trabalho foram gerados a partir do software R 4.0.3 [7].

ANÁLISE DESCRITIVA DA PRODUTIVIDADE

Na análise descritiva, as apropriações foram avaliadas a partir da elaboração de tabelas-resumo com o sumário estatístico das principais medidas de tendência central,

quartis e dispersão. A representação dessas medidas foi apresentada por meio de gráficos de boxplot, auxiliando na descrição dos resultados obtidos [5,6].

ACOMPANHAMENTO DE PRODUTIVIDADE POR OBRA

O acompanhamento por obra consistiu da elaboração e interpretação do gráfico de evolução da produtividade. Nele, a contagem de apropriações é apresentada em ordem cronológica no eixo das abscissas e o índice avaliado (IP) no eixo das ordenadas. Os indicadores diários de produtividade são expostos como pontos, enquanto o IP acumulado é representado por uma linha contínua.

Por meio desse gráfico, é possível avaliar o comportamento assintótico de convergência do IP cumulativo, o qual pode ser utilizado como ferramenta de acompanhamento e gerenciamento da produtividade.

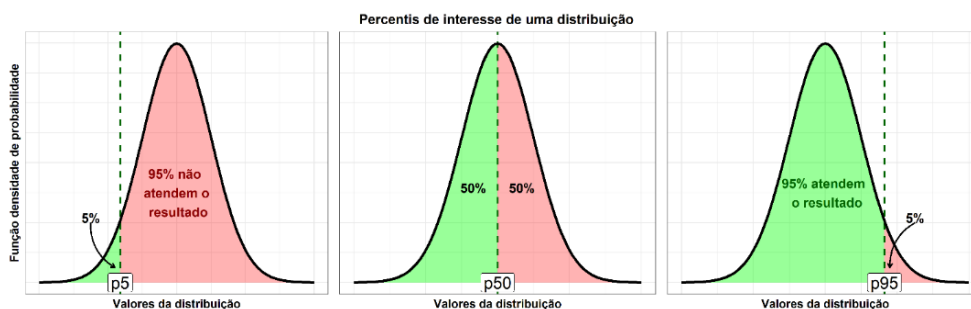
MODELAGEM ESTATÍSTICA DA PRODUTIVIDADE GLOBAL

A fim de avaliar conjuntamente a produtividade de diferentes obras e frentes de serviço, o indicador diário de produtividade deve ser considerado. Nesse sentido, adotou-se a estratégia proposta por Marum et al. [8], que propõe a modelagem estatística dos IPs diários e a interpretação física da produtividade por meio da avaliação dos percentis das distribuições de probabilidade inferidas. A metodologia proposta por Marum et al. [8] mostrou-se uma abordagem estratégica eficiente, devido à sua natureza probabilística, apresentando as vantagens de ser uma ferramenta dinâmica, que pode ser atualizada a partir do aumento do quantitativo amostral coletado (tornando-se cada vez mais representativa) e, por isso, foi adotada neste estudo no contexto de avaliação dos resultados de maneira agregada (e não mais individualizados por obra).

Semelhante ao proposto no estudo de Marum et al. [8], um modelo de distribuição de probabilidade foi assumido para os indicadores coletados considerando a distribuição log-normal, $LN(\mu, \sigma^2)$. A aderência do modelo foi avaliada no histograma de densidade de frequências e no gráfico normal de probabilidade a partir da construção do intervalo de confiança (95%) ao redor da reta de regressão do modelo [5,6].

Uma vez definido o modelo de probabilidade, os percentis de interesse, p5, p50 e p95 foram calculados. A Figura 2 ilustra a interpretação dos percentis das distribuições de probabilidade, onde por exemplo, o percentil 95 (p95) representa uma produtividade tal que somente 5% das apropriações do universo amostral seriam menos produtivas, isto é, demandariam mais recursos para a mesma quantidade de serviço. Por outro lado, o percentil 5 (p5) responderia por uma produtividade elevada, tal que somente 5% das apropriações do universo amostral superariam esta métrica.

Figura 2: Análise esquemática de percentis de uma distribuição de probabilidades



Fonte: Marum et al. [5]

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados para os serviços de alvenaria foram primeiramente avaliados por meio de estatísticas descritivas. O Quadro 1 apresenta o número de elementos apropriado (n), os quartis (Q), média e coeficiente de variação (C.V.) dos dados para cada obra. A Figura 3 representa os resultados por meio de boxplots, ferramentas gráficas ideais para visualizar a distribuição dos dados e seus valores discrepantes (outliers). As medidas estatísticas descritivas citadas no Quadro 1 formam o boxplot.

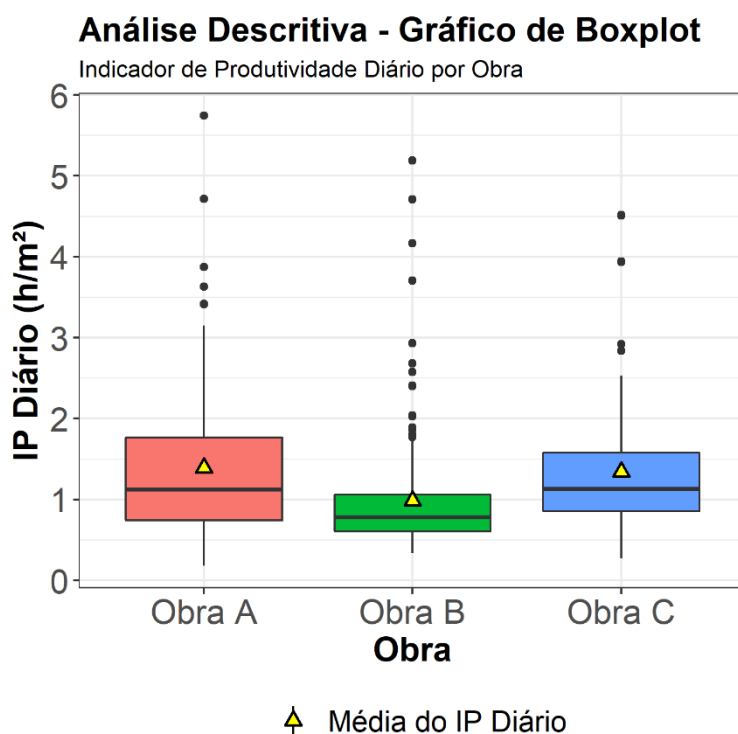
A análise descritiva apontou similaridade entre as produtividades diárias entre as obras A e C, especialmente quando verificada as medidas de tendências centrais (mediana e média). Nota-se que a produtividade na Obra B é maior que as demais, visto que o indicador possui valor inferior àqueles apresentados nas Obras A e C. Além disso, os intervalos interquartis para as Obras A e C se apresentaram próximos, enquanto que para a Obra B observou-se uma menor dispersão dos IPs diários em torno da medida central (mediana). Contudo, o coeficiente de variação desta obra foi similar ao da Obra A, e maior que o da Obra C, evidenciando possível influência de outliers no cálculo desta métrica (representados por pontos com IPs maiores que aproximadamente 2 h/m²).

Quadro 1: Medidas de posição central e dispersão dos indicadores de produtividade diários

Obra	n	Mínimo	1Q	Mediana	Média	3Q	Máximo	C.V. (%)
A	127	0,18	0,74	1,12	1,39	1,77	5,75	66,9
B	194	0,34	0,61	0,78	0,99	1,06	5,19	69,3
C	131	0,28	0,86	1,13	1,35	1,58	4,52	57,2

Fonte: o autor.

Figura 3: Análise descritiva – indicador de produtividade diário por obra



Fonte: o autor.

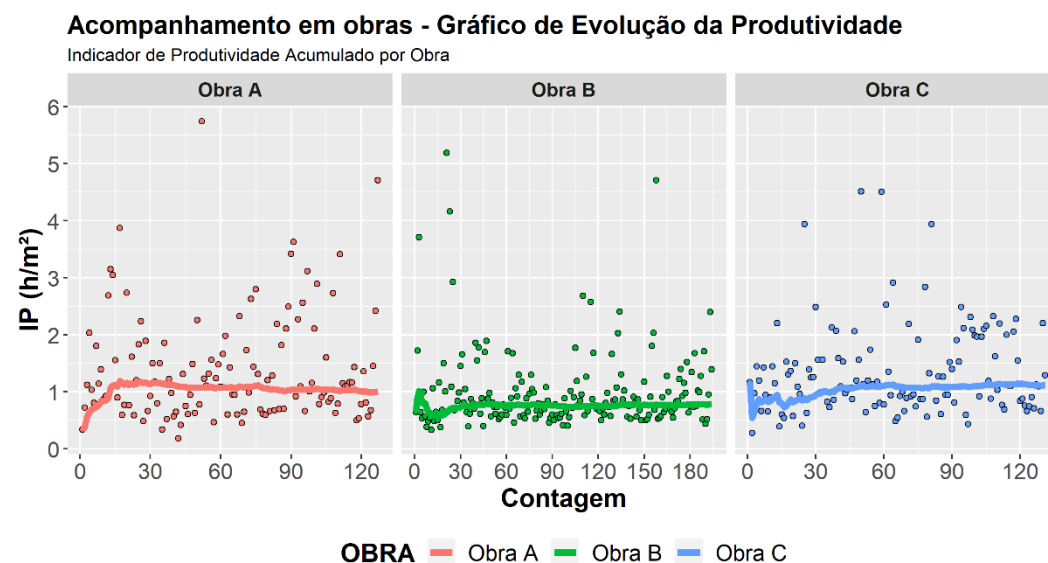
A Figura 4 apresenta o gráfico de evolução da produtividade para as 3 obras. Os indicadores acumulados ao final da contagem para cada obra, foram de, respectivamente 1,01; 0,79; e 1,12 para as Obras A, B e C. Estes valores representam a produtividade efetivamente empregada pela equipe durante o período de coleta de dados em obra, isto é, representam a razão entre o total de horas empregadas (h) e a área construída de alvenaria (m²). Há de se ressaltar que essa métrica é diferente da média e mediana dos IPs diários. Embora busquem representar uma produtividade central ao conjunto de dados, o indicador cumulativo é mais adequado no cenário de acompanhamento em obra (em função da evolução da apropriação), enquanto o indicador diário apresenta características mais convenientes à modelagem estatística com distribuições de probabilidade.

Em um primeiro momento, nota-se a elevada variabilidade dos resultados diários (IPs diários), por vezes maiores que 4 h/m² em todas as obras analisadas. A explicação para essa variabilidade elevada é indicada na literatura a partir da utilização do Modelo de Fatores (REF), proposto por Thomas e Yiakoumis [9]. Este Modelo assume que o trabalho de uma equipe é afetado por certa quantidade de fatores que podem alterar o seu desempenho aleatoriamente ou sistemicamente. O efeito cumulativo dos distúrbios causados por esses fatores gera uma curva de real produtividade, cuja forma pode ser muito irregular, tornando sua interpretação difícil. Em contrapartida, o indicador cumulativo apresenta menor sensibilidade em relação às variações diárias, apresentando comportamento de convergência numérica a partir de uma quantidade suficiente de apropriações.

Tomando como exemplo a Obra B, a produtividade acumulada até a 30ª contagem apresenta valor de 0,73 h/m². Vale ressaltar que esta amostragem constitui pouco mais de 1/7 da amostragem total e apresenta erro relativo menor que 10% em relação à produtividade final. A depender da evolução da produtividade em cada obra, a quantidade minimamente suficiente para estimar a produtividade final da equipe varia, como visto na Obra C, que necessita de 33 contagens (1/4 da amostragem total) para retornar um índice com erro relativo menor ou igual a 10%. Já a Obra A apresentou convergência mais rápida que as demais, com apenas 15 contagens (aproximadamente 1/8 da amostragem total) para atingir erro relativo de, aproximadamente 11%.

Essa avaliação do comportamento da curva cumulativa proposta no presente estudo pode servir aos gestores de obra tanto a nível de estimação da produtividade final da equipe quanto para fins de medidas de controle e evolução da produtividade. Por exemplo, ao acompanhar a execução de um determinado serviço, o gestor pode identificar pelo comportamento do IP cumulativo a necessidade de intervenção nos fatores que afetam a produtividade, de forma a privilegiar o atendimento de metas, prazos e orientar a condução das atividades a partir da evolução vista na curva.

Figura 4: Evolução da produtividade por obra – gráfico de acompanhamento

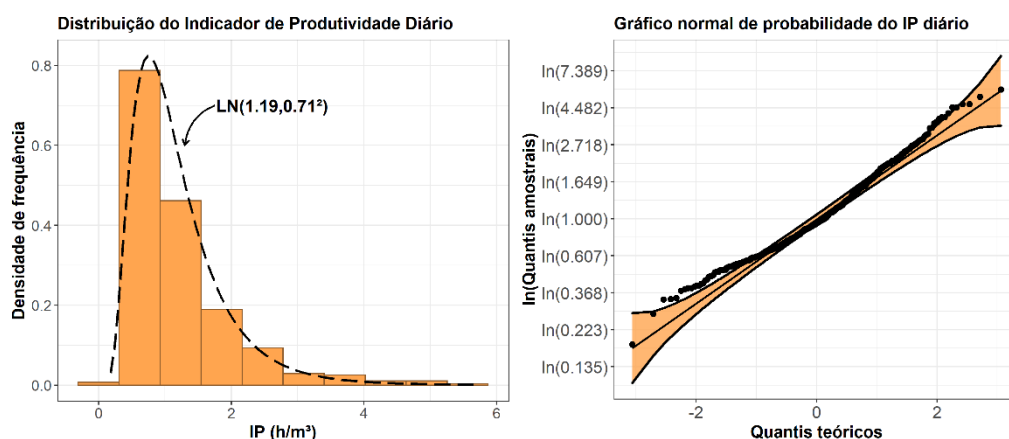


Fonte: o autor.

Além das análises descritivas e do gráfico de evolução da produtividade, avaliadas discriminando os resultados para cada obra, uma modelagem estatística dos IPs diários é sugerida considerando o agrupamento de todo o conjunto de dados coletado em obra. Como indicado na metodologia proposta por Marum et al. [8], um agrupamento dos indicadores diários é conduzido sob a premissa de que os dados pertencem ao mesmo universo amostral das produtividades para o serviço sob análise e uma distribuição de probabilidade é associada a este conjunto. A Figura 5 apresenta a aderência dos resultados obtidos a partir da escolha de ajuste com modelo lognormal

para os indicadores diários. Obteve-se uma distribuição de frequências com boa aproximação à distribuição lognormal com parâmetros média 1,19 h/m² e desvio padrão 0,71 h/m². Os resultados dos percentis de interesse (p5, p50 e p95) obtidos estão expostos no Quadro 2.

Figura 5: Modelo estatístico – distribuição do indicador de produtividade diário



Fonte: o autor.

Quadro 2: Percentis de interesse para o modelo proposto

Modelo Proposto			
Percentil	p5	p50	p95
Índice equivalente	0,41	1,02	2,53

Fonte: o autor.

Adotando o modelo proposto para representar a produtividade diária para o serviço de alvenaria, o gestor de obra pode avaliar percentis e quais indicadores decorrem destes, bem como adotar valores pré-fixados e obter o percentil equivalente. Em ambas as situações, os resultados do modelo podem ser interpretados do ponto de vista probabilístico, fornecendo uma ferramenta capaz agrupar resultados de diferentes cenários e considerar a variabilidade intrínseca dos IPs diários na caracterização da produtividade.

Para o exemplo acima (Quadro 2), a métrica 0,41 h/m² representa uma produtividade elevada, tal que a probabilidade de que um novo valor diário apropriado em obra supere esta métrica é de apenas 5%. Em contrapartida, pode-se entender que novos IPs diários superiores a 2,53 h/m² também apresentam probabilidade de ocorrência igual ou menor que 5%. Adicionalmente, o percentil 50 equivale a 1,02 h/m² e corresponde à mediana da distribuição probabilística.

CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo promover discussões acerca da utilização dos diferentes tipos de indicadores de produtividade, associados a um tratamento estatístico, como forma de auxílio à avaliação da produtividade em obra por parte dos

gestores. Uma alternativa matemática eficiente de acompanhamento, baseada em estatística e análise de dados, foi indicada. Entre as principais conclusões, destacam-se:

- Os indicadores de produtividade possuem diferentes características em função dos níveis de abrangência (diário, cíclico, cumulativo) e o tratamento estatístico, interpretação e aplicação destes indicadores deve considerar tais particularidades. Os gestores, ao avaliarem a produtividade em obra, devem se atentar a tais usos e particularidades expostos no estudo;
- Estatísticas descritivas podem ser aplicadas aos indicadores diários para melhorar caracterização e compreensão dos dados coletados. O gestor de obra pode utilizar tabelas-sumário e representações gráficas como auxílio a esta análise, que possui caráter predominantemente descritivo e exploratório;
- O acompanhamento da produtividade das obras por parte do gestor pode ser conduzido a partir da avaliação do IP cumulativo. O gráfico de evolução da produtividade é útil para visualização dos principais comportamentos da curva cumulativa e fornece ao gestor métricas de controle para tomadas de decisão (intervenções pontuais, atingimento de metas, evolução).
- A curva do IP cumulativo converge e, portanto, é possível estimar a produtividade efetiva das frentes de serviço a partir de uma quantidade minimamente suficiente ainda durante sua execução. De posse disso, o gestor pode decidir por intervenções pontuais para melhoria da produtividade efetiva final, também pode utilizar essa estimativa como representativa da produtividade da equipe, entre outros.
- De posse do modelo estatístico de distribuição, baseado nos indicadores diários de produtividade, o gestor de obra consegue avaliar percentis de atendimento da produtividade avaliada (porcentagem de vezes que a produtividade é atendida ou superada em um dia de obra) e os indicadores decorrentes destes (índices de produtividade relativos ao percentil observado), assim como adotar outros valores e obter os percentis equivalentes. O modelo probabilístico constitui, portanto, uma ferramenta capaz de agrupar resultados de diferentes cenários e fornecer estimativas representativas da realidade observada em obras, considerando a dispersão intrínseca das medições diárias.
- A metodologia de análise discutida no presente estudo constitui uma alternativa matemática viável e eficiente no cenário da construção civil. Isto decorre do emprego de poucos recursos para obtenção dos resultados associados a uma análise robusta o suficiente para guiar tomadas de decisão dos gestores baseadas nas tendências da produtividade observadas em obra.

REFERÊNCIAS

- [1] SOUZA, U. E. L. **Método para a previsão da produtividade da mão de obra e do consumo unitário de materiais para os serviços de fôrmas, armação, concretagem, alvenaria, revestimentos com argamassa, contrapiso, revestimentos com gesso e revestimentos cerâmicos**. 2021. Universidade de São Paulo. São Paulo.

- [2] SOUZA, U. E. L.; MORASCO, F. G.; RIBEIRO, G. N. B. **Manual básico de indicadores de produtividade na construção civil**. v.1. Brasília, DF: CBIC, 2017.
- [3] MATTOS, A. **Como preparar orçamentos de obras**. 3. ed. São Paulo: [s.n.].
- [4] SOUZA, U.E.L. **Como aumentar a eficiência da mão de obra: manual de gestão da produtividade na construção civil**. 1ª ed. São Paulo: Pini, 2006.
- [5] BUSSAB, WO; MORETTIN, PA. **Estatística Básica (9ª Edição)**. São Paulo: Editora Saraiva, 2017.
- [6] DEVORE, J. L. **Probabilidade e Estatística para Engenharia e Ciências**. Ed. Thomson, 2006.
- [7] R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. 2020.
- [8] MARUM, T. H.; ANDRADE, R. P.; PAIXÃO, M. J. S.; ZAPPILE, J. C.; RODRIGUES, B. F.; MARANHÃO, F. L. **Estudo Da Obtenção De Índices De Produtividade Para Tabelas De Composições Unitárias: Uma Abordagem Probabilística**. 3º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos. TECSIC 2021.
- [9] THOMAS, H. R.; YIAKOUMIS, I. **Factor Model of Construction Productivity**. Journal of Construction Engineering and Management, v. 113, n. 4, p. 623-638, 1987.



DEFINIÇÃO DE FAIXAS DE PERFORMANCE EM SERVIÇOS DE CONCRETAGEM BASEADO EM TRATAMENTO ESTATÍSTICO DE INDICADORES DE PRODUTIVIDADE

DEFINITION OF PERFORMANCE RANGES IN CONCRETE SERVICES BASED ON STATISTICAL TREATMENT OF PRODUCTIVITY INDICATORS

Ronney Rodrigues Agra (1); Tiago Haddad Marum (1); Renan Pereira de Andrade (1); Bruno Marques De Souza (1); Jonathan Chefaly Mochon Zappile (1); Flávio Leal Maranhão (1)

(1) Pesquisador, Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (Fipe)

Av. Corifeu de Azevedo Marques, 5677 - Cidade São Francisco. São Paulo/SP
agra@thmestatistica.com

Resumo

A produtividade no ambiente de construção é um dos assuntos prioritários para a engenharia de construção civil, uma vez que a transformação eficiente de recursos (entradas) em produtos (saídas) tem influência direta no orçamento, cronograma e consequente sucesso do desenvolvimento de determinado produto da construção. A depender do tipo de recurso (mão-de-obra, material ou equipamento), a literatura aponta indicadores específicos para obtenção dos índices de produtividade. No entanto, pouco se discute na literatura a respeito da interpretação e utilização desses índices, em especial associados a um tratamento estatístico. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo demonstrar como o tratamento estatístico dos indicadores de produtividade pode auxiliar na definição de limites de performance e, com isso, no acompanhamento e gerenciamento de diferentes serviços de concretagem. O estudo contou com uma extensa campanha de coleta de dados, com apropriação de mais de 4000 horas de mão de obra e mais de 3000 m³ de volume de concreto em 23 diferentes obras públicas no município de São Paulo. Diante das faixas de performance propostas neste estudo, o gestor conta com uma ferramenta tecnológica capaz de monitorar e avaliar o desempenho da equipe de forma contínua, identificar desvios significativos e acompanhar os resultados de medidas corretivas, conforme necessário.

Palavra-Chave: Produtividade, RUP, Tratamento estatístico, Concretagem, Tecnologias digitais.

Abstract

Productivity in civil construction is one of the priority issues for engineering, since the efficient transformation of resources (inputs) into products (outputs) has a direct influence on the success of this sector. Depending on the type of resource, the literature points to specific indicators for obtaining productivity indices. However, little attention has been given in the literature to the interpretation and utilization of these indicators, particularly in relation to statistical treatment. In this context, this study aims to demonstrate how the statistical treatment of productivity indicators can assist in defining performance limits and, consequently, in the monitoring and management of different concreting services. The study involved an extensive data collection campaign, including over 4,000 hours of labor and more than 3,000 m³ of concrete volume in 23 different public projects in the city of São Paulo. With the proposed performance ranges in this study, managers have access to a technological tool capable of continuously monitoring and evaluating team performance, identifying significant deviations, and tracking the results of corrective measures as needed.

Keywords: Productivity, RUP, Statistical treatment, Concrete, Digital tools and technologies.

1 Introdução

A avaliação da produtividade dos serviços na construção civil desempenha um papel fundamental na otimização do gerenciamento, cronogramas e orçamentos das obras. É essencial contar com métodos eficazes para avaliar e monitorar a produtividade, visando aprimorar o desempenho e a eficiência das atividades construtivas (SOUZA, 2021; PINTO; NUNES, 2014).

A concretagem constitui um dos processos fundamentais da construção civil, requerendo uma atenção especial para assegurar sua eficiência e qualidade. A avaliação e monitoramento da produtividade dos serviços de concretagem desempenham um papel crítico nesse contexto. Uma mensuração precisa da produtividade proporciona a identificação de oportunidades de aprimoramento, redução de desperdícios, aumento de eficiência operacional, otimização na alocação de recursos, culminando em reduções de custos e uma execução mais eficiente dos serviços (OLIVEIRA; ALENCAR, 2018). Garantir a eficiência e qualidade da concretagem é uma prioridade, uma vez que esses serviços influenciam diretamente a integridade estrutural, durabilidade e desempenho do empreendimento construído. Portanto, a implementação de métodos eficazes para avaliar e monitorar a produtividade é um componente crucial para alcançar altos padrões de excelência na realização dos serviços de concretagem.

Uma abordagem comumente utilizada é a utilização de indicadores de produtividade, conforme abordado no "Manual básico de indicadores de produtividade na construção civil" (SOUZA, MORASCO, RIBEIRO; 2017). Esses indicadores fornecem uma medida quantitativa da relação entre os recursos empregados e os resultados obtidos. Por meio da análise desses indicadores, é possível obter insights valiosos para aprimorar o planejamento, identificar áreas de melhoria e implementar ações corretivas para aumentar a produtividade. Essa abordagem permite uma gestão mais eficiente, contribuindo para a redução de custos, cumprimento de prazos e melhoria global do desempenho das obras. Um indicador comumente utilizado é o Índice de Produtividade (IP), que pode ser calculado por meio da Equação 1, pela divisão da quantidade de recursos (entrada) pela quantidade de produto gerado (saída). É importante ressaltar que quanto menor o valor do IP maior é a produtividade do serviço, uma vez que é necessária uma menor quantidade de recursos para uma mesma unidade produzida.

$$\text{Indicador de Produtividade (IP)} = \frac{\text{Recurso}}{\text{Produto}} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

IP é o Indicador de Produtividade;

Recurso é a quantidade de insumo necessária para execução do serviço;

Produto é o resultado do esforço obtido (ou produção).

Dependendo do tipo de insumo avaliado, o Indicador de Produtividade (IP) pode ser denominado de diferentes formas, refletindo as particularidades de cada componente. Quando aplicado à mão de obra, é conhecido como Razão Unitária de Produtividade (RUP); para equipamentos, é denominado Eficiência de Equipamentos (EFE); e em

relação aos materiais, é identificado como Consumo Unitário de Material (CUM). Embora as nomenclaturas variem, todas essas medidas possuem o mesmo propósito: quantificar a quantidade de insumo necessária para a execução de uma unidade de produto (OLIVEIRA; ALENCAR, 2018; SOUZA, 2006). A determinação do IP pode ser realizada considerando diferentes níveis de abrangência, tais como nível diário, semanal, mensal, cíclico e acumulado. Nesse contexto, a Equação 1, conforme apresentada anteriormente, pode ser adaptada de acordo com o nível de abrangência escolhido.

Em MARUM et al (2021) foi apresentada uma discussão sobre a modelagem do IP em serviços de construção. Nesse estudo, apresentou-se a possibilidade de coletar dados em obra e, a partir dessa amostragem, desenvolver um modelo probabilístico que represente a produtividade do serviço, por meio do IP. Uma vez com um modelo ajustado por uma distribuição de probabilidades, é possível avaliar as métricas centrais (moda, média, mediana), métricas de dispersão e os percentis da distribuição e, conseqüentemente, inferir sobre o comportamento geral do serviço modelado (universo amostral do serviço). Essa metodologia demonstrou ser eficiente, devido à sua abordagem probabilística, oferecendo a vantagem de ser uma ferramenta dinâmica, que pode ser atualizada a partir do aumento do quantitativo amostral coletado, tornando-se cada vez mais representativa. Um exemplo é apresentado na Figura 1, que ilustra a interpretação dos percentis das distribuições de probabilidade de um modelo. O percentil 95 (p95) de um IP representa uma produtividade em que apenas 5% das apropriações do universo amostral seriam menos produtivas, demandando mais recursos para a mesma quantidade de serviço. Já o percentil 5 (p5) responde por uma produtividade elevada tal que apenas 5% das apropriações do universo amostral superariam este valor.

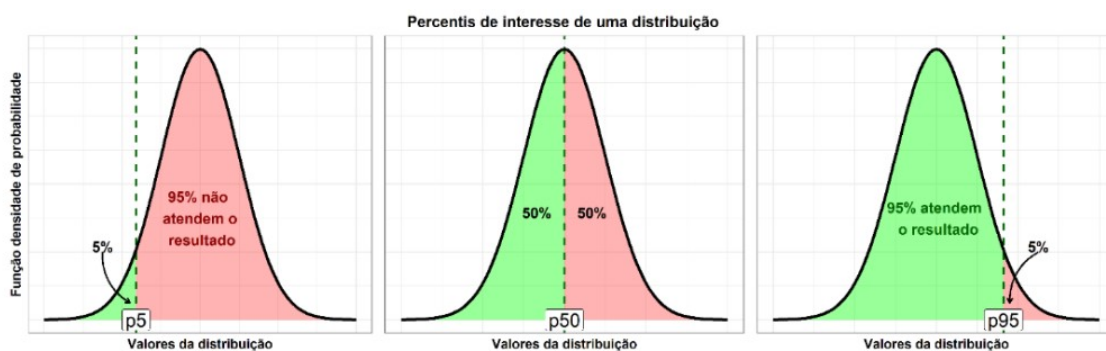


Figura 1 – Análise esquemática da interpretação de percentis de uma distribuição de probabilidades para um indicador de produtividade (MARUM et al., 2021).

A literatura pouco aborda a respeito da interpretação e utilização dos indicadores de produtividade nos serviços de concretagem, em especial associados a um tratamento estatístico adequado. A compreensão dos dados coletados, por meio de modelos probabilísticos que fornecem estimativas dos serviços, são essenciais para proporcionar aos gestores uma alternativa matemática e tecnológica eficiente de acompanhamento, e que pode ser aplicada mesmo com recursos limitados. Além disso, por meio da aplicação do tratamento estatístico dos Indicadores de Produtividade (IPs), é possível definir métricas de performance (classificações) para avaliação e gerenciamento dos serviços de concretagem, os quais podem apresentar diferentes execuções, métodos e níveis de produtividade.

Neste contexto, este artigo tem por objetivo demonstrar como o tratamento estatístico dos indicadores de produtividade pode auxiliar na definição de limites de performance e, com isso, no acompanhamento e gerenciamento de serviços de concretagem. O presente estudo é aplicado para mão-de-obra em dados provenientes de uma extensa coletada em diversas obras do município de São Paulo. Os serviços avaliados são concreto virado na obra, concreto usinado com lançamento manual e concreto usinado com lançamento bombeável.

2 Metodologia

2.1 Coleta de dados

Para este estudo foi realizado o acompanhamento da produtividade de três tipos de serviços de concretagem: concreto virado em obra, concreto bombeável e concreto usinado. Estes foram avaliados em 23 diferentes obras públicas no município de São Paulo, totalizando uma quantidade de 4292 horas apropriadas de mão de obra (recurso) e 3475 m³ de volume de concreto (produto).

A apropriação foi conduzida considerando nível de abrangência diário e por obra, ou seja, cada dia em obra representa um elemento do universo amostral (um resultado de IP). A campanha de coleta totalizou 200 dias. A coleta de dados foi realizada com visitas às obras, de equipes compostas por engenheiros, pesquisadores e estagiários de engenharia civil.

A Tabela 1 apresenta as principais características das obras contempladas no estudo. As obras diferem em tipos (edificações e infraestrutura), porte (pequeno, médio ou grande) e configuração (horizontal ou vertical). A inclusão de obras com essas distintas características permitiu obter uma amostra que reflete a diversidade e complexidade dos serviços de concretagem de obras públicas na cidade de São Paulo. Isso possibilita extrapolar os resultados obtidos a partir da amostra para o âmbito geral dos serviços de concretagem em obras públicas na cidade, proporcionando uma visão abrangente e representativa desses serviços.

Essa abordagem de seleção de obras, juntamente com um método de apropriação padrão, garante a robustez e confiabilidade dos dados coletados, bem como a validade dos resultados obtidos. Dessa forma, o estudo fornece insights relevantes e aplicáveis para a gestão e o planejamento dos serviços de concretagem em obras públicas na cidade, contribuindo para o avanço e aprimoramento dessa importante área da construção civil.

Tabela 1 – Características das obras públicas contempladas no estudo

Quantidade de obras	Tipo	Porte	Configuração	Caracterização
3	Infraestrutura	Grande	Horizontal	Construção de controle de inundações (Canalização de córrego)
3	Edificação	Médio	Vertical	Construção de reurbanização de favelas
3	Infraestrutura	Médio	Horizontal	Recuperação estrutural de viaduto
2	Infraestrutura	Pequeno	Horizontal	Recuperação estrutural de pavimento rígido



2	Infraestrutura	Pequeno	Horizontal	Obras de zeladoria
1	Infraestrutura	Grande	Horizontal	Construção de controle de inundações (Piscinão)
1	Edificação	Pequeno	Horizontal	Ampliação de escola de futebol
1	Infraestrutura	Médio	Horizontal	Substituição de pontilhão existente
1	Edificação	Médio	Vertical	Obra de construção de HIS
1	Infraestrutura	Médio	Horizontal	Reforma e adequação de autódromo
1	Edificação	Médio	Horizontal	Construção de galpões logísticos
1	Edificação	Médio	Vertical	Construção de Centro de Educação Infantil
1	Edificação	Pequeno	Horizontal	Construção de Ecoponto
1	Infraestrutura	Pequeno	Horizontal	Construção de praça destinada a primeira infância
1	Infraestrutura	Médio	Horizontal	Readequação da acessibilidade de rotas de um parque e prolongamento da rede de água/esgoto

2.2 Análises descritivas

A primeira caracterização dos Indicadores de Produtividade (IPs) foi realizada a partir da elaboração de tabelas-resumo com o sumário estatístico das principais medidas de tendência central, quartis e medidas de dispersão. A representação dessas medidas foi apresentada por meio de gráficos de boxplot, os quais auxiliam na descrição dos resultados obtidos, permitindo a visualização da distribuição dos dados e os valores discrepantes (*outliers*) dos indicadores de produtividade por serviço. Além disso, por meio desses gráficos e tabelas, foi possível comparar as medidas descritivas (com a mediana e os demais quartis) entre os serviços de concretagem analisados. Essa abordagem confere ao gestor de obra condições de avaliações e caracterizações iniciais dos dados, conforme exposto em MARUM et al. (2022).

Ressalta-se que o valor de produtividade de cada dia não é afetado pelos demais, uma vez que as apropriações diárias são independentes entre si (SOUZA, MORASCO, RIBEIRO; 2017). Logo, estatísticas descritivas e ferramentas inferenciais podem ser utilizadas sem ressalvas, uma vez que tais métodos estatísticos possuem como requisito a independência entre os elementos de uma amostra (BUSSAB; MORETTIN, 2017; DEVORE, 2006).

Os gráficos e demais representações utilizadas neste artigo foram gerados a partir do software livre R 4.0.3 (R CORE TEAM, 2020).

2.3 Modelagem probabilística dos indicadores de produtividade

Os IPs foram modelados estatisticamente, conforme indicado em MARUM et al. (2021). Dessa forma, um modelo probabilístico foi assumido para cada serviço de concretagem, considerando os IP coletados em obra. Os modelos consideraram uma função densidade de probabilidade com distribuição lognormal, denotada por LN (μ, σ^2).

A aderência de cada modelo foi avaliada por meio do histograma de densidade de frequências e do gráfico normal de probabilidade (QQ-plot ou gráfico quantil-quantil) com construção do intervalo de confiança (95%) ao redor da reta de regressão do modelo (BUSSAB; MORETTIN, 2017; DEVORE, 2006). Adicionalmente, conduziu-se o teste de

hipótese de SHAPIRO-WILK (1965), aplicado nos logaritmos dos resultados, assumindo significância de 5%, de forma a confirmar a aderência dos modelos a nível inferencial. Nesse teste, se o p-valor for menor que 0,05, isso indica que existe evidência estatística significativa para rejeitar a hipótese nula, indicando que a distribuição de origem dos dados não pode ser considerada lognormal. Se o p-valor for maior que 0,05, isso implica que não há evidências estatísticas suficientes e significativas para rejeitar a hipótese nula, isto é, afirmar que os dados não seguem uma distribuição lognormal. Neste caso, a distribuição de origem dos dados pode ser considerada lognormal.

2.4 Faixas de classificação de performance

De posse de modelos ajustados aos dados de cada serviço de concretagem, definem-se seis faixas de performance em função dos percentis de cada modelo. Essa construção deu-se pela adoção de percentis fixos para classificações extremas (“excepcional/muito bom”, “alerta/ruim” e “inaceitável/muito ruim”) e a definição da classificação “regular”, baseada em um intervalo ao redor do valor mais provável da distribuição, isto é, o IP Moda. Uma vez definidas as faixas para classificações extremas e a regular, as demais classificações são consequentemente definidas de maneira intermediária a estes intervalos.

As adoções apresentadas na sequência foram definidas para este estudo, podendo, a cargo do gestor ou analista utilizar valores que se adaptem à realidade de cada obra e/ou serviço.

Para este estudo, definiu-se que apropriações diárias que apresentassem IP maior que o percentil 90 (p90) são classificadas como “inaceitável/muito ruim” dentro de um controle de produção, visto que IPs maiores que p90 representam as 10% piores produtividades do universo amostral.

De forma análoga, uma classificação de “alerta/ruim” pode ser definida acima de p75 e abaixo de p90, ou seja, IPs que estejam entre os 25% e 10% piores. Em contrapartida, valores de IPs menores que percentil 5 (p5) são classificados como “excepcional/muito bom”, visto que representam as 5% melhores produtividades do universo amostral.

Para definir a faixa “regular”, adotou-se como referência um intervalo contendo 30% dos dados, dispostos ao redor do IP Moda da distribuição. Considerando a notação $\Delta = 15\%$, e pMo para o percentil equivalente do IP Moda, o intervalo da classificação regular é definido por $[pMo-\Delta; pMo+\Delta]$. A escolha ao redor do índice moda (IP Moda) deve-se à interpretação física desta métrica (valor mais provável) e pela consideração da assimetria do modelo lognormal, em que as medidas de tendência central (moda, média e mediana) são diferentes entre si.

Os demais intervalos de classificação “bom” e “aceitável” são construídos em consequências dos extremos e do regular. A classificação definida é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Faixa de classificação de performance dos serviços de concretagem em função dos intervalos de percentis

Percentil (p)	Classificação de performance
$p < p5$	Excepcional ou Muito Bom
$p5 < p < pMo - \Delta$	Bom
$pMo - \Delta < p < pMo + \Delta$	Mais Provável ou Regular
$pMo + \Delta < p < p75$	Aceitável
$p75 < p < p90$	Alerta ou Ruim
$p > p90$	Inaceitável ou Muito Ruim

3 Análise e discussão dos resultados

3.1 Estatísticas descritivas

Os resultados para os serviços de concretagem foram primeiramente avaliados por meio de estatísticas descritivas. A Tabela 3 apresenta o número de elementos apropriados (n), os quartis (Q), média e coeficiente de variação (C.V.) dos dados para cada serviço. A Figura 2 representa os resultados por meio de boxplots, ferramentas gráficas ideais para visualizar a distribuição dos dados e seus valores discrepantes (outliers). As medidas estatísticas descritas na Tabela 3 formam os gráficos boxplot.

Tabela 3 – Medidas de tendência central e dispersão dos indicadores de produtividade diários para os serviços de concretagem analisados (resultados em h/m^3)

Serviço de concretagem	n	Mínimo	1Q	Mediana	Média	3Q	Máximo	C.V. (%)	Horas apropriadas (recurso)
Concreto Bombeável	42	0,31	0,58	0,90	1,20	1,62	3,94	69,6	1541
Concreto Usinado	94	0,23	0,82	1,23	1,61	1,89	13,60	95,9	1958
Concreto Virado na Obra	64	2,89	7,82	12,44	14,88	18,91	54,90	63,4	792

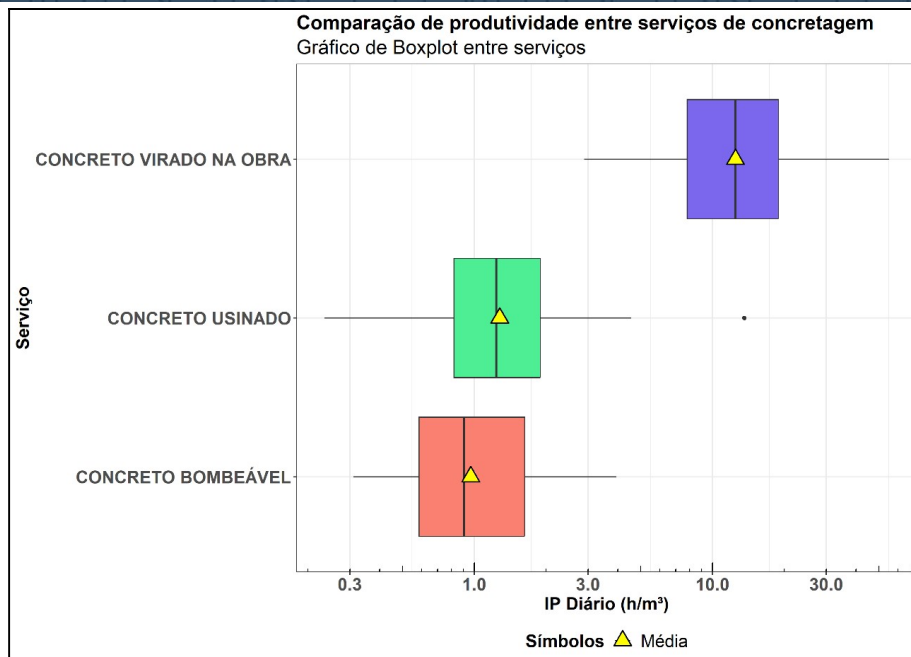


Figura 2 – Análise descritiva: indicador de produtividade diário por serviço de concretagem

Os resultados indicam similaridade entre os IPs diários para os serviços de concreto usinado e bombeável. Nota-se que a produtividade obtida para o concreto bombeável se apresentou maior que os demais, visto que o indicador possui valor inferior àqueles apresentados nos serviços de concreto usinado e concreto virado na obra. Além disso, os intervalos interquartis (diferença entre 3º e 1º quartil, representada pelo tamanho da caixa no gráfico de boxplot) para concreto usinado e bombeável se apresentaram próximos, enquanto para o concreto virado na obra observou-se uma menor dispersão dos IPs diários em torno da medida central (mediana). Ainda assim, para cada uma das classes, os valores de média obtidos são próximos dos valores de mediana, o que indica um conjunto mais homogêneo (medidas de tendências centrais próximas). O coeficiente de variação obtido para o concreto usinado foi superior em relação aos demais, evidenciando possível influência de outlier no cálculo desta métrica, como é o caso do valor máximo de 13,6 h/m² encontrado no conjunto de dados deste serviço.

A proximidade entre os IPs diários do concreto usinado e do concreto bombeável pode estar relacionada com o controle do processo na produção de ambos. Tanto o concreto bombeável quanto o concreto usinado são produzidos em centrais dosadoras, onde é possível ter um controle mais preciso da proporção dos materiais e das características da mistura. Isso resulta em uma maior uniformidade e consistência do concreto, o que facilita a aplicação e agiliza o processo de trabalho (MORTENSEN; DURAND, 2011).

Além disso, com o uso de bombas de concreto para o transporte e a aplicação, tanto o concreto bombeável quanto o concreto usinado permitem uma distribuição mais precisa do material, reduzindo o desperdício durante o processo (WONG; FUNG, 2003). Isso contribui para uma maior eficiência e produtividade da mão de obra, uma vez que menos tempo é gasto na remoção de excessos ou no retrabalho. Por fim, esses dois tipos de concreto podem alcançar locais de difícil acesso ou alturas elevadas com maior facilidade. Isso elimina a necessidade de métodos manuais ou equipamentos de

transporte pesados, economizando tempo na execução do trabalho e, conseqüentemente, tornando-o mais produtivo (BILODEAU; SALMON, 2002).

Em contrapartida, no concreto virado na obra, a mistura dos materiais é feita manualmente no local da construção, o que requer tempo e esforço significativos da equipe de trabalho. Além disso, a qualidade e a consistência da mistura podem variar mais no concreto virado na obra, o que pode resultar em retrabalho e atrasos adicionais.

3.2 Modelagem probabilística dos indicadores de produtividade

Como indicado em MARUM et. al. (2021) e MARUM et. al. (2022), o indicador de produtividade aferido da forma conduzida no presente estudo apresenta características convenientes à modelagem estatística, por meio de distribuições de probabilidade. A partir dessa modelagem é possível tomar decisões sobre a produtividade baseado em uma abordagem probabilística, que reflete a realidade das apropriações de obra, fornecendo métricas de interesse como percentis, dispersões e uma ferramenta prática para gerenciamento tecnológico de obras.

Assim, além das análises descritivas para cada um dos serviços, uma modelagem estatística dos IPs é sugerida considerando o agrupamento de todo o conjunto de dados coletado em cada um dos três serviços. A Figura 3 apresenta a modelagem de cada serviço com distribuição lognormal por meio de gráficos de histograma de densidade de frequência e QQ-plots (papeis de probabilidade) normais. Nesta é possível verificar a boa aderência dos resultados ao ajuste de modelo proposto para os indicadores de produtividade bem como os parâmetros do modelo, escritos na forma $Y \sim \text{LN}(\mu; \sigma)$, onde μ é a média/valor esperado da distribuição e σ o desvio padrão da distribuição.

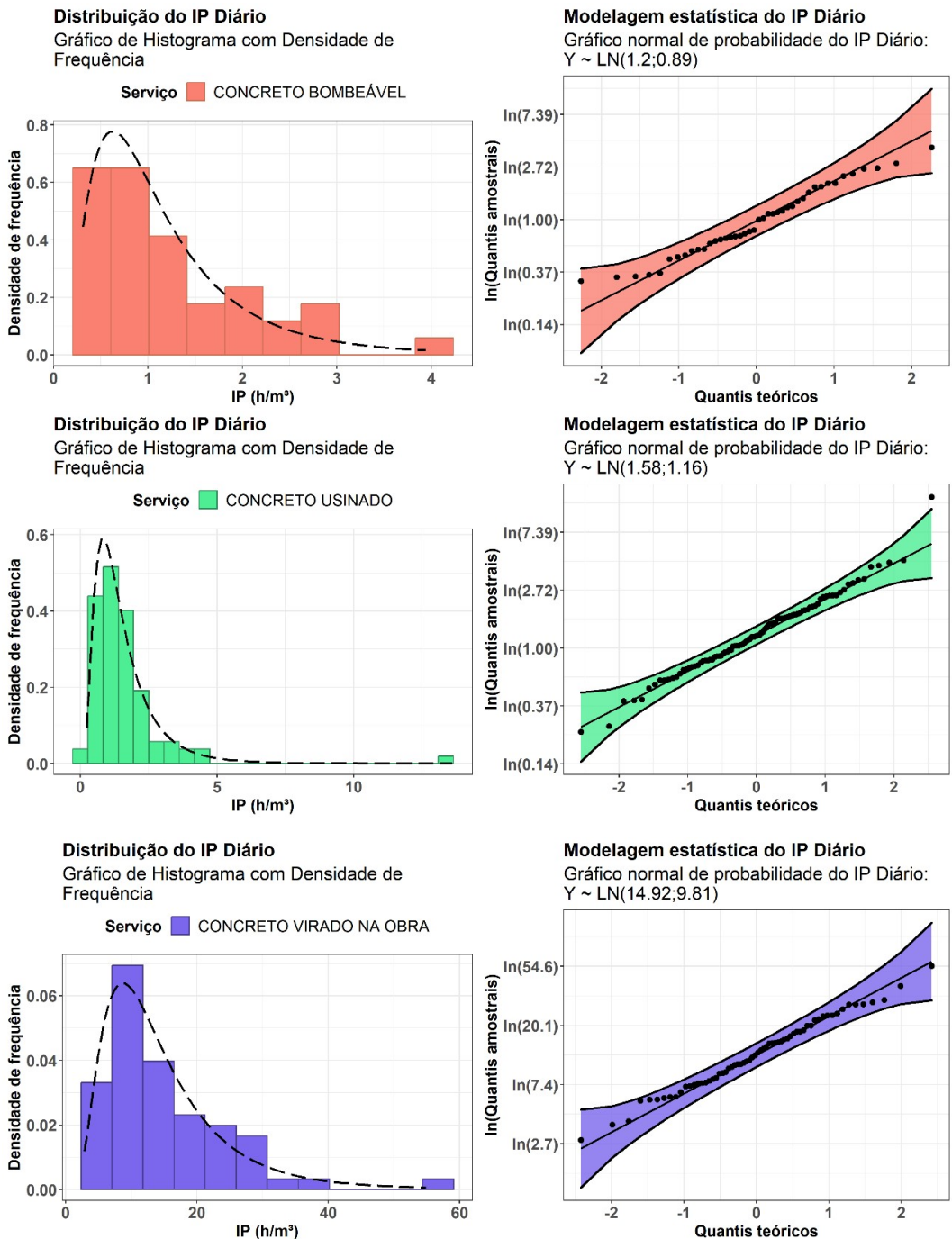


Figura 3 – Modelos estatísticos: Distribuição dos IPs diários por serviço de concretagem

O gestor de obra pode adotar o modelo proposto para representar a produtividade diária para o serviço de concretagem escolhido, podendo avaliar percentis e quais indicadores decorrem destes, bem como adotar valores pré-fixados e obter o percentil equivalente.

A Tabela 4 indica o resultado do teste de Shapiro-Wilk, utilizado para testar inferencialmente a modelagem proposta, bem como o indicador de produtividade Moda (IP Moda) e o percentil equivalente ao IP Moda. Os resultados do teste confirmam a boa aderência verificada por inspeção visual nas representações gráficas da Figura 3, com p-valor maior que 0,05 em todos os casos. Com relação aos indicadores moda, a Tabela

4 mostrou que os percentis equivalentes dos serviços estão entre p25 e p27, comportamento compatível com distribuições assimétricas positivas, onde moda \leq mediana (p50) \leq média.

Tabela 4 – Resultados do teste de Shapiro-Wilk e indicador de produtividade Moda e percentil equivalente da moda para cada serviço

Serviço de concretagem	IP Moda (h/m ³)	Percentil Equivalente do IP Moda (pMo)	Estatística W	p-valor
Concreto Bombeável	0,62	p25	0,972	0,3714
Concreto Usinado	0,83	p26	0,985	0,3760
Concreto Virado na Obra	8,69	p27	0,992	0,9576

3.3 Faixas de Classificação de Performance e discussões

Uma vez validadas as distribuições de cada serviço, é possível construir a tabela com faixas de classificação de performance, conforme indicado na Tabela 2. A Tabela 5 apresenta essas faixas de maneira analítica/teórica (apresentando intervalos de percentis), enquanto a Tabela 6 indica os resultados das faixas de maneira numérica (com intervalos de IP).

Tabela 5 – Classificação analítica de faixas de performance para os serviços de concretagem

Informações			Classificação analítica de faixas de performance (intervalos de percentil)					
Serviços de concretagem	pMo	Δ	Excepcional	Bom	Mais Provável	Aceitável	Alerta	Inaceitável
Bombeável	p25	15	< p5	p5 < p < p10	p10 < p < p40	p40 < p < p75	p75 < p < p90	> p90
Usinado	p26			p5 < p < p11	p11 < p < p41	p41 < p < p75		
Virado na Obra	p27			p5 < p < p12	p12 < p < p42	p42 < p < p75		

Tabela 6 – Classificação numérica de faixas de performance para os serviços de concretagem (em h/m³)

Informações		Classificação numérica de faixas de performance (intervalos de IP)					
Serviços de concretagem	IP Moda	Excepcional	Bom	Mais Provável	Aceitável	Alerta	Inaceitável
Bombeável	0,62	IP \leq 0,25	0,25 < IP \leq 0,42	0,42 < IP \leq 0,82	0,82 < IP \leq 1,51	1,51 < IP \leq 2,25	IP > 2,25
Usinado	0,83	IP \leq 0,43	0,43 < IP \leq 0,56	0,56 < IP \leq 1,09	1,09 < IP \leq 1,98	1,98 < IP \leq 2,95	IP > 2,95
Virado na Obra	8,69	IP \leq 0,27	0,27 < IP \leq 6,24	6,24 < IP \leq 11,11	11,11 < IP \leq 18,67	11,11 < IP \leq 26,87	IP > 26,87

Da Tabela 6 observa-se que os serviços de concretagem apresentam classificações com intervalos de IP distintos, por exemplo: enquanto uma nova medição com IP = 3 h/m³ em concretos usinados e bombeáveis representa condições de produtividade diária inaceitáveis, este mesmo valor é encarado como uma classificação de performance boa em concretos virados em obra. Além disso, por conta de as distribuições serem diferentes e assimétricas, os intervalos gerados a partir dos percentis de interesse (Tabela 5) apresentam faixas desiguais quando observadas na escala dos IPs (Tabela 6).

Dessa forma, a partir dos resultados encontrados em cada faixa de performance, o gestor de obra pode quantificar e acompanhar o desempenho de uma equipe em novas apropriações e utilizar essas informações para tomadas de decisão estratégicas e em planejamentos e orçamentos. Pode-se utilizar tal ferramenta para a compreensão de novos valores diários apropriados em obra, tendo como expectativa o intervalo de IPs presente na faixa “mais provável”, admitindo uma flexibilidade até a faixa “aceitável”.

Como os limites foram determinados a partir de dados de obra e refletem a produtividade de cada serviço, uma sequência de novas medições em classificações extremas (positivas ou negativas), poderá indicar de se tratar de uma população distinta de dados. Ao coletar novos dados, caso ocorra um aumento expressivo de resultados enquadrados nas faixas vermelhas (“alerta” ou “inaceitável”), o gestor pode intervir e implementar melhorias para sua equipe, a qual está performando abaixo do esperado considerando a população de dados pré-existente (utilizada na modelagem). Essas intervenções podem ser direcionadas para corrigir problemas identificados, otimizar os processos de trabalho ou fornecer treinamento adicional aos membros da equipe. Por outro lado, se houver aumento significativo de resultados enquadrados nas faixas verdes (“bom” ou “excepcional”), isso pode ser considerado como um reflexo positivo dos esforços e medidas implementadas, bem como ser um indicativo de que há uma melhoria da produtividade em relação ao esperado conforme modelagem. Portanto, a utilização da ferramenta de gestão baseada em faixas de performance permite ao gestor monitorar e avaliar o desempenho da equipe de forma contínua, identificar desvios significativos e acompanhar os resultados de medidas corretivas, conforme necessário.

Por último, pode-se utilizar a Equação 1 para transformar IPs tanto em quantidade de recursos, quanto quantidade de serviços, a depender do dimensionamento necessário. Por exemplo, em se tendo uma equipe de 2 funcionários trabalhando 8 horas por dia dedicada aos serviços de concretagem por 20 dias (1 mês útil), é possível traduzir as faixas de IP em faixas de quantidade de serviço (Qs) esperadas, isto é, volume de concreto produzido (m³) neste intervalo de tempo. Para este exemplo, os indicadores de produtividade da Tabela 6 são adaptados fornecendo expectativas de produção, que podem ser utilizadas para definição de metas, premiações e penalizações. A Tabela 7 apresentada as expectativas de produção para o exemplo dado.

É possível também utilizar uma quantidade de serviço especificada e, a partir das faixas de IP, obter a quantidade de recursos necessária em horas. Diante desta quantidade, é possível dimensionar a equipe e/ou utilizar essa quantidade de recurso esperada no planejamento físico-financeira da obra (definição e ajustes de cronograma, entre outros).

Tabela 7 – Classificação de produção dada uma quantidade de recurso

Informações		Classificação de produção dada uma quantidade de Recurso (em intervalos de quantidade de serviço - Qs)					
Serviços de concretagem	Qs Moda	Excepcional	Bom	Mais Provável	Aceitável	Alerta	Inaceitável
Bombeável	Qs=516m ³	Qs≥1280m ³	762m ³ ≤Qs<1280m ³	390m ³ ≤Qs<762m ³	212m ³ ≤Qs<390m ³	142m ³ ≤Qs<212m ³	Qs≤142m ³
Usinado	Qs=386m ³	Qs≥744m ³	571m ³ ≤Qs<744m ³	294m ³ ≤Qs<571m ³	162m ³ ≤Qs<294m ³	108m ³ ≤Qs<162m ³	Qs≤108m ³
Virado na Obra	Qs=37m ³	Qs≥1185m ³	51m ³ ≤Qs<1185m ³	29m ³ ≤Qs<51m ³	17m ³ ≤Qs<29m ³	12m ³ ≤Qs<17m ³	Qs≤12m ³



4 Conclusão

O presente estudo teve como objetivo demonstrar como o tratamento estatístico dos indicadores de produtividade pode auxiliar na definição de limites de performance e, com isso, no acompanhamento e gerenciamento de diferentes serviços de concretagem. Os modelos probabilísticos desenvolvidos se apresentaram essenciais para proporcionar aos gestores uma alternativa matemática e tecnológica eficiente de acompanhamento, que pode ser aplicada mesmo com recursos limitados. Além disso, por meio do tratamento estatístico dos Indicadores de Produtividade (IPs), foi possível definir faixas de performance (classificações) para avaliação e gerenciamento para diferentes serviços de concretagem. O estudo foi conduzido para obras públicas na cidade de SP, mas a metodologia descrita pode ser aplicada para diversos cenários em outros municípios. Entre as principais conclusões, destacam-se:

- Estatísticas descritivas podem ser aplicadas aos indicadores diários (IPs) para melhorar caracterização e compreensão dos dados coletados para diferentes serviços de concretagem. Por meio destas estatísticas, observou-se similaridade entre os IPs diários para os serviços de concreto usinado e bombeável, com uma discreta vantagem em termos de produtividade para este último. Por meio das tabelas-sumário e das representações gráficas, o gestor de obra é auxiliado nesta análise, que possui caráter descritivo e exploratório.
- Os IPs obtidos neste estudo foram adequados para a modelagem estatística utilizando distribuições de probabilidade. Essa abordagem se mostrou uma ferramenta útil para caracterização dos diferentes serviços e apresentou boa aderência à distribuição proposta. Além disso, ao fornecer informações sobre a natureza probabilística dos dados de produtividade, o modelo oferece métricas como percentis e dispersões para o gerenciamento eficaz por parte do engenheiro da obra.
- A abordagem fruto de modelagem probabilística, como a apresentada neste estudo, baseada em dados reais coletados em diferentes obras, oferece uma visão realista e precisa do desempenho da equipe em campo. Isto porque a modelagem probabilística permite considerar a variabilidade envolvida no fenômeno e, assim, o gestor de obra pode tomar decisões mais informadas e fundamentadas, considerando a incerteza e os riscos envolvidos. Logo, difere daquela abordagem tradicional, convencional e determinística, onde o gestor se baseia apenas em estimativas teóricas e premissas estáticas para o controle dos serviços.
- Os resultados da modelagem foram apresentados na forma de faixas de classificação de desempenho (faixas de performance), o que permite ao gestor avaliar e acompanhar o desempenho da equipe, tomar decisões estratégicas, planejar e orçar adequadamente. As faixas de performance indicaram que os diferentes serviços de concretagem apresentam intervalos de IPs distintos.
- Diante das faixas de performance propostas neste estudo, o gestor conta com uma ferramenta tecnológica capaz de monitorar e avaliar o desempenho da

equipe de forma contínua, identificar desvios significativos e acompanhar os resultados de medidas corretivas, conforme necessário. Os resultados da ferramenta podem ser atualizados em função da aquisição de novos dados, conferindo maior representatividade conforme aumento da coleta.

- Por fim, o gestor de obra pode quantificar e acompanhar o desempenho da equipe em novas apropriações e utilizar essas informações para tomadas de decisão estratégicas, planejamentos e orçamentos. Um aumento significativo de desempenho pode ser visto como um reflexo positivo dos esforços e medidas implementadas, indicando uma produtividade melhorada em comparação com os valores esperados a partir da modelagem estatística. Por outro lado, uma redução no desempenho da equipe exigiria intervenção e medidas de melhoria para lidar com equipes com baixo desempenho.

Assim, a abordagem de modelagem estatística, combinada com a determinação de faixas de performance, fornece um quadro prático para tomada de decisões, planejamento de recursos e gerenciamento em serviços de concretagem.



5 Referências

BILODEAU, A.; SALMON, R. **Benefits and Limitations of Concrete Pumping in Difficult Conditions**. Cement, Concrete and Aggregates, 24(1), 49-54. (2002).

BUSSAB, W.O; MORETTIN, P.A. **Estatística Básica (9ª Edição)**. São Paulo: Editora Saraiva, (2017).

DEVORE, J. L. **Probabilidade e Estatística para Engenharia e Ciências**. Ed. Thomson, (2006).

MARUM, T. H.; ANDRADE, R. P.; PAIXÃO, M. J. S.; ZAPPILE, J. C.; RODRIGUES, B. F.; MARANHÃO, F. L. **Estudo Da Obtenção De Índices De Produtividade Para Tabelas De Composições Unitárias: Uma Abordagem Probabilística**. 3º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos. TECSIC. (2021).

MARUM, T. H.; AGRA, R. R.; SILVA, R. N.; ANDRADE, R. P.; PAIXÃO, M. J. S.; MARANHÃO, F. L. **Tratamento estatístico de indicadores de produtividade como ferramenta de gerenciamento em obras**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19, 2022, Canela. Anais... Porto Alegre: ANTAC. (2022).

MORTENSEN, C.; DURAND, J. B. **Pumping and Quality Control Aspects of Self-Consolidating Concrete**. Concrete International, 33(10), 45-50. (2011)

OLIVEIRA, D. V.; ALENCAR, R. P. **Construction Productivity: Issues and Challenges**. In Construction Industry: New Research Perspectives (pp. 77-96). Springer. (2018).

PINTO, A. V.; NUNES, L. M. **Construction Process Performance Measurement: A Systematic Literature Review**. Journal of Civil Engineering and Architecture, 8(6), 709-719. (2014).

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. (2020).

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. **An analysis of variance test for normality (complete samples)**. Biometrika, 52(3/4), 591-611. (1965).

SOUZA, U. E. L. **Método para a previsão da produtividade da mão de obra e do consumo unitário de materiais para os serviços de fôrmas, armação, concretagem, alvenaria, revestimentos com argamassa, contrapiso, revestimentos com gesso e revestimentos cerâmicos**. Universidade de São Paulo. São Paulo. (2021).

SOUZA, U.E.L. **Como aumentar a eficiência da mão de obra: manual de gestão da produtividade na construção civil**. 1ª ed. São Paulo: Pini, (2006).



SOUZA, U. E. L.; MORASCO, F. G.; RIBEIRO, G. N. B. **Manual básico de indicadores de produtividade na construção civil.** v.1. Brasília, DF: CBIC, (2017).

WONG, A.; FUNG, T. **Waste Management in Ready Mixed Concrete Production and Delivery.** Journal of Cleaner Production, 11(6), 667-674. (2003).



DIGITALIZAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM: IMPACTO NO PRAZO E NO CUSTO POR MEIO DO ESTUDO ESTATÍSTICO DE INDICADORES DE PRODUTIVIDADE

DIGITALIZATION OF CONCRETE WORKS MANAGEMENT: IMPACT ON SCHEDULE AND COST THROUGH STATISTICAL STUDY OF PRODUCTIVITY INDICATORS

Bruno Marques de Souza (1); Marcio José Serra Paixão (1); Beatriz Faria Rodrigues (1); Thomás Migliorini Covello (1); Ricardo Nunhez da Silva (1); Flávio Leal Maranhão (1)

(1) Pesquisador, Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (Fipe)

Av. Corifeu de Azevedo Marques, 5677 - Cidade São Francisco. São Paulo/SP
bruno.marques@geovista.com.br

Resumo

A digitalização tem desempenhado um papel crucial no desenvolvimento da engenharia, ao combinar o ambiente da construção civil com a engenharia de dados. Um dos desafios enfrentados pelos gestores nesse contexto é a adoção de novas ferramentas e tecnologias digitais para a gestão, reconhecendo que não se pode aprimorar aquilo que não se mede. Portanto, é essencial desenvolver meios para gerar, processar e operar dados nas áreas de produção. O estudo dos indicadores de produtividade ao longo do período de execução de uma obra é um fator primordial para impactar positivamente os custos e prazos. Uma abordagem interessante, pouco explorada na literatura e pouco difundida nos canteiros de obra, devido às barreiras tecnológicas que estão sendo superadas com a crescente dominação e popularização da tecnologia, é o tratamento estatístico dos dados de campo. Acompanhar em tempo real as tendências e os problemas por meio de uma ferramenta online permite promover ações de melhoria, reestabelecer metas de produção e tomar outras intervenções pertinentes que influenciam diretamente nos cronogramas e custos associados. Nesse contexto, o objetivo deste estudo é demonstrar o impacto nos prazos e custos do gerenciamento alinhado ao estudo estatístico de produtividade, com foco nos serviços de concretagem. No presente estudo, o tipo de recurso avaliado foi a mão de obra.

Palavra-Chave: Gerenciamento de obras; Tecnologias digitais; Produtividade; Tratamento Estatístico; Concretagem.

Abstract

Digitalization has emerged as a key driver for advancing engineering practices, particularly in the field of concrete works management. Embracing the intersection of construction and data engineering, managers face the challenge of incorporating new digital tools and technologies to enhance their management processes. Recognizing that improvement requires measurement, it becomes imperative to develop effective means for generating, processing, and utilizing data from production areas. The study of productivity indicators throughout the project execution period holds significant importance in positively impacting cost and schedule outcomes. However, an interesting and less explored avenue, partly due to technological barriers now being overcome with increasing technological proficiency and popularity, lies in the statistical treatment of field data. Real-time monitoring of trends and issues enables proactive improvement measures, empowering stakeholders to adjust production targets and make interventions that directly influence project timelines and associated costs. In this study, we aim to demonstrate the impact of aligning management practices with statistical analysis of productivity indicators specifically within the domain of concrete works. The type of resource evaluated was labor.

Keywords: Construction management; Digital tools and technologies; Productivity; Statistical treatment; Concrete.



1 Introdução

A indústria da construção civil tem sido objeto de constantes transformações e avanços tecnológicos nas últimas décadas. Nesse contexto, a digitalização e a aplicação de ferramentas tecnológicas têm desempenhado um papel fundamental na otimização dos processos e na gestão eficiente de projetos e obras. Entre as diversas áreas de atuação dentro da construção civil, a gestão de serviços de concretagem é de extrema importância, visto que envolve um conjunto complexo de atividades que impactam diretamente na qualidade, no prazo e nos custos das obras. Dentre as tendências tecnológicas, a digitalização tem se destacado ao conciliar a construção civil com a engenharia de dados, trazendo benefícios significativos para os serviços de concretagem, como aumento da produtividade, padronização das atividades e melhor controle de custos e prazos.

Embora a tecnologia esteja presente nos canteiros de obra, é crucial identificar quais ferramentas são particularmente úteis no cotidiano das construções e serviços de concretagem, além de como elas podem beneficiar de forma específica a qualidade e a eficiência desses serviços. Nesse sentido, o estudo dos indicadores de produtividade ao longo do período de execução da obra se mostra de grande relevância para avaliar a eficiência da transformação de esforço em recursos, auxiliando no planejamento e orçamentação da obra (MATTOS, 2014). Um método que tem se mostrado eficaz, mas ainda pouco utilizado, é o tratamento estatístico dos dados de produtividade de campo (MARUM et al., 2021; MARUM et al., 2022).

Considerando que a construção civil é um dos setores mais importantes para a economia brasileira, contribuindo significativamente para o desenvolvimento do país, torna-se essencial o desenvolvimento de métodos de gerenciamento nas empresas do setor (CARVALHO E AZEVEDO, 2013). Dessa forma, a implementação de práticas de gestão capazes de impulsionar a inovação e o avanço dos projetos torna-se cada vez mais necessária (SILVA, CÔRREA E RUAS, 2018).

Neste contexto, este artigo tem como objetivo apresentar um estudo de caso sobre a digitalização do gerenciamento de serviços de concretagem, com foco na coleta e análise estatísticas de indicadores de produtividade de mão de obra. O estudo foi realizado em uma obra de infraestrutura de drenagem localizada na cidade de São Paulo, uma escolha estratégica que permitiu a obtenção de dados específicos e detalhados necessários para uma análise aprofundada.

Para realizar essa análise, a equipe responsável pelo projeto acompanhou de perto as atividades da obra, registrando diariamente os insumos, o tempo de permanência de cada um deles e a quantidade produzida. Essas informações foram inseridas em uma ferramenta online, que permitiu o cálculo de índices de produtividade da equipe em tempo real. A análise estatística desses indicadores permite a identificação de áreas de melhoria e direcionamento de esforços para aumentar a eficiência, resultando em uma otimização dos recursos empregados nessa atividade.



Ao apresentar os resultados desse estudo de caso, este artigo busca contribuir para a compreensão dos benefícios da digitalização do gerenciamento de serviços de concretagem e demonstrar como a análise de indicadores de produtividade pode impactar positivamente no prazo e no custo das obras, fornecendo subsídios para uma tomada de decisão embasada. Além disso, é discutida a importância da comparação desses indicadores com referências do setor, como tabelas públicas de composições de custo, para uma gestão mais eficiente e alinhada com as melhores práticas.

Assim, o presente estudo pode contribuir para o avanço da indústria da construção civil, fornecendo subsídios e insights para profissionais e gestores que buscam aprimorar a gestão dos serviços de concretagem em seus projetos e obras.

2 Metodologia

2.1 Coleta de dados

Para este estudo foi realizado o acompanhamento da produtividade no serviço de concreto usinado de $f_{ck} = 30$ MPa, especificamente em uma obra horizontal de controle de inundações, localizada no município de São Paulo. A quantidade total de recurso medido em campo foi de, aproximadamente, 438 horas, empregadas na execução de 533 m^3 de concreto usinado. As medições foram realizadas por equipes compostas por pesquisadores, engenheiros civis e estagiários de engenharia civil. A primeira abordagem realizada consistiu na compilação das informações mais importantes sobre a obra, que foram utilizadas para avaliação dos dados coletados.

Para o detalhamento da apropriação, foram identificadas as características relevantes ao serviço especificado e do contexto no qual ele está inserido, como a sua localização, fase de execução, curva de aprendizado da equipe e demais características da obra a que eles pertencem.

A metodologia para a coleta dos dados parte do princípio do acompanhamento da produtividade em campo através de sistema informatizado, sendo dividida em 6 etapas, a seguir:

2.1.1 Identificação do serviço

Para auxílio na identificação do serviço que está sendo realizado em campo, cada obra é acompanhada de sua planilha de contrato, constando nesta os serviços a serem executados com as suas respectivas quantidades e referências de valores unitários.

2.1.2 Abertura de ficha no sistema

Após a identificação do serviço, foi aberta a ficha de acompanhamento no sistema de apropriação. Para o caso de composições novas, estas são criadas no sistema.



2.1.3 Levantamento de insumos em campo e cadastro de insumos faltantes

Como medida de validação dos insumos do serviço executado, efetuou-se levantamento dos insumos em campo, a fim de comparar com os insumos presentes na composição unitária. Para os insumos divergentes foi necessário realizar o cadastro e inclusão na ficha de acompanhamento.

2.1.4 Horário de início e fim

O serviço é contabilizado a partir do momento que se inicia o processo de execução e o horário de finalização do serviço foi inserido quando o ciclo de atividade foi encerrado, sendo normalmente apropriação diária.

2.1.5 Registro de ocorrências durante a execução do serviço

Devido as ocorrências influenciarem diretamente na produtividade do serviço, fez-se necessário realizar o registro (caso houver) na ficha de apropriação, a fim de facilitar a análise de desempenho do respectivo serviço. As principais ocorrências durante a execução de um serviço foram:

- Condição climática;
- Falta de insumo;
- Manutenção corretiva;
- Manutenção preventiva;
- Deslocamento de equipamento;
- Acidente;
- Logística de canteiro.

2.1.6 Medição de serviços em campo

Após a finalização do serviço, realizou-se a medição. Caso o serviço dependesse de materiais para execução, fez-se necessário quantificar o quanto foi utilizado (real) e o quanto deveria ser utilizado (teórico), o que gerou dados para análise de perda de materiais.

As informações imputadas no sistema durante o período de apropriação, ficaram armazenadas no banco de dados, inclusive as fotos de todo processo do serviço, facilitando, assim, o tratamento dos dados e análise.

2.2 Tratamento estatístico dos dados e visualização

A partir dos dados coletados, foram calculados indicadores de produtividade para o serviço. Esses indicadores seguem a relação exposta na equação 1, conforme apresentado no “Manual básico de indicadores de produtividade na construção civil” (Souza et al, 2017). Ressalta-se que índices menores indicam maiores produtividades.



$$IP = \frac{\text{Recurso}}{\text{Produto}} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

IP = indicador de produtividade;

Recurso = recurso ou esforço;

Produto = produto ou resultado.

Os indicadores utilizados consideraram dois níveis abrangência: indicadores diários e acumulados de produtividade. No primeiro caso, o IP é calculado para cada dia de apropriação, enquanto o segundo corresponde a uma produtividade acumulada ao longo de um intervalo de tempo. Para este, pode-se considerar o período de apropriação total (indicador de produtividade acumulado ou cumulativo) como, também, janelas móveis de apropriação (indicador de produtividade acumulado ou cumulativo móvel).

De posse dos indicadores calculados a partir dos dados, foi possível realizar um acompanhamento da produtividade em obra e obter métricas de controle para tomadas de decisão baseado no gráfico de evolução das apropriações e no comportamento do IP Acumulado (MARUM et al. 2022). Também foi possível conduzir uma modelagem estatística dos indicadores diários (MARUM et al. 2021). Esta modelagem pode fornecer estimativas representativas da realidade observada em obra, considerando a dispersão intrínseca das medições diárias. Algumas métricas decorrentes da modelagem são o indicador de produtividade moda (mais provável), indicadores de dispersão (variância do modelo), bem como percentis associados à distribuição probabilística.

3 Desenvolvimento e análise dos resultados

A equipe responsável pelo projeto acompanhou diversas obras no estado de São Paulo para aferir coeficientes das composições de custos unitários para uma tabela de custos com larga utilização. Neste artigo, apresenta-se um estudo de caso realizado em uma obra de infraestrutura de drenagem localizada na cidade de São Paulo, escolhida estrategicamente para coleta de dados específicos da atividade de fornecimento e aplicação de concreto usinado de 30 MPa. Foram criadas fichas de apontamento diária em que constavam os insumos diretamente associados a atividade, o tempo de permanência de cada insumo e a quantidade produzida. Assim, para cada dia na obra em questão foi possível determinar índices de produtividade da equipe. Estes índices já incorporaram as perdas por ineficiência ao longo do processo, retratando, deste modo, a realidade de campo.

A escolha da obra de infraestrutura de drenagem como objeto de estudo deve-se à sua representatividade na indústria da construção civil, bem como à relevância dos serviços de fornecimento e aplicação de concreto usinado nesse contexto. Além disso, essa escolha permitiu a obtenção de dados específicos e detalhados, necessários para uma análise aprofundada do desempenho da equipe e dos fatores que impactam a produtividade nesse tipo de atividade.



Os dados das obras foram alimentados em ferramenta online ao término de cada dia ou período de trabalho, possibilitando que a equipe do estudo fosse capaz de analisar os dados de forma instantânea. A fim de não prejudicar a qualidade dos apontamentos de campo, os dados não foram disponibilizados aos responsáveis pela execução da obra, uma vez que a visualização destes poderia induzir os gestores a tomar ações que influenciariam nos resultados de produtividade de suas equipes.

Os dados objetos deste artigo foram calculados a partir de 438 horas de levantamento de campo, ao longo de 20 dias apropriação. Foram executados, neste período, 533 m³ de concreto.

Os índices de produtividade obtidos desempenham um papel fundamental na avaliação do desempenho dos processos de concretagem, oferecendo insights valiosos para o gerenciamento de custos e prazos. Ao considerar as perdas por ineficiência, os índices refletem de forma precisa os desafios e as oportunidades encontrados no ambiente de trabalho. Com base nesses índices, é possível identificar áreas de melhoria, direcionar esforços para aumentar a eficiência e, conseqüentemente, otimizar os recursos empregados na atividade de concretagem.

Os índices calculados diariamente são acompanhados do IP acumulado. Na Tabela 1 é apresentado como são apresentados no sistema os dados para um insumo na obra durante 10 dias, apresenta um resumo dos dados coletados diariamente, enquanto a Tabela 2 aponta os índices de produtividade pontuais e acumulados, obtidos a partir da divisão entre a quantidade total de insumo disponibilizado pela quantidade total de serviço realizada, obtidos a partir da disposição destes dados, coletados em tempo real.

Tabela 1 – Dados coletados em campo

Obra	Ficha	Data	Descrição	Tipo de Insumo	Insumo	Quantidade	Un.	Quantidade de Serviço	Un. de Serviço
1	1	2020-12-22 T16:40:00Z	Fornecimento e aplicação de concreto usinado fck = 30,0 MPa	Mão de obra	Mão de obra agrupada	37,3	H	15,0	m ³
1	2	2021-01-07 T17:04:00Z	Fornecimento e aplicação de concreto usinado fck = 30,0 MPa	Mão de obra	Mão de obra agrupada	22,4	H	38,4	m ³
1	3	2021-01-13 T13:12:30Z	Fornecimento e aplicação de concreto usinado fck = 30,0 MPa	Mão de obra	Mão de obra agrupada	29,5	H	28,0	m ³
1	4	2021-01-16 T18:05:00Z	Fornecimento e aplicação de concreto usinado fck = 30,0 MPa	Mão de obra	Mão de obra agrupada	31,0	H	38,4	m ³
1	5	2021-01-20 T16:38:00Z	Fornecimento e aplicação de concreto usinado fck = 30,0 MPa	Mão de obra	Mão de obra agrupada	17,0	H	28,0	m ³
1	6	2021-01-21 T14:26:00Z	Fornecimento e aplicação de concreto usinado fck = 30,0 MPa	Mão de obra	Mão de obra agrupada	11,0	H	15,0	m ³



1	7	2021-01-27 T15:45:00Z	Fornecimento e aplicação de concreto usinado fck = 30,0 MPa	Mão de obra	Mão de obra agrupada	31,5	H	38,4	m ³
1	8	2021-01-29 T14:40:00Z	Fornecimento e aplicação de concreto usinado fck = 30,0 MPa	Mão de obra	Mão de obra agrupada	7,0	H	15,0	m ³
1	9	2021-01-30 T11:15:00Z	Fornecimento e aplicação de concreto usinado fck = 30,0 MPa	Mão de obra	Mão de obra agrupada	22,5	H	28,0	m ³
1	10	2021-02-06 T13:45:00Z	Fornecimento e aplicação de concreto usinado fck = 30,0 MPa	Mão de obra	Mão de obra agrupada	33,0	H	38,4	m ³

Tabela 2 – Cálculo de IP a partir da coleta em tempo real dos dados de campo

Obra	Ficha	Quantidade acumulada	Quantidade de serviço	Índice de Produtividade	Índice de Produtividade Acumulado
1	1	37,3	15,0	2,4893	2,4893
1	2	59,7	53,4	0,5833	1,1187
1	3	89,2	81,4	1,0536	1,0963
1	4	120,2	119,8	0,8073	1,0037
1	5	137,2	147,8	0,6071	0,9286
1	6	148,2	162,8	0,7333	0,9106
1	7	179,7	201,2	0,8203	0,8933
1	8	186,7	216,2	0,4667	0,8637
1	9	209,2	244,2	0,8036	0,8568
1	10	242,2	282,6	0,8594	0,8572

Para a definição de produtividades adotadas para as tabelas públicas utilizou-se a modelagem estatística que considerou a densidade de frequência dos índices de produtividade encontrados a partir dos levantamentos de campo. O conceito é utilizar os valores mais frequentes para estabelecer os coeficientes das composições de custos, de modo que o custo real de novas obras se aproxime o quanto possível do custo teórico descrito nas composições públicas. A Figura 1, abaixo, demonstra como ocorreu a distribuição de frequência obtida a partir dos dados apresentados anteriormente nas Tabelas 1 e 2.

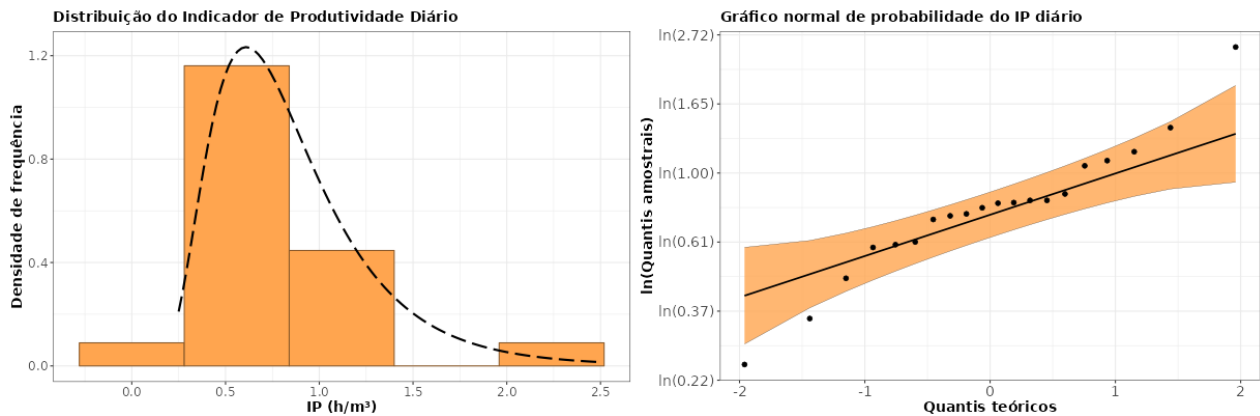


Figura 1 – Distribuição de IPs diários e gráfico normal de probabilidade associado.

Uma outra aplicação possível a partir da ferramenta foi a análise dos dados para gestão das obras, ainda que não tenha sido utilizada, no momento da coleta, para não influenciar os dados obtidos em campo. Observou-se que os dados obtidos em campo permitem uma visualização do andamento da produtividade da obra, sendo possível calcular índices diários de produtividade, índices acumulados que consideram os dados do todo período acompanhado e índices obtidos a partir de dados móveis, ou seja coeficientes calculados a partir do acúmulo de dados de quantidades variáveis de dias. A Figura 2, abaixo, apresenta um gráfico de acompanhamento diário de produtividade. Nesta é possível visualizar dados o comportamento do índice acumulado ao longo de todo o período (linha vermelha), que apresenta uma convergência e a linha de produtividade encontrada no período móvel (linha cinza,) que neste caso, foi definida como diário, e assim, demonstra a variação de campo dia a dia, permitindo a avaliação imediata se índice está sendo superior ou inferior ao esperado. Vale ressaltar que a Figura 2 é fruto de uma captura de imagem do sistema da empresa, facilitando o e acompanhamento e a gestão da obra de concretagem pelo gestor.

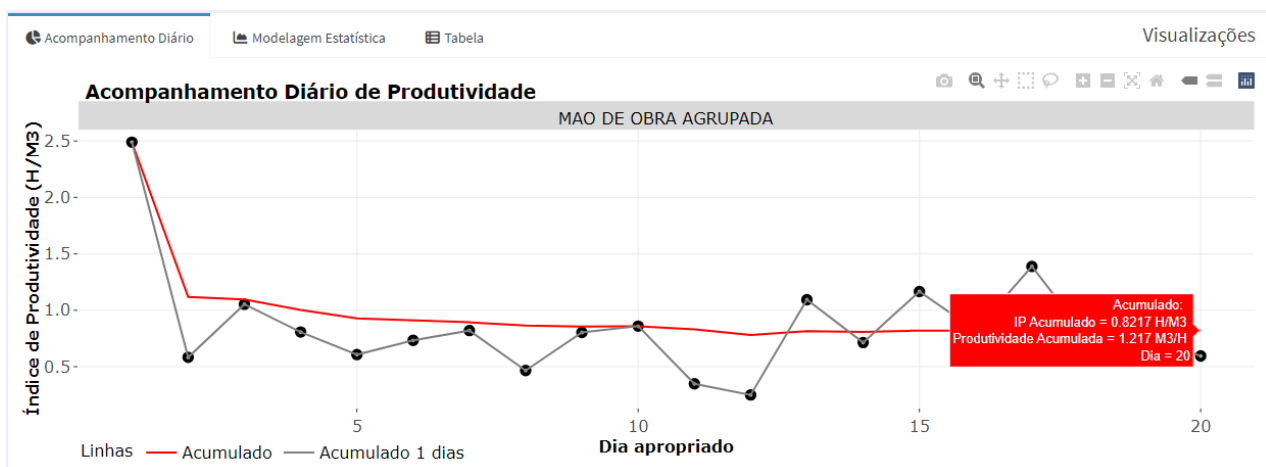


Figura 2 – Acompanhamento diário de produtividade.

Os gestores de obra pública podem, ainda, selecionar janelas móveis diferentes para avaliar outros períodos. No exemplo da Figura 3 foi selecionada janela móvel de 3 dias. Desta forma, calcula-se, na linha cinza, o IP acumulado considerando quantidade de insumos utilizada e quantidade de serviço executada nos últimos 3 dias. Isto proporciona

aos responsáveis pela execução uma ferramenta de análise de dados globais ou pontuais, facilitando a tomada de decisões que influenciam na produtividade das equipes de campo e observando o reflexo disto prontamente na ferramenta. Como exemplo de uso, tem-se uma equipe de gestão que faz reuniões semanais a respeito de melhores práticas com os encarregados de campo e define a janela móvel de 5 dias para observar os resultados que estão sendo obtidos após cada um destes encontros. Outras aplicações que exemplificam o potencial da modelagem criada para este projeto seriam para avaliar como a mão de obra está desempenhando imediatamente após um feriado prolongado ou se a adoção rotineira de horas-extra ao fim do período de trabalho está reduzindo a produtividade média dos funcionários ao longo de todo o dia.

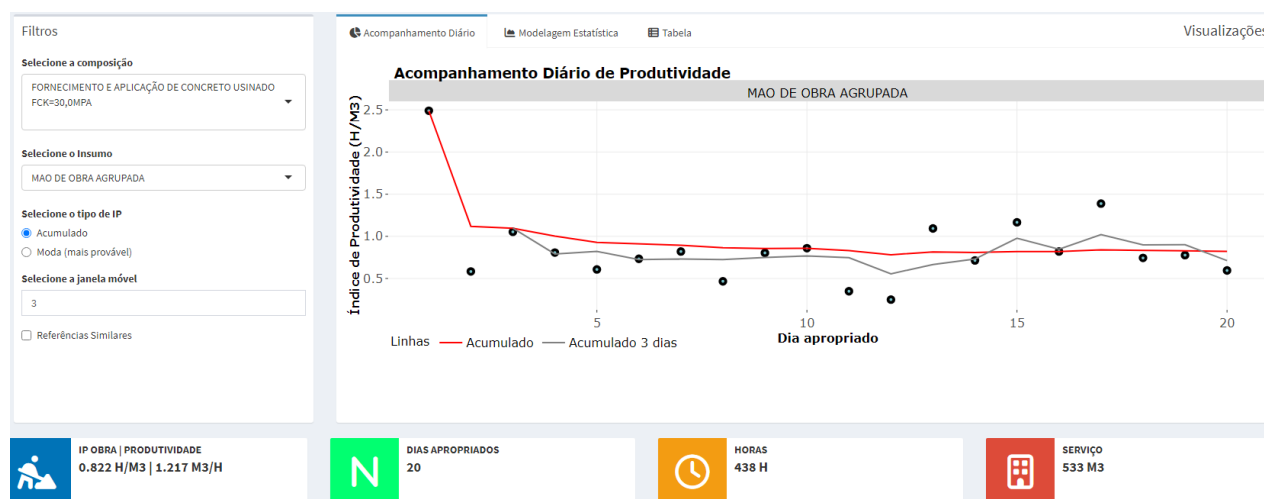


Figura 3 – Acompanhamento de produtividade com janela móvel de 3 dias.

Outra ferramenta utilizada ao longo do processo para atualização dos coeficientes foi a obtenção de dados de diversas tabelas públicas de composições de custo. O objetivo inicial ao incorporar estes dados era analisar se os dados obtidos com os levantamentos de campo estavam aderentes aos insumos e coeficientes existentes em outras fontes. Para o serviço de concreto 30 MPa em questão, observou-se que o índice de produtividade acumulado com os dados de campo foi de 0,82 Hh/m³. A tabela disponibilizada pela Secretaria de Infraestrutura Urbana e Obras da cidade de São Paulo (SIURB) apresentava 0,65 Hh/m³ e a tabela do Sistema de Orçamento da Obra de Sergipe (ORSE) indicava uma produtividade de 0,7 Hh/m³, indicando que a produtividade em campo foi inferior à das tabelas de referência. Com isso, os gestores de obra obtêm mais um dado para a análise de suas práticas, sendo possível comparar se os coeficientes de seus insumos e, portanto, seus custos diretos, estão adequados ao referencial. Para responsáveis por obras públicas, o uso tem potencial ainda mais relevante pois compara-se a estrutura de custos interna de seus projetos com os dados que refletirão de forma direta nas receitas a serem obtidas com a obra.

4 Conclusão

Os resultados obtidos partir desse estudo de caso fornecem um embasamento técnico-científico relevante para a compreensão do impacto do gerenciamento digitalizado de serviços de concretagem, com foco na análise estatística de indicadores de ANAIS DO 64º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2023 – 64CBC2023



produtividade. A coleta de dados detalhados e específicos em uma obra de infraestrutura de drenagem permitiu uma análise aprofundada do desempenho da equipe e dos fatores que afetam a produtividade na atividade de fornecimento e aplicação de concreto usinado. Entre as principais conclusões, destacam-se:

- A criação de fichas de apontamento diária, que incluíam insumos, tempo de permanência e quantidade produzida, possibilitou determinar índices de produtividade da equipe para cada dia de trabalho. Esses índices incorporaram perdas por ineficiência, refletindo de forma precisa a realidade de campo.
- Os índices de produtividade calculados desempenham um papel crucial na avaliação do desempenho dos processos de concretagem, fornecendo insights valiosos para o gerenciamento de custos e prazos. Identificar áreas de melhoria e direcionar esforços para aumentar a eficiência pode levar a uma otimização dos recursos empregados nessa atividade.
- A análise estatística dos índices de produtividade permitiu a definição de coeficientes das composições de custos, aproximando o custo real das obras do custo teórico descrito nas composições públicas. Isso contribui para uma gestão mais precisa dos recursos financeiros envolvidos.
- O uso de uma ferramenta tecnológica, por meio de um sistema online para registro dos dados das obras em tempo real possibilitou uma análise instantânea dos resultados. Os gestores de obra pública podem utilizar os índices de produtividade e as análises realizadas para tomar decisões que influenciem na eficiência das equipes de campo. A ferramenta utilizada permite o acompanhamento diário da produtividade e a definição de janelas móveis para avaliação de diferentes períodos, facilitando a gestão e a identificação imediata de desvios em relação ao esperado.
- A comparação dos índices de produtividade obtidos com os coeficientes de outras fontes, como tabelas públicas de composições de custo, oferece aos gestores mais dados para análise de suas práticas e adequação dos custos diretos. Essa comparação pode ser especialmente relevante para responsáveis por obras públicas, que precisam alinhar sua estrutura de custos com os referências do setor.

Em suma, a digitalização do gerenciamento de serviços de concretagem, por meio do estudo estatístico de indicadores de produtividade, traz benefícios significativos, como a identificação de oportunidades de melhoria, a otimização de recursos e a gestão mais eficiente de custos e prazos. Essa abordagem pode contribuir para o avanço da indústria da construção civil, em especial em serviços de concretagem, tornando-a mais eficiente e competitiva.



5 Referências

CARVALHO, M. T. T.; AZEVEDO, M. B. **Aplicação do Gerenciamento de Tempo conforme o Guia PMBOK em empreendimento habitacional em Brasília.** GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas. Bauru, n. 3, p. 114, jul. 2013.

MARUM, T. H.; ANDRADE, R. P.; PAIXÃO, M. J. S.; ZAPPILE, J. C.; RODRIGUES, B. F.; MARANHÃO, F. L. **Estudo Da Obtenção De Índices De Produtividade Para Tabelas De Composições Unitárias: Uma Abordagem Probabilística.** 3º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos. TECSIC 2021.

MARUM, T. H.; AGRA, R. R.; SILVA, R. N.; ANDRADE, R. P.; PAIXÃO, M. J. S.; MARANHÃO, F. L. **Tratamento estatístico de indicadores de produtividade como ferramenta de gerenciamento em obras.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19, 2022, Canela. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-12.

MATTOS, A. **Como preparar orçamentos de obras.** 3. ed. São Paulo: [s.n.]. 2014.

SILVA, M. A. O.; CORRÊA, L. R.; RUAS, A. X. A. **Gerenciamento de projetos na construção civil: tempo, custo e qualidade.** Revista CONSTRUINDO, Belo Horizonte, Volume 10, número 02, p.01 – 20p, 12, 2018.