

## **Análise de Indicadores da Gestão de Produção em obras corporativas e comerciais**

### **Analysis of Production Management Indicators in corporate and commercial works**

S.E.C. Ribeiro<sup>a†</sup>, D.M. Oliveira<sup>a</sup>, C.C. Ribeiro<sup>a</sup>, L.S. Mergh<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Belo Horizonte, Brasil*

<sup>b</sup> *Garcia Construções e Participações Ltda., Belo Horizonte, Brasil*

<sup>†</sup> *Autor para correspondência: sidnea@ufmg.br*

#### **RESUMO**

O papel do sistema de Planejamento e Controle da Produção (PCP) é fornecer informações e modelos para gestão eficiente dos recursos, focando nas estratégias para melhoria da produtividade e gerando valor através das prioridades competitivas como custo, qualidade, flexibilidade, sequência executiva e segurança. Uma das ferramentas mais importantes do PCP é o Last Planner System (LPS) comumente utilizado nas indústrias manufatureiras para verificar o desempenho (indicadores de desempenho), a fim de manter o controle contínuo do planejamento e da produção do empreendimento. O Sistema utiliza-se de indicadores de planejamento, tais como, o Desvio de Ritmo (DR), que identifica possíveis atrasos das atividades com relação ao planejado e de indicadores de desempenho para controlar resultados e os indicadores de desempenho mais utilizados são o Desvio de Custo (DC) e o Desvio de Prazo (DP). O presente estudo analisa as correlações entre os indicadores de planejamento, DR e os indicadores de desempenho, DP e DC, em oito obras, sendo duas de empreendimentos para uso corporativo em seu ciclo completo de 22 e 21 meses e seis de obras de pavimentação e terraplenagem nos primeiros 12 meses da execução. Foram realizadas análises estatísticas de correlação, regressão linear simples e múltipla, a fim de se obter a comprovação estatística da relação entre as variáveis e equações práticas entre os indicadores. Constatou-se que há correlação entre as variáveis envolvidas e verificou-se a influência que cada indicador exerce no comportamento do outro, podendo comprovar que o prazo é muito influenciado pelo ritmo. Nos testes de regressão os resultados mais significativos foram encontrados nas equações onde se manifestavam todas as variáveis. Conclui-se que os valores obtidos nos testes de regressão sugerem que outras variáveis, além do DR, não consideradas nesta análise, devem influenciar os valores dos indicadores de desempenhos DC e DP.

#### **ABSTRACT**

The role of the Production and Planning Control (PCP) system is to provide information and models for efficient resource management, focusing on strategies for improving productivity and generating value through competitive priorities such as cost, quality, flexibility, executive sequence and safety. One of the most important tools of the PCP is the Last Planner System (LPS) commonly used in manufacturing industries to verify performance (performance indicators), in order to maintain continuous control of the project's planning and production. The System uses planning indicators, such as Deviation of Rhythm (DR), which identifies possible delays in activities in relation to what was planned and

#### **Palavras-chave:**

Planejamento e Controle da Produção; Desvio de Custo; Desvio de Prazo; Desvio de Ritmo.

#### **Keywords:**

Planning and production control; Cost Deviation; Deadline Deviation; Rhythm Deviation..

performance indicators to control results, and the most used performance indicators are Deviation from Cost (DC) and Term Deviation (DP). The present study analyzes the correlations between the planning indicators, DR and the performance indicators, DP and DC, in eight works, two of which are for corporate use in their complete cycle of 22 and 21 months and six of paving and earthwork in the first 12 months of execution. Statistical analyzes of correlation, simple and multiple linear regression were carried out, in order to obtain statistical proof of the relationship between variables and practical equations between the indicators. It was found that there is a correlation between the variables involved and the influence that each indicator has on the behavior of the other was verified, being able to prove that the term is very influenced by the pace. In the regression tests, the most significant results were found in the equations where all variables were manifested. It is concluded that the values obtained in the regression tests suggest that other variables, in addition to the DR, not considered in this analysis, should influence the values of the performance indicators DC and DP. Keywords: Last Planner. Planning and production control. Cost deviation. Deviation from Deadline. Deviation of Rhythm.

## 1. Introdução

Nos últimos anos, o estudo da produtividade em obras vem ganhando mais importância e a busca de melhores indicadores de qualidade e eficácia é um dos principais pontos enfatizados. Para Ballard [1], planejamento e controle são atividades essenciais em qualquer ramo de atividade industrial, porém, o planejamento só se faz útil na medida em que o controle monitora, com base nos objetivos do empreendimento e na realização de ações corretivas e para tanto requer levantamentos e registros de indicadores que permitam controlar e monitorar, além de detectar focos de desvio.

Para Laufer e Tucker [2], o Planejamento e Controle da Produção (PCP) é considerado extremamente importante e cumpre papel fundamental para que seja alcançado êxito na coordenação de todas as variáveis que compõem um empreendimento. Os dados de produtividade e os modelos preditivos podem levar a planejamento e programação de obras mais precisos e mais qualificados, e permitem o estabelecimento de indicadores confiáveis e de cunho mais estratégico a serem adotados pelas empresas para manutenção e melhoria da eficácia de obras.

Neste estudo analisou-se os dados da produtividade por meio do acompanhamento e levantamento de informações em oito obras, sendo duas de empreendimentos para uso corporativo, três de terraplenagem e três de pavimentação. Esses dados foram obtidos por meio da comparação sistemática do planejamento executivo de longo prazo, elaborado na fase de orçamentação da obra e os dados reais apurados no decorrer da obra, através do planejamento de curto prazo.

As duas obras de empreendimentos para uso corporativo são de construções do tipo “Shell Building”, com salas em vãos livres para uso comercial e foram acompanhadas em seu ciclo completo num período de 22 meses para uma obra e 21 meses para outra, enquanto as outras seis obras (planejamento e pavimentação) foram acompanhadas apenas dos 12 meses iniciais da obra. Foram calculados os indicadores Desvio de Ritmo (DR), Desvio de Prazo (DP) e Desvio de Custo (DC) e posteriormente foram realizadas análises de correlação e regressão entre os indicadores e sua relação com uma possível redução do prazo de conclusão da obra e do custo global de produção.

Este estudo se justifica uma vez que é importante conhecer a cadeia de valor no processo produtivo e desenvolver esforços sistemáticos para eliminar ou reduzir o peso de atividades que não agregam valor ao produto final, buscando a garantia de fluxo contínuo, pois conforme Pinheiro [3] esses passos podem ser fundamentais para a melhoria da produtividade, diminuição do desperdício como um todo, estimativa de custos de projetos futuros e para prover de informações essenciais o planejamento e controle de processos.

O objetivo geral do presente estudo é coletar, processar e analisar os indicadores gerados a partir dos planejamentos de longo e curto prazo dos empreendimentos selecionados, comparando e analisando a evolução de alguns indicadores de planejamento e desempenho

estabelecidos para este estudo buscando quantificar e compreender suas relações, contribuindo para a consolidação e refinamento desses indicadores na construção civil. Além disso objetiva-se verificar e determinar a existência e a natureza da relação entre os indicadores de desempenho, Desvio de Custo (DC) e o Desvio de Prazo (DP) e os indicadores de planejamento, Desvio de Ritmo (DR).

### 1.1. Planejamento e Controle da Produção (PCP)

De acordo com Laufer e Tucker [2], o processo de planejamento e controle da produção deve ser entendido como atividades indissociáveis que fazem parte de um processo gerencial. O planejamento estabelece as metas e indica como elas serão cumpridas, enquanto que o controle acompanha o desempenho das atividades propostas pelo planejamento, garante que o caminho seja mantido e determina o uso de ações corretivas, quando necessário.

Uma das ferramentas mais importantes do PCP é o Last Planner System (LPS) que conforme Ballard [1], aumenta a confiabilidade do plano e pode minimizar desperdício de tempo e custos reduzindo a variabilidade do fluxo de trabalho. O Sistema utiliza-se de indicadores de planejamento, tais como, o Desvio de Ritmo (DR), que identifica possíveis atrasos das atividades com relação ao planejado e de indicadores de desempenho para controlar resultados e os indicadores de desempenhos mais utilizados são o Desvio de Custo (DC) e o Desvio de Prazo (DP).

### 1.2. Medição de Desempenho e Indicadores de Gestão

A medição de desempenho é vista tradicionalmente, segundo Neely et al. [4], como um meio de quantificar a eficiência e eficácia da ação. A medição de desempenho pode, também, ser considerada como o principal meio de induzir coerentemente a tomada de decisão e a realização de ações, podendo ser usada para influenciar o comportamento e, assim, afetar a implementação das estratégias de uma empresa [4]. Segundo Crowther [5], a sobrevivência de uma empresa depende, em parte, da sua habilidade em avaliar o desempenho e selecionar estratégias que permitam à mesma atingir um desempenho adequado.

Pinheiro [3] demonstrou a importância da implantação dos conceitos e práticas dos indicadores de desempenho da construção civil e destacou que os indicadores mais comuns utilizados na construção civil são os de custo, que contemplam o custo total do empreendimento e seu desvio e os de tempo, que levam em conta a duração total do empreendimento e o seu desvio.

#### 1.2.1. Desvio de Custo (DC)

Segundo Moura [6] o desvio de custo (DC) é uma medida de variação que tem por principal objetivo o monitoramento das diferenças entre o custo orçado e o custo real da obra, possibilitando que seja feito um acompanhamento periódico desses dados.

Turner, 1993 apud Moura[6] propõe uma forma de calcular o desempenho relativo aos custos utilizando a fórmula de Desvio de Custo proposta na equação (1). O autor sugere um índice que corresponde ao percentual da variação entre o custo real e o custo orçado, também denominado de desvio padronizado. Dessa forma, quando o percentual da variação é positivo, significa que o empreendimento ultrapassou orçamento. Se o valor for negativo, indica que o mesmo cumpriu as atividades com menos gasto do que o planeja.

$$DC = \frac{\text{custo real} - \text{custo orçado}}{\text{custo orçado}} \times 100\% \quad (1)$$

#### 1.2.2. Desvio de Prazo (DP)

O desvio de prazo (DP) é uma medida de variação e tem por objetivo principal o monitoramento do andamento da obra, comparando-se o prazo previsto e o prazo efetivo (MOURA, [6]). O índice de desempenho dos prazos pode ser calculado pela razão entre a variação dos prazos e o prazo previsto [6], segundo a equação (2).

$$DP = \frac{\text{prazo real} - \text{prazo orçado}}{\text{prazo orçado}} \times 100\% \quad (2)$$

O resultado deste indicador indica que quando o valor percentual DP é positivo, que a obra está atrasada em relação ao planejamento; quando o valor percentual DP é negativo, que a obra está adiantada em relação ao planejamento e quando o valor percentual DP é zero, que a obra está dentro do prazo previsto.

### 1.3. Medição e indicadores de planejamento

Com o objetivo de detectar problemas e diminuir as restrições, o processo de planejamento e controle da produção possui vários ciclos de retroalimentação onde tanto a produtividade quanto o planejamento sofrem avaliações e ajustes [7]. A efetivação destes ciclos requer um grupo de indicadores tais como o Desvio de Ritmo (DR) que ofereça os dados e fatos necessários à tomada de decisão em cada fase do planejamento.

#### 1.3.1. Desvio de ritmo

O Ritmo (R) é a taxa de produção ou razão de execução definido em número de unidade por tempo. Esse indicador consegue mostrar com qual velocidade pode-se produzir um determinado produto ou serviço em um intervalo de tempo. Acompanhando este indicador, é possível analisar como a velocidade executada atende à demanda estabelecida.

Segundo Costa [8], o desvio de ritmo (DR) é um indicador que tem por objetivo identificar possíveis atrasos das atividades com relação ao planejado, devido à queda do ritmo de uma ou mais atividades da obra. Dessa forma o DR pode ser calculado conforme sugerido por Costa [8] (Equação (3)).

$$DR = \frac{P_{ex}}{P_{pl}} \times 100\% \quad (3)$$

Onde,  $P_{ex}$  é a percentagem (%) de execução real da atividade;  $P_{pl}$  é a percentagem (%) de execução planejada.

### 1.4. Análise de Correlação

A intensidade da relação entre duas variáveis envolvidas em um estudo pode ser avaliada através da análise de correlação e segundo Levin et al. [9] o coeficiente de correlação de Pearson (r) fornece a medida do grau de correlação existente entre duas variáveis e pode-se determinar a intensidade e a direção da relação entre elas. O coeficiente de correlação de Pearson (r) oscila entre -1,00 e +1,00 e quando é positiva tem-se uma correlação direta e negativa, inversa. Se o coeficiente de correlação de Pearson (r) é igual 1,00, tem-se uma correlação perfeita, igual a 0,75 considera-se uma correlação forte, igual a 0,5 mediana, igual a 0,25 fraca e igual zero não tem nenhuma correlação.

Segundo Oliveira [10] para verificar se a associação obtida entre X e Y realmente existe na população é necessário testar a significância do coeficiente de correlação de Pearson (r) através das seguintes hipóteses:

- Hipótese nula ( $H_0$ ): não existe correlação na população, ou seja,  $r = 0$ ;
- Hipótese alternativa ( $H_1$ ): existe correlação na população, isto é,  $r \neq 0$ ;

De acordo com Levin et al. [9] há significância estatística ou o resultado é estatisticamente significativo quando o valor de p observado é menor que o nível de significância  $\alpha$ , tradicionalmente adotado como 0,05. Se o coeficiente p for igual ou superior, em módulo, ao nível de significância  $\alpha$ , a hipótese nula será rejeitada e a hipótese alternativa é aceita, em outras palavras, existe correlação entre as variáveis. Se o coeficiente p for igual ou superior, em módulo, ao nível de significância  $\alpha$ , a hipótese nula será aceita e a hipótese alternativa é rejeitada, em outras palavras, não existe correlação entre as variáveis. Se o coeficiente p for inferior, em módulo, ao nível de significância  $\alpha$ , a hipótese nula será rejeitada e a hipótese alternativa é aceita, em outras palavras, existe correlação entre as variáveis.

O valor de  $p$  representa um índice decrescente da confiabilidade de um resultado. Quanto mais alto o  $p$ , menos se pode acreditar que a relação observada entre as variáveis na amostra é um indicador confiável da relação entre as respectivas variáveis na população. Especificamente, o valor de  $p$  representa a probabilidade de erro envolvida em aceitar o resultado observado como válido, isto é, como resultado representativo da população.

### 1.5. Análise de Regressão

Segundo Levin et al. [9] a análise de regressão consiste na realização de uma análise estatística com o objetivo de se verificar a existência de uma relação funcional entre uma variável dependente com uma ou mais variáveis independentes. Através da análise de regressão, é possível estabelecer uma equação que expresse o relacionamento entre as variáveis resposta ou dependente "Y" e explicativa ou independente "X", ou seja, a análise também é usada para verificar como o valor de "Y" pode variar em função da variável "X".

O objetivo da regressão é obter um modelo matemático que melhor se ajuste aos valores observados de "Y" em função da variação dos níveis da variável "X" [9]. A reta ou curva que contém os valores da verificação da variação é chamada de reta ou curva de regressão, criando uma relação direta de causa e efeito. Assim, será possível prever os valores de uma variável dependente com base nos resultados das variáveis independentes.

## 2. Materiais e métodos

Esse estudo foi realizado através de levantamento de dados realizados em relatórios mensais de obras de duas empresas em Belo Horizonte, foram determinados os indicadores Desvio de custo (DC), Desvio de prazo (DP) e Desvio de ritmo (DR).

Após o cálculo dos indicadores DC, DP e DR com o objetivo de uniformizar a escala dos indicadores uma vez que cada indicador tinha um leque de valores bem distintos, utilizou-se a escala transformada de valores percentuais para valores absolutos variando de 0 a 10. Assim, realizou-se uma interpolação, onde o melhor valor dos indicadores (menor desvio de prazo e custo e maior desvio de ritmo) recebeu a nota 10 e o pior valor (maior desvio de prazo e custo e menor desvio de ritmo) recebeu a nota 0. A conversão da escala para cada indicador ocorreu conforme a Equação 4. Onde  $I_{\min}$  é o menor indicador,  $I_{\max}$  é o maior indicador e  $I$  é o indicador analisado para DC, DP e DR.

$$I_t = \frac{10}{(I_{\min})} \times (I - I_{\max}) \quad (4)$$

Foram analisadas 9 obras e essas obras foram agrupadas pelo tipo, Grupo 1, obras de terraplenagem e pavimentação e Grupo 2, obras de edifício para uso corporativo comercial. No Quadro 1 apresenta-se os grupos, o tipo, e o tempo de acompanhamento e análise das obras.

**Quadro 1** - Agrupamento e descrição das obras analisadas.

Grupo	Obras	Tipo	Tempo de análise
Grupo 1	Obras 1, 2 e 3	Terraplenagem	12 meses
	Obras 4,5 e 6	Pavimentação	12 meses
Grupo 2	Obra 7	Edifício comercial tipo Shell Building	22 meses
	Obra 8	Edifício comercial tipo Shell Building	21 meses

## 3. Resultados

Os dados de custo, prazo e ritmo foram obtidos dos relatórios mensais das obras e posteriores os desvios de prazo (DP), custo (DC) e ritmo (DR) foram calculados para cada obra. Os valores desses indicadores de desempenho e planejamentos do Grupo 1 estão apresentados nas Tabelas 1 e 2, enquanto do Grupo 2 estão na Tabela 3.

**Tabela 1** - Indicadores de desempenho e planejamentos das obras do Grupo 1 - Obras de 1 a 3.

Obra	Mês	Indicadores percentuais			Indicadores Transformados		
		DP	DC	DR	DP	DC	DR
Obra 1	1	0,00%	-0,24%	0,00%	7,17	5,81	0,00
	2	0,11%	-0,11%	54,17%	7,13	5,76	0,61
	3	-0,15%	-0,48%	142,86%	7,21	5,91	1,60
	4	0,14%	-1,19%	81,82%	7,12	6,18	0,92
	5	0,03%	-1,22%	98,34%	7,16	6,19	1,10
	6	1,79%	-0,94%	37,85%	6,62	6,09	0,42
	7	-2,94%	-0,90%	665,38%	8,06	6,07	7,47
	8	1,29%	1,15%	70,48%	6,77	5,27	0,79
	9	-0,77%	0,92%	116,70%	7,40	5,36	1,31
	10	0,27%	3,90%	96,57%	7,08	4,21	1,08
	11	-0,25%	3,60%	105,80%	7,24	4,32	1,19
	12	-1,45%	1,85%	127,23%	7,61	5,00	1,43
Obra 2	1	-1,61%	-5,51%	135,40%	7,66	7,86	1,52
	2	2,54%	-5,63%	96,03%	6,39	7,90	1,08
	3	-0,93%	-5,73%	113,79%	7,45	7,94	1,28
	4	-0,19%	-4,82%	102,47%	7,22	7,59	1,15
	5	-0,06%	-6,62%	101,03%	7,18	8,29	1,13
	6	2,22%	-4,71%	271,49%	6,49	7,55	3,05
	7	-1,88%	-4,32%	92,11%	7,74	7,40	1,03
	8	-0,29%	-3,99%	120,85%	7,25	7,27	1,36
	9	-0,48%	-4,18%	128,92%	7,31	7,34	1,45
	10	0,41%	-4,38%	298,28%	7,04	7,42	3,35
	11	0,18%	-4,17%	86,91%	7,11	7,34	0,98
	12	-0,15%	-5,21%	114,92%	7,21	7,74	1,29
Obra 3	1	1,26%	-1,14%	48,02%	6,78	6,16	0,54
	2	23,51%	3,71%	2,90%	0,00	4,28	0,03
	3	10,70%	5,20%	22,34%	3,90	3,70	0,25
	4	12,43%	6,52%	27,83%	3,38	3,19	0,31
	5	9,15%	14,75%	49,22%	4,38	0,00	0,55
	6	1,44%	13,74%	87,81%	6,73	0,39	0,99
	7	-6,78%	7,96%	286,23%	9,23	2,63	3,21
	8	-6,28%	-10,87%	277,27%	9,08	9,94	3,11
	9	-8,64%	-11,04%	891,15%	9,80	10,00	10,00
	10	-1,35%	-4,34%	218,60%	7,58	7,40	2,45
	11	-1,99%	-7,11%	289,13%	7,77	8,48	3,24
	12	-5,65%	-5,97%	706,19%	8,89	8,03	7,92

Posteriormente, com o objetivo de uniformizar a escala dos indicadores, calculou-se os valores transformados fazendo-se uma interpolação, onde o melhor valor dos indicadores recebeu a nota 10 e o pior valor recebeu a nota 0. A transformação dos indicadores foi realizada separadamente por Grupo. Os valores transformados do Grupos 1 são também apresentados nas Tabelas 1 e 2, enquanto do Grupo 2 são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 2** - Indicadores de desempenho e planejamentos das obras do Grupo 1 - Obras de 4 a 6.

Obra	Mês	Indicadores percentuais			Indicadores Transformados		
		DP	DC	DR	DP	DC	DR
Obra 4	1	3,61%	0,52%	40,53%	6,07	5,52	0,45
	2	6,57%	3,00%	37,19%	5,16	4,56	0,42
	3	4,43%	4,23%	44,69%	5,82	4,08	0,50
	4	4,56%	4,16%	38,71%	5,78	4,11	0,43
	5	-1,42%	4,24%	121,26%	7,60	4,08	1,36
	6	0,31%	3,43%	94,91%	7,07	4,39	1,07
	7	1,25%	3,81%	85,99%	6,78	4,24	0,96
	8	-0,40%	6,08%	105,30%	7,29	3,36	1,18
	9	-5,45%	4,54%	150,70%	8,83	3,96	1,69
	10	1,65%	5,27%	89,77%	6,66	3,68	1,01
	11	-9,30%	2,71%	204,14%	10,00	4,67	2,29
	12	-4,86%	2,26%	305,06%	8,65	4,84	3,42
Obra 5	1	-0,09%	-0,09%	103,38%	7,19	5,75	1,16
	2	0,93%	-1,84%	89,40%	6,88	6,43	1,00
	3	-0,28%	-1,87%	146,67%	7,25	6,45	1,65
	4	-0,58%	-1,91%	109,60%	7,34	6,46	1,23
	5	1,80%	-2,38%	61,95%	6,62	6,64	0,70
	6	-1,86%	-2,07%	123,66%	7,73	6,52	1,39
	7	0,26%	-1,50%	97,29%	7,09	6,30	1,09
	8	0,00%	-1,26%	0,00%	7,17	6,21	0,00
	9	0,00%	-1,25%	0,00%	7,17	6,21	0,00
	10	0,45%	-1,20%	97,15%	7,03	6,18	1,09
	11	1,71%	0,11%	70,16%	6,64	5,68	0,79
	12	-2,91%	6,09%	153,59%	8,05	3,36	1,72
Obra 6	1	-0,40%	1,68%	233,33%	7,29	5,07	2,62
	2	-0,20%	6,97%	108,70%	7,23	3,02	1,22
	3	2,85%	7,80%	71,64%	6,30	2,69	0,80
	4	2,05%	6,09%	74,85%	6,54	3,36	0,84
	5	0,10%	3,40%	99,01%	7,14	4,40	1,11
	6	-6,10%	3,48%	506,67%	9,02	4,37	5,69
	7	-0,20%	2,23%	105,71%	7,23	4,85	1,19
	8	1,00%	2,46%	84,13%	6,86	4,77	0,94
	9	1,40%	3,64%	78,79%	6,74	4,31	0,88
	10	4,80%	3,39%	44,83%	5,70	4,40	0,50
	11	-7,40%	3,56%	176,29%	9,42	4,34	1,98
	12	0,80%	3,83%	92,31%	6,92	4,23	1,04

Analisando-se as Tabelas 1 e 2 observa-se que entre as obras analisadas do grupo 1, a obra 3 apresentou o maior desvio de prazo (maior atraso) no mês 2, o maior de desvio de custo no mês 5, portanto foi atribuído o valor absoluto 0 para esses meses desta obra. Observa-se, também, que entre as obras analisadas do grupo 1, a obra 4, no mês 11, apresentou o menor desvio de prazo (menor atraso), a obra 3, no mês 9, apresentou o menor desvio, portanto foi atribuído o valor absoluto 10 para estas obras, nestes meses. Percebe-se também que a obra 3, no mês 9 teve o maior desvio de ritmo, portanto foi atribuído o valor absoluto 10 para esse mês desta obra e o menor ritmo ocorreu na obra 1, no mês 1, portanto foi atribuído o valor absoluto 0 para esse mês

desta obra.

Analisando-se Tabela 3 observa-se que entre as obras analisadas do grupo 2, a obra 7 apresentou o maior desvio de prazo (maior atraso) nos meses 15 e 16, o maior de desvio de custo no mês 11, portanto foi atribuído o valor absoluto 0 para esses meses desta obra. Observa-se, também, que entre as obras analisadas do grupo 2, a obra 8, no mês 8, apresentou o menor desvio de prazo (menor atraso), a obra 7, no mês 19, apresentou o menor desvio de prazo, portanto foi atribuído o valor absoluto 10 para estas obras, nestes meses. Percebe-se também que a obra 7, no mês 3, teve o maior desvio de ritmo, portanto foi atribuído o valor absoluto 10 para esse mês desta obra e o menor ritmo ocorreu na obra 7, no mês 2, portanto foi atribuído o valor absoluto 0 para esse mês desta obra.

Os demais valores absolutos das Tabelas 1, 2 e 3 foram interpolando entre os valores de 0 a 10.

Adequada a escala dos indicadores, realizou-se as análises estatísticas de correlação, por meio da qual tornou-se possível verificar a existência e a intensidade da relação entre duas variáveis.

### 3.1. Análise de Correlação

Com o objetivo de verificar se existe dependência entre os indicadores desempenho e de planejamento das obras estudadas e também para calcular qual o grau de dependência entre as variáveis foi realizado três análises: Análise 1, Desvio de Custo x Desvio de Prazo; Análise 2, Desvio de Custo x Desvio de Ritmo e Análise 3, Desvio de Prazo x Desvio de Ritmo.

Na Tabela 4 apresenta-se os coeficientes de correlação de Pearson ( $r$ ) e os resultados do teste de significância ( $p$ ) correspondentes às variáveis, bem como a conclusão do resultado de cada teste. Pode-se observar que os valores do coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) em todos os testes são positivos, isto significa que as variáveis possuem uma relação direta.

Analisando a Tabela 4, observa-se que todos os valores obtidos no teste de significância ( $p$ ) foram inferiores ao valor limite adotado ( $\alpha = 0,05$ ), conclui-se, portanto, que existe correlação entre as variáveis existentes na população e, portanto, pode-se continuar os estudos e realizar, também, a análise de regressão. Percebe-se que o nível de significância do Grupo 2 ( $p$ ) é maior que do Grupo 1, portanto a confiabilidade da relação entre os indicadores do Grupo 2 é maior.

Analisando ainda a Tabela 4 pode-se verificar que coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) são positivos e que, portanto, existe uma correlação direta entre as variáveis analisadas. O coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) das variáveis analisadas está entre 0,324 a 0,540 para o Grupo 1, indicando uma correlação de fraca a mediana e entres os valores 0,506 a 0,755 para o Grupo 2, indicando uma correlação de mediana a forte. Confirmando, portanto, que a correlação dos indicadores do Grupo 2 são mais confiáveis, essa confiabilidade maior pode ser justificada pela o tipo de obra, padrão de obra e também pelo tempo de acompanhamento e análise. As obras do Grupo 2 são de tipologia muito diferente das obras do Grupo 1 e são de padrão alto, tendo, normalmente maior controle. As obras do Grupo 2 foram analisadas durante todo o período de construção, enquanto as do Grupo 1 foram analisadas nos primeiros 12 meses da obra, no restante do tempo a obra pode ter um comportamento diferente do início e melhorar ou piorar seus indicadores.

Observa-se também que a correlação DP-DR é superior nos dois grupos, mostrando que a correlação entre o ritmo e prazo é a mais forte.

### 3.2. Análise de Regressão

Na regressão, o interesse é encontrar a força de associação entre as variáveis e especificar a natureza da relação entre elas, assim, se estabelece uma variável que é dependente, e a outras, independentes. Para os resultados dos índices estudados foram executados os testes de regressão linear simples e múltipla.

**Tabela 3 - Indicadores de desempenho e planejamentos das obras do Grupo 2.**

Obra	Mês	Indicadores percentuais			Indicadores Transformados		
		DP	DC	DR	DP	DC	DR
Obra 7	1	0,00%	0,34%	100,00%	7,08	7,34	6,56
	2	0,91%	1,42%	77,92%	6,22	6,73	0,00
	3	-0,91%	2,04%	111,58%	7,94	6,38	10,00
	4	-0,68%	2,21%	105,36%	7,73	6,29	8,15
	5	0,45%	5,51%	97,67%	6,65	4,42	5,87
	6	0,68%	7,65%	96,28%	6,44	3,20	5,45
	7	1,59%	10,98%	93,94%	5,58	1,32	4,76
	8	3,41%	11,43%	89,75%	3,86	1,06	3,51
	9	6,59%	10,78%	84,52%	0,86	1,43	1,96
	10	6,14%	11,50%	87,98%	1,29	1,02	2,99
	11	5,91%	13,31%	89,51%	1,50	0,00	3,44
	12	5,68%	10,93%	90,60%	1,72	1,35	3,77
	13	5,91%	9,69%	91,07%	1,50	2,05	3,90
	14	7,05%	9,43%	89,97%	0,43	2,20	3,58
	15	7,50%	7,92%	90,05%	0,00	3,05	3,60
	16	7,50%	7,81%	90,64%	0,00	3,11	3,78
	17	7,05%	2,64%	91,39%	0,43	6,04	4,00
	18	6,82%	-1,69%	92,11%	0,64	8,49	4,22
	19	6,36%	-4,35%	92,90%	1,07	10,00	4,45
	20	5,23%	-3,80%	94,41%	2,15	9,69	4,90
	21	3,86%	-0,84%	96,11%	3,43	8,01	5,40
	22	0,00%	-0,91%	100,00%	7,08	8,05	6,56
Obra 8	1	-0,10%	-0,19%	103,45%	7,18	7,64	7,59
	2	-0,05%	-0,46%	100,75%	7,13	7,80	6,78
	3	-1,10%	-0,86%	109,24%	8,12	8,02	9,30
	4	1,83%	-1,46%	89,74%	5,35	8,36	3,51
	5	2,30%	-2,19%	89,69%	4,91	8,78	3,49
	6	-0,91%	-2,85%	103,64%	7,94	9,15	7,64
	7	-0,23%	-3,62%	100,73%	7,30	9,59	6,77
	8	-3,09%	-2,40%	108,33%	10,00	8,90	9,03
	9	0,20%	-2,21%	99,53%	6,89	8,79	6,42
	10	3,06%	-3,96%	93,64%	4,19	9,78	4,67
	11	3,35%	-2,37%	93,76%	3,92	8,88	4,71
	12	0,22%	-1,89%	99,63%	6,87	8,61	6,45
	13	-0,60%	-3,46%	100,95%	7,65	9,50	6,84
	14	-1,90%	-1,08%	102,87%	8,88	8,15	7,41
	15	-2,04%	-2,79%	102,89%	9,01	9,12	7,42
	16	0,04%	-1,36%	99,95%	7,04	8,31	6,54
	17	-0,52%	-3,00%	100,65%	7,57	9,24	6,75
	18	-0,85%	-0,50%	101,02%	7,88	7,82	6,86
	19	-1,30%	-0,86%	101,47%	8,31	8,02	6,99
	20	-2,58%	-1,20%	102,71%	9,52	8,22	7,36
	21	0,00%	-1,54%	100,00%	9,52	8,41	6,56

**Tabela 4** - Resumo das análises de correlação entre as variáveis.

Grupo	Teste	Análise	r	P	Resultado
1	1	DC-DP	0,324	0,005	Rejeita-se H0, Correlação Fraca
	2	DC-DR	0,351	0,003	Rejeita-se H0, Correlação Fraca
	3	DP-DR	0,540	0,000	Rejeita-se H0, Correlação Mediana
2	1	DC-DP	0,546	0,000	Rejeita-se H0, Correlação Mediana
	2	DC-DR	0,506	0,001	Rejeita-se H0, Correlação Mediana
	3	DP-DR	0,755	0,000	Rejeita-se H0, Correlação Forte

Para o teste de regressão linear simples, supõe-se a existência de uma única variável independente e uma tendência linear entre as variáveis, estabelecendo uma equação que expresse o relacionamento entre a variável resposta ou dependente, Y, e explicativa ou independente, X, no modelo  $Y = a + b X$ . Para o teste de regressão linear múltiplas verificou-se a existência de dependência entre as três variáveis, realizou testes de regressão linear múltipla, variando-se a variável dependente. O modelo adotado para essa análise foi do tipo  $Y = a + b X1 + c X2$ .

Além de testar a significância da regressão, é importante avaliar a quantidade de variabilidade dos dados explicada pelo modelo. Esta avaliação é realizada por meio do coeficiente de determinação  $R^2$ .

Na Tabela 5 estão apresentadas as equações que explica a relação entre as variáveis, o nível de significativa e o coeficiente de determinação  $R^2$ . Analisando-se a Tabela 5 observa-se que todos os modelos podem ser considerados úteis para explicar a variabilidade, uma vez que, em todos os casos, os valores do nível de significância p apresentam-se inferiores ao limite  $\alpha = 0,05$ .

Analisando-se os resultados apresentados na Tabela 5 percebe-se que os modelos representantes das relações entre as variáveis DP e DR apresentam os maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ), demonstrando que esses modelos têm a maior relação entre essas variáveis.

Percebe-se também que os coeficientes de determinação obtidos para Grupo 2 são maiores que o do Grupo 1, o que indica que dependência entre as variáveis encontradas no Grupo 2 são mais fortes e, portanto, percebe-se que os modelos reagem diferentemente para tipos de obras distintas e que, provavelmente, os dados das obras do Grupo 2 são mais confiáveis, uma vez que obras de alto padrão possuem maior controle e acompanhamento e também pois a análise desses dados foram feitas durante toda a execução da obra.

Pode ser observado, também, que os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) da regressão linear múltipla são melhores que os da regressão linear simples, mostrando que as equações de regressão linear múltipla representam melhor a relação das variáveis e que os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) estão distantes de 100%, podendo-se afirmar, portanto, que outras variáveis não apresentadas aqui influenciam na relação de comportamento entre os indicadores e supõem-se, também, que equações não lineares poderiam representar melhor as relações analisadas.

#### 4. Conclusões

O presente estudo contribuiu para o estudo dos indicadores de desempenho e de planejamento, quantificando, comparando e analisando sua evolução e assim consolidando e refinando a relação entre eles, além de estabelecer diretrizes para interligação dos planejamentos de longo e curto prazo com a utilização dos indicadores de desvio de custo, desvio de prazo e desvio de ritmo.

O objetivo principal desse estudo foi determinar a existência e a natureza da relação entre os indicadores de desempenho, Desvio de Custo (DC) e o Desvio de Prazo (DP) e os indicadores de planejamento, Desvio de Ritmo (DR). Visando observar a relação entre os indicadores, foram realizados os testes de correlação, onde verificou-se em todos eles a existência de correlação direta entre os indicadores.

Verificou-se que a relação mais forte nos dois grupos analisados foi entre DP e DR, o que era esperado, pois quanto maior o ritmo, melhor o prazo, porém conclui-se que existem outras variáveis que influenciam as relações de dependência de DC, DP e DR uma vez que os valores estão

distantes de 100%. Um indicador que pode melhorar essa relação é o Percentual de planejamento concluído (PPC).

**Tabela 5 - Resultados das Análises de Regressão.**

Análise	Grupo	Equação de regressão	P	R <sup>2</sup>
Regressão Linear simples	Grupo 1	$DP = 5,73 + 0,241 DC$	0,005	10,5%
		$DC = 2,42 + 0,435 DP$	0,005	10,5%
		$DP = 6,36 + 0,438 DR$	0,000	29,2%
		$DR = - 3,11 + 0,666 DP$	0,000	29,2%
		$DC = 4,88 + 0,382 DR$	0,003	12,3%
	Grupo 2	$DR = - 0,180 + 0,322 DC$	0,003	12,3%
		$DP = 1,667 + 0,5565 DC$	0,000	29,8%
		$DC = 3,714 + 0,5359 DP$	0,000	29,8%
		$DP = - 1,033 + 1,139 DR$	0,000	57,0%
		$DR = 2,918 + 0,5003 DP$	0,000	57,0%
Regressão Linear múltipla	Grupo 1	$DC = 2,385 + 0,7492 DR$	0,001	25,6%
		$DR = 3,335 + 0,3418 DC$	0,001	25,6%
		$DP = 5,81 + 0,114 DC + 0,394 DR$	0,000	31,2%
	Grupo 2	$DC = 3,26 + 0,255 DP + 0,270 DR$	0,004	14,9%
		$DR = - 3,55 + 0,588 DP + 0,181 DC$	0,000	32,6%
		$DP = - 1,57 + 0,225 DC + 0,970 DR$	0,000	60,6%
		$DC = 2,77 + 0,374 DP + 0,323 DR$	0,000	31,9%
		$DR = 2,58 + 0,0904 DC + 0,452 DP$	0,000	58,2%

Além disso como as equações lineares não representaram tão bem a relação entre os indicadores, supõem-se que equações não lineares de segundo ou terceiro grau poderiam representar melhor essa relação.

Conclui-se também que quando as obras forem analisadas durante toda a sua execução pode apresentar resultados mais confiáveis.

## Referências

- [1] G. Ballard, The Last Planner System of Production Control. Thesis (Doctor of Philosophy), School of Civil Engineering, Faculty of Engineering. University of Birmingham, Birmingham, 2000.
- [2] A. Laufer, R. L. Tucker, Is Construction Planning Really Doing its Job? A critical examination of focus, role and process. *Construction Management and Economics*, London, 5 (1987) 243-266.
- [3] J. P. C. Pinheiro, Indicadores-chave de Desempenho (Key Performance Indicators) aplicados à construção: Desempenho e Benchmarking do setor. Dissertação de M.Sc., Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.
- [4] A. Neely, J. Mills, K. Platts, M. Gregory, H. Richards, Performance measurement system design: Should process based approaches be adopted?, *International Journal of Production Economics*, 46–47 (1996) 423–431.
- [5] D. E. A. Crowther, Corporate Performance Operates in Three Dimensions, *Managerial Auditing Journal*, 11 (1996) 4-13.
- [6] C. B. Moura, C.T. Formoso, Análise quantitativa de indicadores de planejamento e controle da produção: impactos do Sistema Last Planner e fatores que afetam a sua eficácia, *Ambiente Construído*, 9 (2009) 57-74.
- [7] E. M. V. Lantelme, P. Tzortzopoulos, C. T. Formoso, Indicadores de Qualidade e Produtividade para a Construção Civil. Porto Alegre: Núcleo Orientado para a Inovação da

- Edificação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- [8] D. B. Costa, Diretrizes para Concepção, Implementação e Uso de sistemas de Indicadores de Desempenho para Empresas da Construção Civil. Dissertação de M.Sc., UFRBS, Porto Alegre, RS, 2003.
- [9] J. Levin, J. A. Fox, D. R. Forde, Estatística para ciências humanas. 11 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012.
- [10] D. M. Oliveira, Estudo dos processos aproximados utilizados para a consideração das não-linearidades física e geométrica na análise global das estruturas de concreto armado. Tese de Dr. UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil, 2007.

**ORCID**

S.E.C. Ribeiro	0000-0001-7875-9314 ( <a href="https://orcid.org/0000-0001-7875-9314">https://orcid.org/0000-0001-7875-9314</a> )
D.M. Oliveira	0000-0003-4379-5096 ( <a href="https://orcid.org/0000-0003-4379-5096">https://orcid.org/0000-0003-4379-5096</a> )
C.C. Ribeiro	0000-0002-6698-9865 ( <a href="https://orcid.org/0000-0002-6698-9865">https://orcid.org/0000-0002-6698-9865</a> )
L. S. Mergh	0009-0009-5888-9256 ( <a href="https://orcid.org/0009-0009-5888-9256">https://orcid.org/0009-0009-5888-9256</a> )