

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

**ANÁLISE DE INDICADORES DE CUSTO E DE PRAZO DE OBRAS
COMERCIAIS: COMPARAÇÃO ENTRE O PLANEJAMENTO E A EXECUÇÃO**

Autora: Camila Gonçalves Alves Pereira
Orientadora: Profa. Dra. Sidnea Eliane Campos Ribeiro
Coorientadora: Profa. Dra. Danielle Meireles de Oliveira

Belo Horizonte
Fevereiro/2018

Camila Gonçalves Alves Pereira

**ANÁLISE DE INDICADORES DE CUSTO E DE PRAZO DE OBRAS
COMERCIAIS: COMPARAÇÃO ENTRE O PLANEJAMENTO E A EXECUÇÃO**

Dissertação apresentada a Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Construção Civil. Área de concentração: Materiais de Construção Civil. Linha de pesquisa: Gestão na Construção Civil.

Orientador(a): Profa. Dra. Sidnea Eliane Campos Ribeiro

Coorientador(a): Profa. Dra. Danielle Meireles de Oliveira

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2018

Camila Gonçalves Alves Pereira

**ANÁLISE DE INDICADORES DE CUSTO E DE PRAZO DE OBRAS
COMERCIAIS: COMPARAÇÃO ENTRE O PLANEJAMENTO E A EXECUÇÃO**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Construção Civil do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

Belo Horizonte, 27 de fevereiro de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Sidnea Eliane Campos Ribeiro
Orientador(a) - UFMG/DEMC

Profa. Dra. Danielle Meireles de Oliveira
Coorientador(a) - UFMG/DEMC

Profa. Dra. Carmen Couto Ribeiro
UFMG/DEMC

Prof. Dr. Hisashi Inoue
UFSJ

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, tenho o dever de agradecer a Deus, pois graças a Ele consegui entrar e concluir o mestrado. Gostaria de agradecer meu marido, Amor, obrigada por sempre me apoiar e estar ao meu lado. Minha família, devo tudo a vocês, vocês são a minha base, obrigada, mãe, pai e Lol.

Em especial, agradeço as minhas orientadoras e professoras, Sidnea Eliane Campos Ribeiro e Danielle Meireles de Oliveira, muito obrigada pelos conselhos e pela dedicação, sem vocês essa vitória não seria possível. Agradeço também os demais professores do departamento DEMC/UFMG pelos ensinamentos e contribuições.

Gostaria de agradecer a Reta Engenharia por apoiar e incentivar o meu mestrado. Meu muito obrigada em especial para o Henrique e para a Caroline que acompanharam de perto minha trajetória ao longo desses anos.

RESUMO

O processo de planejamento e controle da produção tem recebido destaque por possibilitar melhorias no setor da construção civil. Este processo possibilita o aumento do desempenho dos empreendimentos da construção, em relação ao custo, prazo, qualidade e segurança. Apesar do destaque do processo de planejamento e controle da produção, poucas análises foram realizadas sobre o impacto de sua implementação e os fatores que afetam a sua eficácia. Dessa forma, a presente pesquisa tem como objetivo apresentar um comparativo dos dados obtidos entre o planejamento de longo prazo, etapa de orçamentação do empreendimento, e o planejamento de curto prazo, etapa de execução do empreendimento em seis obras localizadas no estado de Minas Gerais, classificadas em dois grupos (Grupo 01 - Terraplenagem e Grupo 02 - Pavimentação/Acesso). O presente trabalho avalia o desempenho do planejamento das obras comerciais baseado nos indicadores de desvio de custo, desvio de prazo e desvio de ritmo. Assim, são realizadas análises estatísticas, além de análises das características e comportamento de cada obra. Essas análises buscam verificar a existência de diferenças significativas entre os indicadores calculados, de maneira global e entre os grupos de estudo. São também desenvolvidas análises de correlação e regressão, simples e múltipla, entre os indicadores. Constatou-se uma relação direta entre as variáveis envolvidas no estudo e a influência de cada indicador no comportamento do outro. Como principais conclusões apontam-se as evidências da importância do planejamento e controle da produção no desempenho, eficiência e eficácia, dos empreendimentos.

Palavras-chave: Indicador. Desempenho. Custo. Prazo. Obras civis comerciais.

ABSTRACT

The process of planning and control of production has been put into evidence for providing improvements in the civil construction. This process allows an increase of performance in construction enterprises in terms of cost, term, quality and safety. In spite of receiving such attention, few analyses were made about both the impact of the process' enforcement and the elements that affect its efficiency. Thus, the following research intends to present a comparison of the data obtained between long-term planning, budgeting stage of the enterprise, and short-term planning, execution stage of the enterprise, in six work sites located in the state of Minas Gerais. Those sites were divided into two groups (Group 01 – Earthworks and Group 02 – Paving/Accesses). The following work intends to evaluate the performance of the planning of industrial sites based on the indicators of deviation of cost, time and rhythm. Therefore, analyses of statistics, characteristics and behavior of each site are made. These analyses look to verify the existence of meaningful differences among the calculated indicators both in a general way and within the study groups. Correlation analyses between the indicators are developed as well as simple and multiple linear regressions. It was found a direct relation between the variables involved in the study and the influence of each indicator in the behavior of the other. The main conclusions indicate the importance of planning and control of production in the performance, efficiency and effectiveness of the enterprises.

Keywords: Indicator. Performance. Cost. Term. Industrial civil sites .

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – O processo de planejamento e produção.	11
Figura 3.2 – O processo de planejamento e produção.	19
Figura 4.1 – Etapas de desenvolvimento da pesquisa.....	30
Figura 4.2 – Relatório sintético mensal.....	31
Figura 5.1 – Histograma de Desvio de custo.....	43
Figura 5.2 – Gráfico <i>boxplot</i> do indicador DC por obra.....	45
Figura 5.3 – Gráfico <i>boxplot</i> do DC para os grupos de obra.....	46
Figura 5.4 – Histograma de Desvio de prazo.....	49
Figura 5.5 – Gráfico <i>boxplot</i> do indicador DP por obra.....	51
Figura 5.6 – Gráfico <i>boxplot</i> do DP para os grupos de obra.....	53
Figura 5.7 – Histograma de Desvio de ritmo.....	55
Figura 5.8 – Gráfico <i>boxplot</i> do indicador DR por obra.....	57
Figura 5.9 – Gráfico <i>boxplot</i> do DR para os grupos de obra.....	58
Figura 5.10 – Gráfico do DC ao longo do período analisado para a obra 2.....	62
Figura 5.11 – Gráfico do DP ao longo do período analisado para a obra 3.....	64
Figura 5.12 – Gráfico do DR ao longo do período analisado para a obra 3.....	64
Figura 5.13 – Gráfico do DP ao longo do período analisado para a obra 4.....	65
Figura 5.14 – Gráfico do DR ao longo do período analisado para a obra 4.....	66
Figura 5.15 – Gráfico do DC ao longo do período analisado para a obra 4.....	67
Figura 5.16 – Gráfico do DP ao longo do período analisado para a obra 5.....	68
Figura 5.17 – Gráfico do DR ao longo do período analisado.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Valores médios de DC encontrados em outros estudos	17
Tabela 3.2: Valores médios de DP encontrados em outros estudos.....	19
Tabela 5.1 – Resumo da análise descritiva dos indicadores	40
Tabela 5.2 – Resumo da análise descritiva dos indicadores do Grupo 1	41
Tabela 5.3 – Resumo da análise descritiva dos indicadores do Grupo 2.....	42
Tabela 5.4 – Resumo da classificação para as faixas de valores do histograma para o DC	44
Tabela 5.5 – Resumo da análise estatística por obra para o DC.....	44
Tabela 5.6 – Resumo dos resultados do teste Kruskal-Wallis para o DC	47
Tabela 5.7 – Resumo dos resultados do teste Mann-Whitney para o DC.....	48
Tabela 5.8 – Resumo da classificação para as faixas de valores do histograma para o DP	50
Tabela 5.9 – Resumo da frequência encontrada para a faixa entre 7 e 8 para o DP	50
Tabela 5.10 – Resumo da análise estatística por obra - DP	51
Tabela 5.11 – Resumo dos resultados do teste Kruskal-Wallis para o DP	53
Tabela 5.12 – Resumo dos resultados do teste Mann-Whitney para o DP	54
Tabela 5.13 – Resumo da classificação para as faixas de valores do histograma para o DR.....	55
Tabela 5.14 – Resumo da frequência encontrada para a faixa entre 1 e 2 para o DR.....	56
Tabela 5.15 – Resumo da análise estatística por obra para o DR	56
Tabela 5.16 – Resumo dos resultados do teste Kruskal-Wallis para o DR	59
Tabela 5.17 – Resumo dos resultados do teste Mann-Whitney para o DR.....	59
Tabela 5.18 – Resumo dos resultados do teste Kruskal-Wallis para o DC, excluindo a obra 2.....	61
Tabela 5.19 – Resumo dos resultados do teste Mann-Whitney para o DC, excluindo a obra 2.....	61

Tabela 5.20 – Resumo dos testes de correlação entre as variáveis	69
Tabela 5.21 – Resumo dos testes de regressão entre as variáveis DC e DP	70
Tabela 5.22 – Resumo dos testes de regressão entre as variáveis DC e DR	70
Tabela 5.23 – Resumo dos testes de regressão entre as variáveis DP e DR	71
Tabela 5.24 – Resumo dos testes de regressão entre os três indicadores – DC variável dependente	72
Tabela 5.25 – Resumo dos testes de regressão entre os três indicadores – DP variável dependente	72
Tabela 5.26 – Resumo dos testes de regressão entre os três indicadores – DR variável dependente	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 – Critérios para definição dos indicadores de desempenho	16
Quadro 5.1 – Resumo dos indicadores das obras para o DP e o DC	39
Quadro 5.2 – Resumo dos indicadores das obras para o DR.....	39
Quadro 5.3 – Resumo da classificação do DC por obra	45
Quadro 5.4 – Resumo da classificação do DP por obra, segundo a média	52
Quadro 5.5 – Resumo da classificação do DR por obra, segundo a média	57
Quadro 5.6 – Resumo dos testes estatísticos realizados	60
Quadro 5.7 – Resumo dos resultados encontrados para cada indicador, por obra, segundo a média.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PCP – Planejamento e Controle da Produção

PPC – Percentual de Pacotes Concluídos

DC – Desvio de Custo

DP – Desvio de Prazo

DR – Desvio de Ritmo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVO.....	5
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1	Planejamento e Controle da Produção	6
3.2	Medição de Desempenho e Indicadores de Gestão.....	13
3.3	Desvio de Custo (DC).....	15
3.4	Desvio de Prazo (DP).....	18
3.5	Desvio de Ritmo (DR).....	19
3.6	Análise estatística.....	20
3.7	Análise de Correlação	24
3.8	Análise de Regressão.....	25
4	METODOLOGIA.....	28
4.1	Detalhamento da pesquisa	28
4.2	Fluxograma e Etapas da Pesquisa	29
4.2.1	Etapa 01 – Levantamento de dados.....	30
4.2.2	Etapa 02 – Escolha das variáveis e Formulação das hipóteses	32
4.2.3	Etapa 03 – Análise dos dados e das hipóteses	33
5	RESULTADOS	38
5.1	Caracterização das variáveis.....	38
5.2	Análise estatística.....	40
5.2.1	Desvio de Custo.....	42

5.2.1.1	Testes estatísticos para o Desvio de Custo	47
5.2.2	Desvio de Prazo.....	48
5.2.2.1	Testes estatísticos para o Desvio de Prazo	52
5.2.3	Desvio de Ritmo.....	54
5.2.3.1	Testes estatísticos para o Desvio de Ritmo	59
5.3	Resumo dos resultados	60
5.4	Análise das obras	62
5.4.1	Resultados divergentes.....	63
5.4.1.1	Obra 3	63
5.4.1.2	Obra 4	65
5.4.1.3	Obra 5	67
5.5	Análise de correlação e regressão.....	69
5.5.1	Análise de correlação.....	69
5.5.2	Análise de regressão	70
6	CONCLUSÕES	74
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
	APÊNDICE A – Resultados das obras	80
	APÊNDICE B – Relação dos indicadores calculados para as obras.....	92
	APÊNDICE C – Relação dos indicadores na escala transformada para as obras	94

1 INTRODUÇÃO

Desde o começo da década de 90, um novo referencial teórico vem sendo construído para remodelar a gestão de processos na construção civil. O desenvolvimento deste referencial tem se dado a partir da adaptação de alguns conceitos e princípios gerais da gestão da produção às peculiaridades do setor. Segundo Coelho (2003), a adaptação de princípios e teorias de outros ramos industriais tem sido constante na construção civil. Algumas grandes evoluções têm sido fruto deste esforço como a pré-fabricação de componentes com a posterior montagem. Nesse contexto, o planejamento e controle de produção tem-se destacado como uma atividade fundamental para o sucesso de qualquer empreendimento tanto na etapa da concorrência quanto no início e durante todo o período da obra, pois assegura, com base nas premissas assumidas, uma probabilidade favorável de ocorrer os resultados esperados. Como consequência, a produção vem assumindo um papel cada vez mais estratégico na determinação do grau de competitividade das empresas construtoras, assim como no setor como um todo.

Para Laufer e Tucker (1987), o planejamento e controle da produção (PCP) cumpre papel fundamental para que seja alcançado êxito na coordenação entre as várias entidades participantes de um empreendimento. Para esses mesmos autores, o planejamento é necessário em função de diversos fatores:

- a) facilita a compreensão dos objetivos do empreendimento, aumentando, assim, a probabilidade de atendê-los;
- b) define todos os trabalhos exigidos para habilitar o empreendimento e planejar sua parcela de trabalho;
- c) desenvolve uma referência básica para os processos de orçamento e programação;

- d) evita decisões errôneas para projetos futuros, através da análise do impacto das decisões atuais;
- e) aumenta a velocidade de resposta para mudanças futuras;
- f) fornece padrões para monitorar, revisar e controlar a execução do empreendimento.

Percebe-se que o PCP é considerado extremamente importante para o desempenho da empresa de construção, mas, normalmente, não é conduzido da forma correta de modo que cumpra todas suas funções e potencialidades. Nesse contexto, Formoso *et al.* (2005) descreve a necessidade de as empresas realizarem monitoramento, controle, avaliação e a melhoria contínua dos seus sistemas de gestão. Em função disto, muitas empresas construtoras têm dado maior importância para o desenvolvimento e implementação de sistemas de medição de desempenho pois, esses fornecem informações essenciais para o planejamento e controle dos processos gerenciais, possibilitando, ainda, o monitoramento e o controle dos objetivos e metas estratégicas.

Neste trabalho pretende-se apresentar uma análise dos dados obtidos com a implantação de dois níveis de planejamento, longo prazo (realizado na etapa de orçamentação da obra) e curto prazo (realizado na etapa de execução da obra), em seis obras de uma empresa de construção civil no estado de Minas Gerais. Será realizada uma análise comparativa entre os dois planejamentos, para verificar a eficácia do planejamento, realizado na etapa de orçamentação, em cumprir as metas previstas de custo, prazo e o avanço físico do empreendimento. As obras em estudo serão classificadas em dois grupos, Grupo 1 - Terraplenagem e Grupo 2 - Pavimentação/Acesso, sendo analisadas três obras em cada grupo.

Serão avaliados o desempenho do planejamento das obras comerciais com a utilização dos indicadores de desvio de custo, desvio de prazo e desvio de ritmo, uma vez que, esses indicadores visam monitorar a aderência entre o planejamento de longo prazo e o planejamento de curto prazo realizado para as obras, ou seja,

relacionam o impacto da eficácia do planejamento no resultado dos empreendimentos em termos de custo, prazo e avanço físico.

Pôde-se constatar na bibliografia a escassez de estudos de caráter quantitativo que evidenciassem os impactos do emprego dos novos princípios da gestão da produção ou que apontassem, de forma mais contundente, os fatores que afetam o sucesso da sua implementação. Um exemplo de trabalho que visa analisar quantitativamente o impacto de sistemas de PCP no desempenho de empreendimentos foi efetuado por Bortolazza (2006). O trabalho propõe uma série de contribuições para os processos de coleta e análise de dados que permitam avaliar o impacto do sistema de PCP no desempenho de empreendimentos de construção civil, assim como identificar algumas dificuldades de implementação.

Na tentativa de comparar os benefícios de uma melhor eficácia dos planos com os objetivos do empreendimento, Bortolazza (2006), realizou uma série de análises envolvendo o percentual de pacotes concluídos (PPC), causas de não cumprimento de pacotes de trabalho e outras variáveis como, por exemplo, desvio de custo (DC) e desvio de prazo (DP). Os resultados dessas análises foram satisfatórios, obtendo valores de aproximadamente 70% na explicação do PPC semanal (BORTOLAZZA, 2006). No entanto, o referido autor apontou para a necessidade de dar continuidade a esse tipo de análise, principalmente no que se refere ao impacto da eficácia do planejamento no resultado dos empreendimentos em termos de custo, prazo, qualidade e satisfação do cliente.

Dessa forma, pretende-se continuar o trabalho iniciado por Bortolazza (2006), buscando investigar a possível relação entre a eficácia do sistema de planejamento e controle da produção e o desempenho do empreendimento, quanto a metas de custo, prazo e avanço físico.

Para cumprir os objetivos, o trabalho será estruturado nos seguintes capítulos: no capítulo um é realizada a introdução ao tema; o capítulo dois será destinado aos objetivos; no três será apresentado uma revisão bibliográfica sobre planejamento e controle da produção, bem como sobre os indicadores utilizados; o capítulo quatro

descreverá detalhadamente o método utilizado na pesquisa, incluindo a estratégia, o delineamento da mesma e a descrição das etapas realizadas; o quinto capítulo contemplará os resultados das análises realizadas; o sexto capítulo será composto pelas conclusões e sugestões para futuros trabalhos.

2 OBJETIVO

O objetivo geral do presente trabalho consiste em contribuir para a consolidação e refinamento de indicadores que pretendem quantificar e compreender a eficácia do planejamento na construção civil de empreendimentos comerciais. Além disso busca-se 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. Foram também definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) analisar comparativamente o planejamento de longo prazo, comparando-se o planejado e o executado de algumas obras comerciais, para verificar a eficácia do planejamento, realizado na etapa de orçamentação, em cumprir as metas previstas de custo, prazo e avanço físico do empreendimento;
- b) verificar a existência de relação entre os indicadores de desvios de custo, prazo e ritmo;
- c) estabelecer os principais motivos para a diferença ou não do planejamento de longo prazo e a execução para obras comerciais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo faz-se uma revisão bibliográfica sobre o tema planejamento e controle da produção, bem como uma discussão sobre esse processo no contexto da construção civil. Também será realizada uma revisão a respeito de indicadores de desempenho, em especial sobre os indicadores utilizados para analisar os dados coletados das obras comerciais, e da análise estatística realizada neste trabalho.

3.1 Planejamento e Controle da Produção

Segundo Pereira Filho *et al.* (2004), o processo produtivo é a transformação de insumos em produtos, no entanto o resultado final nem sempre é igual ao que foi projetado. Isso ocorre porque, em todo processo produtivo, existe uma série de condições necessárias para o alcance das características especificadas, as quais podem variar desde temperaturas, umidade, especificações de matérias-primas, tempo de processamento, tipo de equipamento, qualidade da mão de obra, entre outras, até o fornecimento em tempo hábil destas condições.

Segundo Pereira Filho *et al.* (2004, p. 2):

Planejar a produção pode ser entendido como a antecipação de todos os fatores que concorrem à transformação intencional de insumos em produtos, assim como das consequências deste processo. Em um processo construtivo, são envolvidos inúmeros fatores que precisam ser administrados da mesma forma que qualquer outro tipo de produção. Assim, a utilização do planejamento e controle da produção aumenta a probabilidade das metas da empresa serem atingidas. No entanto, em muitos casos, as ferramentas do PCP são mal utilizadas ou ineficientes, desperdiçando o potencial produtivo das empresas.

Para Marchesan (2001), o processo produtivo na construção civil acaba sendo conduzido por planos informais, elaborados pelos executores da obra que, muitas vezes, são diferentes dos planos formais. Observa-se que existe um descompasso entre os encarregados pelo planejamento e os responsáveis pela execução da obra, logo os planos podem apresentar incompatibilidades com a situação real da

execução. Outro fato é que quando os planos não são controlados, terminam não sendo utilizados e descartados no escritório da obra.

Mesmo que as preocupações principais das empresas da construção civil sejam o cumprimento de prazos e orçamentos, se não houver um planejamento e controle da produção eficiente, torna-se muito difícil cumprir tais contratos, porque certamente as condições previstas não ocorrerão.

Laufer e Tucker (1987) sugeriram representar o processo de PCP em duas dimensões: horizontal e vertical. Na primeira delas, são descritas as cinco etapas do PCP - preparação do planejamento e controle, coleta de dados, elaboração dos planos, difusão das informações e avaliação do PCP.

Na primeira etapa, preparação do processo de planejamento, são estabelecidas as fases deste processo, os ciclos de controle, os horizontes de tempo, os níveis de detalhes e de controle dos planos (LAUFER; TUCKER, 1987).

Na segunda etapa, ocorre a coleta das informações, isso requer tempo, habilidade, esforço e competência, pois devem ser analisados contratos, restrições, especificações técnicas, plantas, tecnologias construtivas, disponibilidade e custos de recursos, condições do canteiro e ambientais, equipamentos a serem utilizados, metas e dificuldades comunicadas pela alta gerência (AKKARI, 2003). Além disso, durante o desenvolvimento do empreendimento, os trabalhos das equipes devem ser acompanhados e os dados sobre a produtividade documentados (LAUFER; TUCKER, 1987).

Durante a etapa de elaboração de planos, os dados reunidos na etapa anterior são analisados e servem de base para a elaboração de novos planos. Para isso pode-se utilizar técnicas de planejamento tais como diagrama de Gantt, técnicas de rede, entre outras (AKKARI, 2003).

Após a difusão das informações e implementação de planos, deve existir uma retroalimentação, a qual irá servir como base para preparação de planos futuros,

bem como para a elaboração de relatórios para avaliação do desempenho do empreendimento (FORMOSO, 1991).

A avaliação do planejamento e controle consiste na análise do desempenho deste processo, bem como a identificação de melhorias para outros ciclos de planejamento dentro de um mesmo empreendimento, quando o seu período de execução for longo, ou em obras futuras (FORMOSO *et al.*,1999).

A primeira e a última etapa do processo de planejamento têm caráter intermitente, isto é, ocorrem em períodos específicos da empresa construtora, seja por ocasião do lançamento de novos empreendimentos, término da construção, ou de alguma etapa importante da obra. As etapas intermediárias, no entanto, são realizadas contínua e repetidamente ao longo de toda etapa de produção (LAUFER; TUCKER, 1987).

Na dimensão vertical do planejamento o processo é hierarquizado, sendo vinculado a distintos níveis gerenciais de uma organização. Cada nível possui uma função específica no processo, principalmente no que tange a disponibilização e alocação de recursos na produção (HOWELL; BALLARD, 1996).

Segundo Hopp e Spearman (1996), são considerados, de acordo com o tempo e escopo das decisões, três níveis:

a) Nível estratégico, no qual são definidos o escopo e as metas do empreendimento a serem alcançados em determinado intervalo de tempo (SHAPIRA; LAUFER, 1993). As decisões tomadas nesse nível estão relacionadas a questões de longo prazo tais como: o quê e onde produzir, como financiar e vender a produção; onde obter os materiais e como operacionalizar e conduzir a produção. O nível estratégico deve criar um ambiente capaz de alcançar os objetivos definidos para um determinado projeto, planejando a capacidade e local da produção e a força de trabalho, com base em previsões (HOPP; SPEARMAN,1996).

b) Nível tático, no qual são enumerados os meios (recursos) e suas limitações para que essas metas sejam alcançadas. Segundo Davis e Osion (1987), o planejamento tático refere-se à aquisição e organização de recursos, elaboração de uma lista de pacotes de trabalho, além de recrutamento e treinamento de pessoal. Esse nível relaciona as decisões a um período de tempo intermediário, entre o longo e o curto prazo. Decide-se o que deve ser produzido, quem vai trabalhar na produção e quais ações devem ser conduzidas para realizar a manutenção dos equipamentos, o estabelecimento das quantidades de trabalho a ser realizado, bem como a sua programação e sequência em períodos pré-determinados. Essas decisões precisam estar dentro dos limites estabelecidos no nível estratégico (HOPP; SPEARMAN, 1996).

c) Nível operacional, o qual refere-se à seleção dos cursos das ações através das quais as metas são alcançadas (LAUFER; TUCKER, 1987). Nesse nível, leva-se em consideração a designação dos trabalhos para as equipes, o controle do processo e reparos em equipamentos. Uma detalhada programação da produção é preparada para controlar a produção em um curto prazo (HOPP; SPEARMAN, 1996).

Está é uma divisão típica, proposta por vários autores, mas a sua utilização não é obrigatória quando se pretende implantar o planejamento. Pode haver o desdobramento em um número diferente de níveis hierárquicos (FORMOSO *et al.*, 1999).

Assim, todo resultado proveniente do sistema de planejamento e controle da produção se transforma em conhecimento, quando é avaliado corretamente; caso contrário, não proporciona o diagnóstico da real condição da produção.

Para cumprir os objetivos que o planejamento se propõe, é necessária a sua realização em conjunto com o controle (LAUFER; TUCKER, 1987). Segundo Akkari (2003), o controle está relacionado com o acompanhamento do desempenho das atividades para que se tenha uma visão realista das mesmas, partindo-se de medições efetuadas durante o seu desenvolvimento. Além disso, faz parte do

controle a realização de ações corretivas, quando necessário, e não somente o acompanhamento da evolução dos trabalhos (AKKARI, 2003). As medições auxiliam no processo de tomada de decisão, estabelecendo prioridades, apontando desvios e contribuindo para previsões mais realistas (HARRINGTON, 1993). O nível de controle dedicado a um empreendimento depende do seu porte, da sua complexidade, do grau de incerteza e do estágio em que este se encontra em relação à sua conclusão (COHENCA *et al.*, 1989; FANIRAN *et al.*, 1994).

O controle é necessário para que o gerente mantenha sua atuação em três tipos de riscos (LAUFER *et al.*, 1994):

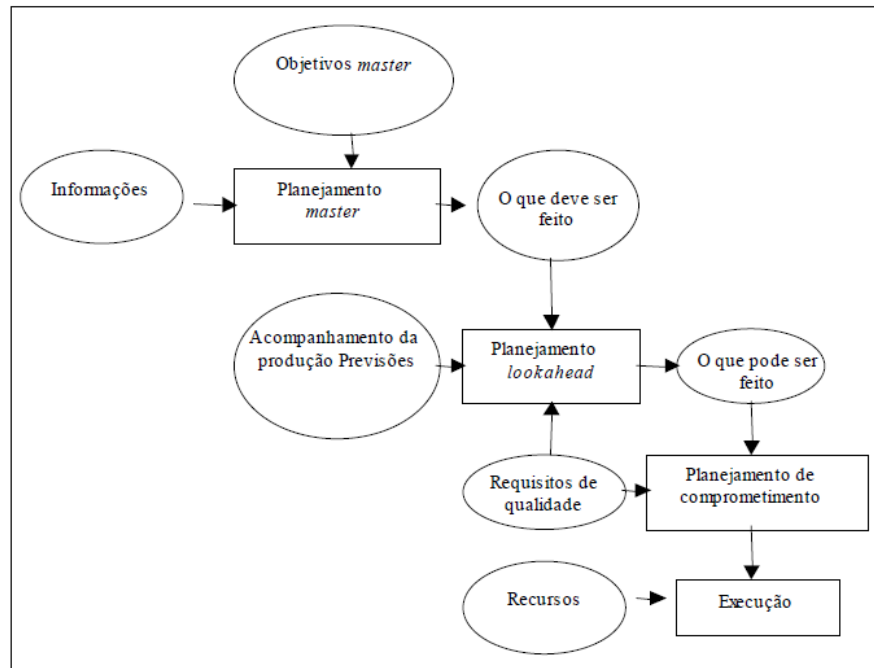
- a) risco conceitual – resultado de uma formulação imperfeita de um problema;
- b) risco gerencial – resultado de uma falha da administração ao implementar a solução de algum problema;
- c) risco ambiental – resultado de uma mudança ambiental não prevista, podendo ocasionar desvios até mesmo em planos bem formulados.

Howell e Ballard (1997) propõem a divisão do processo de planejamento da produção na construção civil em três níveis: planejamento máster, planejamento *lookahead* e planejamento de comprometimento (Figura 3.1). Os dois primeiros têm um caráter tático e o último operacional.

O planejamento máster ou a longo prazo deve estabelecer datas marco, indicando início e fim de grandes etapas da obra, tais como: conclusão da infraestrutura, conclusão da estrutura, início da alvenaria (FORMOSO *et al.*, 1999). O planejamento de longo prazo da produção pode ser realizado através da utilização de diferentes técnicas de planejamento e programação tais como: gráficos de Gantt, redes de precedência e linha de balanço. A programação resultante deste nível do planejamento é um plano mestre que contém de forma geral todo o trabalho que será realizado na obra, no qual aparecem os grandes grupos de pacotes de

trabalho (TOMMELEIN; BALLARD, 1997). Nesse nível também são definidos os ritmos de execução e a estratégia de ataque à obra.

Figura 3.1 – O processo de planejamento e produção.



Fonte: HOWELL; BALLARD, 1997, p. 7.

O planejamento *lookahead* ou de médio prazo compõe uma das etapas do Método *Last Planner* (BALLARD, 2000). É elaborado para permitir que o administrador possa identificar quais os trabalhos que deverão ser realizados nas próximas semanas (normalmente quatro a seis semanas), tomar as providências necessárias para que os mesmos possam ser executados ou realizar uma programação daqueles que não estão prontos para serem conduzidos (BALLARD, 1997). Esse plano tem um caráter móvel, ou seja, a cada semana inclui-se uma nova semana no horizonte de planejamento em questão e, o plano referente à semana atual serve de base para preparação do plano de comprometimento. Nesse nível de planejamento, são preparados os pacotes de trabalho, os quais definem uma determinada quantidade de trabalho a ser realizada com base em informações de projeto e recursos (CHOO *et al.*, 1999).

No planejamento de curto prazo, também chamado de planejamento de comprometimento, faz-se a designação dos pacotes de trabalhos às equipes da produção, informando-as onde as tarefas devem ser conduzidas e disponibilizando

materiais, ferramentas e equipamentos necessários para a execução destas (TOMMELEIN; BALLARD, 1997). O horizonte de tempo adotado nesse nível é, em geral, considerado em dias ou semanas, o que não impede que seja elaborado para períodos diferentes.

Ballard e Howell (1997) propõem os seguintes requisitos para que se possam elaborar planos com qualidade. São eles:

- a) Definição: os pacotes de trabalho devem estar suficientemente especificados em relação à ação, aos componentes ou aos materiais, sendo possível identificar claramente a sua conclusão ou não, ao término do período;
- b) Disponibilidade: os recursos necessários devem estar disponíveis quando os mesmos forem solicitados;
- c) Sequenciamento: os pacotes de trabalho devem ser selecionados, observando a construtibilidade da obra e dentro de uma ordem necessária, para garantir a continuidade das tarefas desenvolvidas por outras equipes de produção;
- d) Tamanho: o tamanho dos pacotes designados para a semana deve corresponder à capacidade produtiva de cada equipe de trabalho;
- e) Aprendizagem: para os pacotes de trabalho que não forem concluídos, as reais causas do atraso devem ser analisadas, de forma a estabelecer as ações corretivas necessárias, assim como identificar os pacotes de trabalho passíveis de serem atingidos.

Esses requisitos visam a proteger a produção de um fluxo de trabalho incerto. Falhas neste fluxo podem ocasionar atrasos na produção, decorrente de esperas ou procura de recursos, com múltiplas paradas e inícios, levando a uma sequência ineficiente (BALLARD, 1999).

3.2 Medição de Desempenho e Indicadores de Gestão

A medição de desempenho é vista tradicionalmente, segundo Neely *et al.* (1996), 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 (NEELY *et al.*, 1994).

Segundo Crowther (1996), 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. Segundo Sink e Tuttle (1993), toda atividade que ocorre numa empresa deveria focar em dois objetivos: realizar o trabalho e melhorar o desempenho.

Conforme Sink e Tuttle (1993) a razão pela qual deve se medir o desempenho é a busca da melhoria dos processos e segundo Crowther (1996) essa medição é necessária para o processo de controle e, por isso, as medidas utilizadas para esse propósito devem ser apropriadas, de forma a poder-se monitorar se o processo está acontecendo de acordo com o previsto.

Nesse sentido, segundo a Equipe de Planejamento Estratégico (2011, p. 1):

Os indicadores são instrumentos de gestão essenciais nas atividades de monitoramento e avaliação das organizações, assim como seus projetos, programas e políticas, pois permitem acompanhar o alcance das metas, identificar avanços, melhorias de qualidade, correção de problemas, necessidades de mudança etc. Pode-se dizer que os indicadores possuem, minimamente, duas funções básicas: a primeira é descrever por meio da geração de informações o estado real dos acontecimentos e o seu comportamento; a segunda é de caráter valorativo que consiste em analisar as informações presentes com base nas anteriores de forma a realizar proposições valorativas.

Ainda segundo a Equipe de Planejamento Estratégico (2011), os indicadores possuem os seguintes objetivos: mensurar os resultados e gerir o desempenho;

embasar a análise crítica dos resultados obtidos e do processo de tomada decisão; contribuir para a melhoria contínua dos processos organizacionais; facilitar o planejamento e o controle do desempenho; e viabilizar a análise comparativa do desempenho da organização.

Segundo Venki (2015, p. 1):

Indicadores de desempenho de processos são usados para o monitoramento das atividades da empresa. Isto é: rastrear e seguir o andamento do processo, coletando informações relevantes e disponibilizando-as de forma acessível para que os gestores estudem e tomem as decisões corretas, trazendo eficiência e eficácia aos processos e, conseqüentemente, resultados positivos para a empresa. Portanto, indicadores de desempenho de processos são extremamente importantes para a gestão de um processo. Eles trazem à tona as informações necessárias para que se possa analisar os processos com o objetivo de melhorá-los continuamente para o atingimento dos objetivos corporativos estratégicos.

Segundo Lantelme e Lima (2005) existem três passos para a implementação dos indicadores: coleta, processamento e avaliação. “O planejamento da coleta de dados deve ser realizado buscando-se reduzir os custos e simplificando o processo de coleta” (LANTELME; LIMA, 2005, p. 1). Segundo os autores, devem ser levados em consideração dados já disponíveis nas empresas, elaboração das planilhas de coleta de acordo com a realidade da empresa, adequada documentação dos dados, treinamento das pessoas envolvidas no processo, rotinização do processo de coleta.

Conforme Lantelme e Lima (2005):

As principais diretrizes para o processamento referem-se à forma de representação da informação a fim de torná-la acessível e de fácil compreensão e análise para as várias pessoas interessadas (LANTELME e LIMA, 2005, p. 1). A avaliação deve privilegiar a análise sistêmica dos resultados, ou seja, deve-se buscar entender as relações de causa e efeito entre as variáveis que influenciam os seus resultados, e não somente buscar justificativas ou culpados (LANTELME e LIMA, 2005, p. 2).

Vários autores (AHMAD & DHAFR, 2002; HRONEC, 1994; NEELY *et al.*, 1996) têm-se preocupado em definir critérios de concepção e seleção dos indicadores de desempenho eficientes e eficazes do ponto de vista da gestão estratégica. Estes autores sugerem que os indicadores de desempenho devem ser transparentes, úteis, fáceis de serem implementados, simples de entender, terem impacto visual, terem foco na melhoria, terem baixo custo, estarem relacionados com a estratégia da organização e os seus objetivos.

Dentro desse contexto, Neely *et al.* (1997) apontam dez (10) critérios, conforme Quadro 3.1, para a definição dos indicadores de desempenho, apresentando os principais elementos para sua definição, bem como um conjunto de recomendações.

Segundo Costa (2003), a definição dos indicadores envolve o estabelecimento de procedimentos de coleta de dados, fórmula, duração do ciclo de controle e definição dos responsáveis pela coleta e análise dos dados. Com base nesta definição, os indicadores precisam ter consistência entre o objetivo e a informação fornecida. Os indicadores de desempenho que serão discutidos neste trabalho são os relativos ao custo, prazo e ritmo, apresentados nos itens 3.3, 3.4 e 3.5.

3.3 Desvio de Custo (DC)

“O desvio de custo (DC) é uma medida de variação do custo 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” (MOURA, 2008, p. 50).

Tradicionalmente a variação do custo é monitorada através da curva-S (TURNER, 1993). Normalmente se produzem duas curvas, a dos custos planejados e a dos realizados, permitindo a comparação entre ambas (TURNER, 1993; LIMMER, 1997). Da curva-S podem ser extraídos, segundo Limmer (1997) e Kenley (2003), os valores do custo orçado e do custo real.

Segundo Mattos (2010), a Curva-S também é conhecida como curva Previsto versus Realizado, ou seja, demonstra o desenvolvimento do projeto do começo ao fim. Uma característica comum em projetos de engenharia é que o trabalho nas fases iniciais é consideravelmente menor do que o realizado nas fases intermediárias. Por isso, os valores acumulados resultam em um gráfico no formato da letra “S”.

Quadro 3.1 – Critérios para definição dos indicadores de desempenho

Elemento da medida	Recomendações para a definição da medida
Título	Fácil compreensão Estar claramente definido Ser autoexplicativo
Finalidade	Ter relevância Ter finalidade explícita
Relação com o objetivo do negócio	Ser derivado da estratégia Estar relacionado com metas específicas Ter relevância Focar melhoria
Meta	Ter finalidades explícitas Fazer parte do ciclo de revisão da gerência Focar na melhoria Fornecer informação relevante
Fórmula	Ser simples Refletir o processo a ser medido Estar claramente definida Adotar taxas relativas ao invés de números absolutos Representar exatamente o que está a ser medido
Frequência da medição	Fornecer retroalimentação em tempo adequado e com confiabilidade Ser reportado num formato simples e consistente Fornecer informações
Responsável pelo recolhimento	Ter relevância Usar dados que são automaticamente recolhidos
Fontes dos dados	Basear-se numa fórmula Ser explicitamente definidas Adotar taxas ao invés de números absolutos Ser simples e consistente
Responsável pela análise dos dados	Estar relacionado com metas específicas Ter impacto visual Fornecer informações relevantes
Diretrizes para análise	Estar relacionados com metas específicas Ter impacto visual Fornecer informações relevantes

Fonte: NEELY *et al.*, 1997 e BARROS, 2017 (adaptado).

Turner (1993 *apud* MOURA, 2008) 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 planejado.

$$DC = \frac{(CustoReal - CustoOrçado)}{CustoOrçado} \times 100\% \quad (1)$$

Segundo Turner (1993), os indicadores apresentam algumas limitações, por exemplo, quando se considera os valores de custos apenas para as despesas, ou seja, quando os indicadores mostram apenas a relação existente entre o que foi gasto e o que se planejava gastar num determinado período. Isso não significa que dentro do valor gasto tenha sido realizado o trabalho previsto (TURNER, 1993). Segundo Turner (1993), num caso extremo, poderia haver nenhum trabalho feito e, mesmo assim, terem-se acumulado despesas.

Analisando-se estudos realizados por outros autores, elaborou-se a Tabela 3.1, onde foram listados os valores médios de DC encontrados para obras do tipo residencial na escala real e na escala transformada e a faixa de valores encontrados para o indicador, na escala real.

Tabela 3.1: Valores médios de DC encontrados em outros estudos

DC médio – Escala transformada	DC médio – Escala real	Faixa de variação do DC (Escala real)	Autor
4,05	- 0,07%	-100,00% a 17,16%	Moura (2008)
4,15	5,32 %	-27,09% a 10,12%	Pereira (2017)

Fonte: Elaborado pela autora.

3.4 Desvio de Prazo (DP)

“O desvio de prazo (DP) é uma medida de variação do prazo e tem por objetivo principal o monitoramento do andamento da obra, comparando-se o prazo previsto e o prazo efetivo” (MOURA, 2008 p. 51). O índice de desempenho dos prazos pode ser calculado pela razão entre a variação dos prazos e o prazo previsto (TURNER, 1993 *apud* MOURA, 2008), segundo a equação (2):

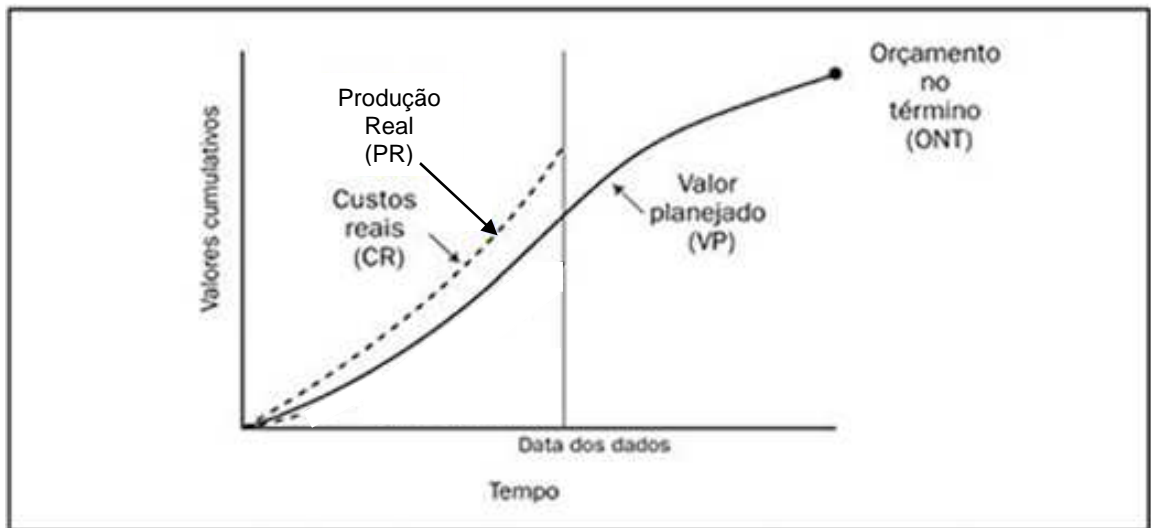
$$DP = \frac{(PrazoReal - PrazoPrevisto)}{PrazoPrevisto} \times 100\% \quad (2)$$

Segundo Turner (1993), através das mesmas curvas-S utilizadas para calcular a variação de custo, podem-se extrair os valores de prazo real e prazo previsto. No gráfico que compara custo e prazo são traçadas duas curvas: a linha de base (que representa o custo planejado do trabalho previsto) e a linha que indica o custo real do trabalho completado, conforme Figura 3.2. Através da posição relativa entre essas linhas podem-se identificar quatro possíveis situações para um empreendimento:

- a) adiantado e com custo aquém do previsto;
- b) adiantado e com custo além do previsto;
- c) atrasado e com custo aquém do previsto;
- d) atrasado e com custo além do previsto.

Conforme Moura (2008), a simples comparação do custo e do prazo, em determinado momento de um empreendimento, à sua linha base (custo e prazo previstos) não produz informações conclusivas. As informações de valor que podem ser extraídas da curva-S são aquelas em que se compara custo e prazo reais em relação ao trabalho executado, ou seja, ao avanço físico da obra, representado pela linha de custo real do trabalho completado.

Figura 3.2 – Curva-S do processo de planejamento e produção.



Fonte: RODRIGUES, 2015 (adaptado).

Analisando-se estudos realizados por outros autores, elaborou-se a Tabela 3.2, onde foram listados os valores médios de DP encontrados para obras do tipo residencial na escala real e na escala transformada e a faixa de valores encontrados para o indicador, na escala real.

Tabela 3.2: Valores médios de DP encontrados em outros estudos

DP médio – Escala transformada	DP médio – Escala real	Faixa de variação do DP	Autor
9,27	1,42%	-45,83% a 600,00%	Moura (2008)
6,23	9,42%	0,00% a 25,00%	Pereira (2017)

Fonte: Elaborado pela autora.

3.5 Desvio de Ritmo (DR)

Segundo Costa (2003), o desvio de ritmo (DR) indica possíveis atrasos das atividades com relação ao planejado, devido à queda de ritmo da obra. Já “o avanço físico é o avanço real do projeto em um determinado período comparado com o avanço planejado para o mesmo período. Tanto o avanço real como o planejado são dados em percentual de execução das atividades” (PEREIRA, 2010, p. 1).

Dessa forma, o DR pode ser calculado conforme sugerido por Costa (2003), na equação (3):

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

Onde, P_{ex} é a percentagem (%) de execução real da atividade, ou seja, avanço físico real; P_{pl} é a percentagem (%) de execução planejada, ou seja, avanço físico planejado. Assim, o DR pode ser obtido por meio da razão entre o avanço físico real e o avanço físico planejado, de acordo com a equação (4):

$$DR = \frac{AF \text{ real}}{AF \text{ planejado}} \times 100\% \quad (4)$$

3.6 Análise estatística

Segundo Lantelme e Lima (2005), a coleta de dados representa apenas a etapa inicial de uma análise estatística, a qual busca transformá-los em um conjunto de medidas significativas, validando a pesquisa científica.

Diversas medidas podem ser usadas para descrever um conjunto de dados, entre elas: média e mediana (medidas de tendência central); desvio padrão, coeficiente de variação, mínimo e máximo (medidas de variabilidade). De acordo com Levin *et al.* (2012), tais medidas podem ser definidas como:

a) mediana: é o “ponto do meio” em uma distribuição. É a medida de tendência central que separa a distribuição em duas partes iguais;

b) média: é a soma de um conjunto de valores dividida pelo número total de valores no conjunto;

c) desvio padrão: é uma medida de variabilidade obtida somando-se os quadrados dos desvios em relação à média, dividindo-se pelo número total de valores e tomando-se a raiz quadrada, ou seja, é a raiz quadrada da variância. Em termos práticos, essa medida informa a distância média de cada valor com relação à média,

em outras palavras, informa o quanto de variação existe com relação à média. Valores altos para o desvio padrão indicam dados dispersos entre diversos valores. Já valores baixos indicam que os dados tendem a estar próximos da média;

d) coeficiente de variação: é uma medida de variabilidade obtida dividindo-se o desvio padrão pela média e multiplicando por 100. Dessa forma, é uma medida que expressa a variabilidade em termos relativos, comparando o desvio padrão com a média, portanto será dado em %. Quanto menor o coeficiente, mais homogêneo será o conjunto de dados;

e) mínimo: menor valor encontrado no conjunto de dados;

f) máximo: maior valor encontrado no conjunto de dados.

Apresentações gráficas, como histogramas e gráficos do tipo *boxplot*, são úteis para aumentar a legibilidade dos dados. Segundo Levin *et al.* (2012), histogramas são utilizados para exibir medidas contínuas, principalmente em termos de intervalo. *Boxplots* (diagramas de caixa) exibem simultaneamente uma série de aspectos a respeito da distribuição, como média, mediana, mínimo e máximo.

O *boxplot* é um gráfico utilizado para avaliar a distribuição dos dados (LEVIN *et al.*, 2012). A caixa do gráfico é formada pelo primeiro e terceiro quartil, as hastes representam o limite superior e inferior dos dados, a barra horizontal é a mediana e o círculo representa a média dos dados. Os pontos fora destes limites são considerados valores discrepantes (*outliers*) e são denotados por asterisco (*).

Vale ressaltar que, segundo Levin *et al.* (2012), a abordagem descritiva não constitui a principal meta da tomada de decisão, estando a maior parte dos pesquisadores atentos aos testes de hipóteses, as quais geralmente estão relacionadas a diferenças entre grupos.

Para a comparação de três ou mais grupos pode ser empregado o teste de Kruskal-Wallis. Assim, inicialmente, devem ser definidas duas hipóteses, as denominadas hipóteses nula e alternativa (OLIVEIRA, 2007).

A hipótese nula (H_0) estabelece que os diversos grupos não diferem significativamente enquanto que, segundo a hipótese alternativa (H_1), existem diferenças significativas entre alguns ou todos os grupos (OLIVEIRA, 2007).

O teste de Kruskal-Wallis envolve a determinação de uma estatística, H , que deve ser comparada com um valor crítico tabelado. Com base nesta comparação, pode-se decidir entre rejeitar ou não a hipótese nula (OLIVEIRA, 2007).

Segundo Oliveira (2007), a estatística H pode ser calculada como:

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^a \frac{R_{iT}^2}{n_i} - 3(N+1) \quad (5)$$

Onde:

- N é o número total de observações;
- a é o número de amostras;
- i é o número da amostra;
- n_i representa o número de observações da amostra i ;
- R_{iT} é o total dos postos da amostra i . Para o cálculo de R_{iT} , deve-se ordenar todas as N observações, da menor para a maior, e atribuir à menor observação o posto 1, à próxima menor o posto 2, e assim sucessivamente, até que seja atribuído à maior observação o posto N . Finalmente, o valor de R_{iT} é então obtido somando-se os postos relativos à amostra i .

Segundo Oliveira (2007), a hipótese nula deverá ser rejeitada se:

$$H \geq X_{\alpha, a-1}^2 \quad (6)$$

sendo $X_{\alpha, a-1}^2$ o valor crítico tabelado, correspondente à um determinado nível de significância α e com $a-1$ graus de liberdade. O nível de significância α representa

a probabilidade de rejeitar a hipótese nula quando ela for verdadeira. Portanto, quanto menor for o valor de α , maior será a confiança na decisão de rejeitar H_0 . Convencionalmente adota-se $\alpha = 0,05$, o que significa que há uma probabilidade de rejeitar erroneamente H_0 igual a 5%. Em diversas situações, torna-se conveniente realizar um teste de hipóteses por meio da comparação entre o nível de significância α e o denominado valor p , que indica o “peso” da evidência contra H_0 . Assim, se p for pequeno, existe uma forte evidência para se rejeitar a hipótese nula. De forma geral, pode-se escrever:

- $p < \alpha \rightarrow$ rejeita-se H_0 ;
- $p \geq \alpha \rightarrow$ não rejeita-se H_0 .

O valor p pode ser obtido através de tabelas, ou, nos casos mais complexos, utilizando programas estatísticos (OLIVEIRA, 2007).

Para comparar pares de grupos pode ser usado o teste de Mann-Whitney. Este teste, analogamente ao teste de Kruskal-Wallis, baseia-se na definição de duas hipóteses e na comparação de uma estatística calculada com um valor crítico tabelado (OLIVEIRA, 2007). Assim, a hipótese nula (H_0) estabelece que não existem diferenças significativas entre os dois grupos enquanto que, segundo a hipótese alternativa (H_1), os grupos diferem significativamente (OLIVEIRA, 2007).

No caso de amostras com tamanhos superiores a oito, a hipótese nula será rejeitada se:

$$|z_0| > z_{\alpha/2} \quad (7)$$

sendo z_0 a estatística a ser comparada com o valor crítico tabelado $z_{\alpha/2}$, encontrado em Levin *et al.* (2012), entre outros.

Pode-se calcular z_0 por meio da seguinte expressão (LEVIN *et al.*, 2012):

$$z_0 = \frac{w_1 - \mu_{w1}}{\sigma_{w1}} \quad (8)$$

onde:

- w_1 é a soma dos postos na amostra menor;
- μ_{w_1} é a média da distribuição de w_1 , dada por:

$$\mu_{w_1} = \frac{n_1(n_1+n_2+1)}{2} \quad (9)$$

sendo n_1 e n_2 os números de observações das amostras menor e maior, respectivamente;

- σ_{w_1} é o desvio padrão da distribuição de w_1 , definido como:

$$\sigma_{w_1} = \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}} \quad (10)$$

3.7 Análise de Correlação

O grau de associação entre as variáveis envolvidas em um estudo pode ser avaliado por meio de análise de correlação. Segundo Levin *et al.* (2012), na maior parte dos casos, os pesquisadores buscam estabelecer correlações lineares entre as variáveis. Dessa forma, usualmente o grau de correlação entre duas variáveis quantitativas X e Y é medido através do coeficiente de correlação linear de Pearson, que oscila entre -1,00 e +1,00. Se positivo, as duas variáveis apresentam uma relação direta (quanto maior o valor de uma variável, maior o valor da outra). Caso o coeficiente de Pearson seja negativo há uma relação inversa. Finalmente, um valor próximo de zero indica que não há uma associação linear entre as duas variáveis.

O coeficiente de correlação de Pearson (r) pode ser calculado por (OLIVEIRA, 2007):

$$r = \frac{N \sum_{i=1}^N X_i Y_i - \sum_{i=1}^N X_i \sum_{i=1}^N Y_i}{\sqrt{\left[N \sum_{i=1}^N X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N X_i \right)^2 \right] \cdot \left[N \sum_{i=1}^N Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N Y_i \right)^2 \right]}} \quad (11)$$

onde:

- N é o número de pares de observações (“duplas” formadas de X e Y);
- X_i é a observação i da variável X ;
- Y_i é a observação i da variável Y .

O coeficiente de Pearson fornece uma medida do grau de correlação linear existente entre as variáveis em uma determinada amostra (OLIVEIRA, 2007). Para verificar se a associação obtida entre X e Y realmente existe na população, é necessário testar a significância do coeficiente r encontrado. Dessa forma, são estabelecidas as 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, $r \neq 0$;

A hipótese nula será rejeitada se o coeficiente r for igual ou superior, em módulo, a um valor crítico tabelado (correspondente a um determinado nível de significância α e com $N - 2$ graus de liberdade), ou, de forma análoga aos testes de hipóteses anteriormente apresentados, diretamente a partir da constatação de que o valor p obtido é inferior à α (OLIVEIRA, 2007).

3.8 Análise de Regressão

Segundo Levin *et al.* (2012), a análise de regressão consiste na realização de uma análise estatística com o objetivo de verificar a existência de uma relação funcional entre uma variável dependente com uma ou mais variáveis independentes. Em outras palavras consiste na obtenção de uma equação que tenta explicar a variação da variável dependente pela variação do nível da variável independente.

Para tentar estabelecer uma equação que representa o fenômeno em estudo pode-se verificar como se comportam os valores da variável dependente (Y) em função da variação da variável independente (X). Assim, 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 (LEVIN *et al.*, 2012).

Como os pontos do diagrama de dispersão, ou seja, o diagrama real das variáveis X e Y, ficam um pouco distantes da curva do modelo matemático escolhido, um dos métodos que se pode utilizar para obter a relação funcional se baseia na obtenção de uma equação estimada de tal forma que as distâncias entre os pontos do diagrama e os pontos da curva do modelo matemático, no todo, sejam as menores possíveis (LEVIN *et al.*, 2012). Este método é denominado de Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) (LEVIN *et al.*, 2012). Em resumo por este método a soma de quadrados das distâncias entre os pontos do diagrama e os respectivos pontos na curva da equação estimada é minimizada, obtendo-se, desta forma, uma relação funcional entre X e Y, para o modelo escolhido, com um mínimo de erro possível.

Para o teste de regressão linear simples, supõe-se uma tendência linear entre as variáveis e a existência de uma única variável independente. Assim, segundo Levin *et al.* (2012), o modelo estatístico seria:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + e_i \quad (12)$$

em que:

Y_i = valor observado para a variável dependente Y no i-ésimo nível da variável independente X;

β_0 = constante de regressão. Representa o intercepto da reta com o eixo Y;

β_1 = coeficiente de regressão. Representa a variação de Y em função da variação de uma unidade da variável X;

X_i = i-ésimo nível da variável independente X ($i = 1, 2, \dots, n$);

e_i = erro que está associado à distância entre o valor observado Y_i e o correspondente ponto na curva, do modelo proposto, para o mesmo nível i de X.

Para se obter a equação estimada, utiliza-se o MMQ, visando a minimização dos erros. Assim, por meio da obtenção de estimadores de β_0 e β_1 , chega-se a equação estimada (LEVIN *et al.*, 2012):

$$Y = a + b X \quad (13)$$

O objetivo do teste de regressão é testar a significância da regressão a partir da definição dos parâmetros do modelo ($Y = a + b X$). Assim, definem-se as hipóteses nula H_0 e alternativa H_1 (LEVIN *et al.*, 2012), sendo:

- Hipótese nula (H_0): $b = 0$;
- Hipótese alternativa (H_1): $b \neq 0$;

Caso a hipótese nula não seja rejeitada pode-se concluir que X é pouco importante para explicar a variação em Y, ou que a relação verdadeira entre X e Y não é linear (LEVIN *et al.*, 2012).

Vale ressaltar que, de forma análoga aos testes de hipóteses, pode-se rejeitar H_0 diretamente a partir da constatação de que o valor p obtido é inferior à $\alpha = 0,05$.

Outros parâmetros que podem ser determinados no teste de regressão linear são o GL, grau de liberdade; SQ, é uma estimativa da variação dos pontos em torno do modelo em relação a Y; MQ pode ser interpretada como uma medida do erro médio quadrático da equação de regressão; F_0 é a razão entre o SQ da regressão e o SQ do resíduo, ou seja, a razão entre a variação explicada e a não explicada em Y (LEVIN *et al.*, 2012). Dessa forma, esses parâmetros listados acima são utilizados para determinar a razão F, pois considera-se a regressão significativa quando a proporção da variação explicada e a razão F forem grandes.

Conforme Levin *et al.* (2012), o coeficiente de determinação R^2 é uma medida de ajustamento de um modelo estatístico linear, em relação aos valores observados. O R^2 varia entre 0 e 1, indicando, em percentagem, o quanto o modelo consegue explicar os valores observados. Assim, quanto mais próximo de 1 for o coeficiente melhor o modelo representa a relação entre as variáveis.

4 METODOLOGIA

O presente capítulo descreve a metodologia de pesquisa utilizada para o desenvolvimento do trabalho.

4.1 Detalhamento da pesquisa

A pesquisa foi realizada através de análises de arquivos de uma empresa gerenciadora de empreendimentos comerciais. Os relatórios mensais das obras foram coletados e possibilitaram a determinação dos indicadores listados no capítulo 3.

Segundo Yin (2005), a análise de arquivos é vantajosa quando se procura descrever a incidência ou predominância de um fenômeno através de análises estatísticas. Vale ressaltar, também, que para este estudo não é exigido controle sobre eventos comportamentais (como acontece em um experimento) e o foco é sobre acontecimentos passados. Essas são outras duas características da estratégia de análise de arquivos indicadas por Yin (2005).

O contexto em que se insere este trabalho favoreceu a escolha da estratégia de pesquisa de análise de arquivos, devido à existência de dados disponíveis para serem analisados. Assim, foram coletados dados de seis obras comerciais no estado de Minas Gerais. A empresa que desenvolveu o planejamento, controle e gerenciamento das obras possui uma rotina de coleta de dados para alimentar o banco de dados/conhecimento da empresa.

Com o intuito de obter uma amostra significativa, que possibilite uma análise confiável, foram coletados 72 (setenta e dois) relatórios, ou seja, os 12 (doze) meses iniciais de seis obras comerciais. Os indicadores obtidos dessas obras foram analisados de forma global e subdivididos em dois grupos. O primeiro grupo definido foi o de obras de terraplenagem, escavação e compactação de solo com o objetivo de construir platôs, composto por três obras. Já o segundo grupo foi o de obras de estradas de acesso e pavimentação, composto também por três obras.

Todas as obras selecionadas foram planejadas na fase de orçamentação, um planejamento de longo prazo, inicial. Esse planejamento se baseia, normalmente em projetos básicos, visitas técnicas ao local de implementação das obras e em esclarecimentos efetuados aos projetistas do empreendimento.

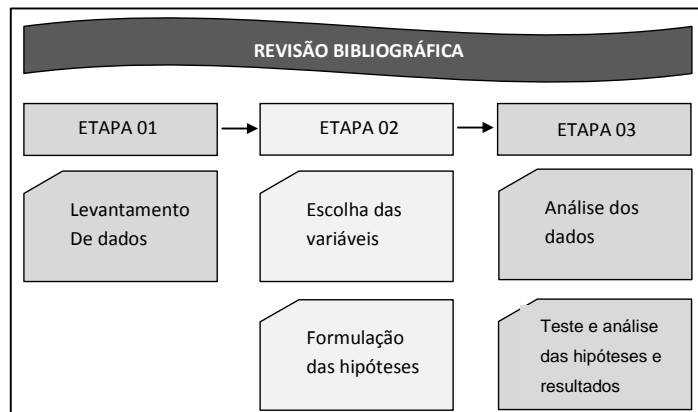
Após a emissão da ordem de serviço da obra, desenvolve-se o planejamento de médio e curto prazo. No planejamento de médio prazo, realiza-se a definição da programação mensal da obra, dessa forma, faz-se um detalhamento do planejamento de longo prazo, adequando-o às novas informações e aos detalhamentos fornecidos pelo contratante. Já no planejamento de curto prazo, ocorre a determinação das atividades que serão desenvolvidas semanalmente, por isso, ele deverá ser desenvolvido ao longo de toda a obra, para que adequações das atividades previstas possam ser realizadas. Assim, a pesquisa relaciona o planejamento de longo prazo, realizado na etapa de orçamentação e o planejamento de curto prazo, realizado na etapa de execução da obra.

Mensalmente são confeccionados relatórios que apresentam os dados atualizados de cada obra e esses dados são relacionados com a etapa de orçamentação durante o período de execução. Esses relatórios são uma forma sintética de demonstrar a evolução do empreendimento. Dessa forma, a pesquisa foi elaborada com os dados coletados desses relatórios sintéticos mensais. Nos itens a seguir serão descritos o fluxograma e as etapas da pesquisa.

4.2 Fluxograma e Etapas da Pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida nas seguintes etapas, conforme a Figura 4.1. A Etapa 1 consistiu no levantamento de dados das obras para realização da pesquisa; na Etapa 2 escolheu-se as variáveis a serem analisadas e formulou-se as hipóteses; na Etapa 3 analisou-se os dados, testou-se as hipóteses desenvolvidas na etapa 2 e analisou-se os resultados.

Figura 4.1 – Etapas de desenvolvimento da pesquisa.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 4.1, verifica-se que a revisão bibliográfica foi executada ao longo de toda a pesquisa, pois a partir da revisão consegue-se desenvolver o estudo, levantar hipóteses e embasar as análises. A seguir, cada etapa será detalhada.

4.2.1 Etapa 01 – Levantamento de dados

Inicialmente, selecionou-se as obras que possibilitaram o desenvolvimento da pesquisa, assim, foi analisado o banco de dados da empresa e coletou-se as informações necessárias. Foram priorizadas as obras mais recentes, com duração de 12 ou mais meses.

Após essa seleção prévia, foram coletados os relatórios sintéticos mensais e os diários de obras, para possibilitar o entendimento das características e particularidades de cada obra. A Figura 4.2 apresenta um exemplo dos 72 relatórios coletados.

Através desse relatório, Figura 4.2, obtêm-se os seguintes dados, que foram utilizados para o desenvolvimento da pesquisa:

- Valor do contrato;
- Variação do escopo, quando houver;
- Novo valor da obra;
- Prazo orçado (Data de início e término previsto);

Após essa coleta, foram desenvolvidas planilhas eletrônicas para sintetizar as informações e calcular os indicadores que serão analisados. Nessas planilhas, foram agrupados os dados referentes ao prazo; ao avanço físico e ao custo, separadamente.

4.2.2 *Etapa 02 – Escolha das variáveis e Formulação das hipóteses*

Após a análise das informações presentes nos relatórios coletados, escolheram-se os indicadores e variáveis que foram avaliados nesta pesquisa, chegando-se aos seguintes itens:

- desvio de custo (DC);
- desvio de prazo (DP);
- desvio de ritmo (DR).

Além disso, os avanços físicos previsto e real foram analisados para possibilitar uma melhor compreensão da evolução de cada obra. Os gráficos dos indicadores podem ser encontrados no Apêndice A.

A partir das informações coletadas, os indicadores foram calculados para cada mês de obra, de tal forma que, quando ocorreu alteração de escopo nas obras, essa variação foi considerada na análise, para manter a coerência entre os dados previstos e os dados na fase de execução.

Ao analisar o conceito de cada indicador, percebeu-se que devem existir relações entre os mesmos, pois eles refletem a evolução das obras. Dessa forma, foram formuladas algumas hipóteses e pretende-se analisá-las ao longo da pesquisa. As hipóteses iniciais são:

- Hipótese 1 – Os desvios/indicadores não variam significativamente de acordo com a obra;
- Hipótese 2 – Os desvios/indicadores não variam significativamente entre os grupos de tipos de obras diferentes;

- Hipótese 3 – Valores altos do DP tendem a influenciar que o DC aumente;
- Hipótese 4 – Valores altos do DR tendem a influenciar que o DC aumente;
- Hipótese 5 – Valores altos do DR tendem a influenciar que o DP aumente;
- Hipótese 6 – Valores altos do DP e do DR tendem a influenciar que o DC aumente;
- Hipótese 7 – Valores altos do DR e do DC tendem a influenciar que o DP aumente;
- Hipótese 8 – Valores altos do DP e do DC tendem a influenciar que o DR aumente.

Com o intuito de obter uma amostra significativa, que possibilite uma análise confiável, foram coletados 72 (setenta e dois) relatórios, ou seja, os 12 (doze) meses de seis obras comerciais. Dessas obras, apenas a obra 4 apresentou o período de execução coincidindo com o período da análise, para as outras cinco obras a duração foi maior que o período analisado. As obras estão situadas no estado de Minas Gerais e foram executadas para empresas de mineração.

Dividiram-se as obras em dois grupos, o primeiro referente as obras de terraplenagem, cujo objetivo era formar grandes platôs para construção de futuras instalações e o segundo referente as obras de acessos/pavimentação, ou seja, focado em estradas de acesso interno. Assim, serão analisadas três obras de cada grupo.

4.2.3 *Etapa 03 – Análise dos dados e das hipóteses*

Inicialmente nesta etapa, foram calculados os indicadores DC, DP e DR para os doze meses de cada obra. A partir das médias dos indicadores calculados, conseguiu-se caracterizar cada obra e estabelecer uma possível conclusão, ou seja, se a obra está atrasada ou adiantada e se a obra está acima ou abaixo do custo previsto. Esse modelo de caracterização foi adaptado de AKKARI; BULHÕES; FORMOSO, 2004 e PEREIRA, 2017.

Com o objetivo de uniformizar a escala dos indicadores, utilizou-se a escala transformada, assim, realizou-se uma interpolação, onde o melhor valor dos indicadores recebeu a nota 10 e o pior valor recebeu a nota 0. Assim a conversão da escala para cada indicador ocorreu conforme a Equação 14:

$$\text{Indicador Transformado} = \frac{10}{(\text{Indicador mín} - \text{Indicador máx})} \times (\text{Indicador} - \text{Indicador máx}) \quad (14)$$

Adequada a escala dos indicadores, iniciou-se as análises estatísticas descritivas das variáveis. Essa análise consiste na caracterização de cada indicador, ou seja, determinou-se a média, desvio padrão, mínimo, mediana e máximo. Além da análise global, realizou-se uma análise por grupo, ou seja, por tipo de obra.

Em sequência elaboraram-se histogramas dos indicadores na escala transformada e dividiu-se o intervalo em 10 classes. O histograma é um modelo de gráfico que mede a distribuição das frequências em relação a determinadas classes, de tal forma que se contabiliza o número de ocorrências em cada classe. O objetivo é apresentar os dados de uma maneira mais concisa e que permita extrair informação sobre o comportamento das variáveis.

Com o objetivo de verificar o comportamento dos indicadores calculados, criou-se uma classificação para cada indicador, assim:

a) Classificação do DC:

Pereira (2017), classificou o DC em “ruim”, “bom” e “ótimo”. Nesse trabalho realizou-se uma adaptação dessa classificação e acrescentou-se a classificação aceitável, quando o DC estiver entre 0,00% e 10,00%. Essa adaptação se deve ao fato da etapa de orçamentação ser realizada sem informações detalhadas do projeto, o que gera uma grande alteração do custo na etapa de execução, assim, uma variação de 10,00% do custo se torna aceitável. Dessa forma classificou-se o DC conforme a Tabela 4.1.

Segundo a classificação descrita na Tabela 4.1, considera-se o DC “ruim”, quando o aumento do custo real se comparado com o previsto exceder 10,00%, o que torna a variação significativa; DC entre 0,00% e 10,00%, inclusive, considera-se “aceitável”, pois a variação do custo é considerada baixa para as características das obras analisadas; DC igual a 0,00% considera-se “bom”, pois o custo previsto foi igual ao executado, ou seja, mantém-se o custo planejado; e DC menor que

0,00%, considera-se “ótimo”, pois o custo executado foi menor que o previsto, assim, tem-se uma economia.

Tabela 4.1 – Classificação do DC

Intervalo do indicador	Classificação
$DC > 10,00\%$	Ruim
$0,00\% < DC \leq 10,00\%$	Aceitável
$DC = 0,00\%$	Bom
$DC < 0,00\%$	Ótimo

Fonte: Elaborado pela autora.

b) Classificação do DP:

Pereira (2017), em seus estudos, classificou o DP em “ruim”, “aceitável”, “bom” e “ótimo”. Nesse trabalho realizou-se uma adaptação dessa classificação e retirou-se a classificação aceitável, quando o DP estiver entre 0,00% e 10,00%. Essa adaptação se deve ao fato do tipo de obra estudado não admitir atrasos, pois são obras que apresentam penalidades, caso o prazo não seja cumprido. Dessa forma classificou-se o DP conforme a Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Classificação do DP

Intervalo do indicador	Classificação
$DP > 0,00\%$	Ruim
$DP = 0,00\%$	Bom
$DP < 0,00\%$	Ótimo

Fonte: Elaborado pela autora.

Segundo a classificação descrita na Tabela 4.2, considera-se o DP “ruim”, quando ocorrer aumento do prazo real se comparado com o previsto, o que causa um atraso da obra e conseqüente penalidades contratuais para a construtora; DP igual a 0,00% considera-se “bom”, pois o prazo previsto foi igual ao executado, ou seja, mantém-se o planejado; e DP menor que 0,00%, considera-se “ótimo”, pois o prazo

executado foi menor que o previsto, assim, tem-se um adiantamento da entrega da obra.

c) Classificação do DR:

Utilizando uma classificação análoga a descrita para o indicador DP, pôde-se classificar o DR em “ruim”, “bom” e “ótimo”. Essa classificação se deve ao fato do tipo de obra estudado não admitir atrasos, pois são obras que apresentam penalidades, caso a entrega não seja cumprida, assim, não se admite desvio relacionado a atraso no avanço físico, ou seja, DR abaixo de 100,00% é considerado ruim. Dessa forma classificou-se o DR conforme a Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Classificação do DR

Intervalo do indicador	Classificação
DR < 100,00%	Ruim
DR = 100,00%	Bom
DR > 100,00%	Ótimo

Fonte: Elaborado pela autora.

Segundo a classificação descrita na Tabela 4.3, considera-se o DR “ruim”, quando ocorrer uma diminuição do avanço físico real se comparado com o previsto, o que tende a gerar um atraso da obra e conseqüente penalidades contratuais para a construtora; DR igual a 100,00% considera-se “bom”, pois o avanço físico previsto foi igual ao executado, ou seja, mantém-se o avanço planejado; e DR maior que 100,00%, considera-se “ótimo”, pois o avanço físico executado foi maior que o avanço previsto, assim, tende a gerar um adiantamento da entrega da obra.

Após a classificação dos indicadores, fez-se uma análise dos resultados encontrados. Essa análise busca identificar o comportamento de cada empreendimento e justificar os resultados encontrados para os indicadores, assim, realizou-se a análise estatística para cada obra e elaborou-se o gráfico *boxplot* por obra e por grupo.

Através dessas análises, consegue-se descrever o comportamento dos indicadores de forma global, por grupo e por obra, além de justificar os comportamentos encontrados. Dessa forma, pôde-se iniciar os testes estatísticos.

Os testes estatísticos foram realizados no *software* Minitab. Os conceitos dos testes foram descritos no capítulo 3, Revisão Bibliográfica. Inicialmente, realizou-se o teste de Kruskal-Wallis, esse teste tem o objetivo de comparar três ou mais grupos, assim, utilizou-se para verificar a semelhança entre todos os indicadores calculados para as diversas obras, ou seja, uma análise global dos desvios.

Após a análise global, realizou-se o teste de Mann-Whitney que busca comparar pares de amostras, ou seja, consegue-se comparar a semelhança entre os dois grupos de estudo. Após a realização dos testes, uma análise das obras foi executada, com o objetivo de justificar os resultados encontrados.

Por último, foram realizadas as análises de correlação e regressão. Com essas análises verificou-se a existência ou não de correlação entre as variáveis e determinou-se a função de regressão. As análises de correlação e de regressão são métodos estatísticos amplamente utilizados para estudar o grau de relacionamento entre variáveis.

5 RESULTADOS

O presente capítulo apresenta os resultados das análises realizadas com os dados coletados para a elaboração da pesquisa. Os dados são provenientes de seis obras comerciais, executadas entre os anos de 2011 e 2016 no estado de Minas Gerais. Além da caracterização de cada obra, os resultados obtidos serão discutidos e comparados a trabalhos anteriores apresentados na literatura.

Por fim, é avaliada a existência ou não de uma correlação entre os indicadores do processo de planejamento e controle da produção utilizados e analisados os fatores que afetam a eficácia desse processo.

5.1 Caracterização das variáveis

Após a coleta de dados, foi realizada a análise de cada obra separadamente, ou seja, foram calculados os indicadores estudados e confeccionada a análise estatística descritiva.

Os indicadores calculados foram relacionados no Apêndice B e, baseando-se nos trabalhos de Akkari, Bulhões e Formoso (2004) e Pereira (2017), elaborou-se os Quadros 5.1 e 5.2 onde os principais resultados são apresentados. A coluna de Situação foi preenchida de acordo com o comportamento mais frequente de cada obra analisada, pois a situação não é constante, ou seja, apresentou variações ao longo do período.

Percebe-se uma possível correlação entre o desvio de prazo e o desvio de custo, pois quando o desvio de prazo foi maior que zero (obra atrasada), o custo estava acima do orçado, ou seja, desvio de custo também maior que zero (Quadro 5.1). As situações observadas para os desvios de prazo e os desvios de ritmo levaram às mesmas conclusões (Quadro 5.2). As correlações entre os indicadores serão verificadas através de análise estatística.

Quadro 5.1 – Resumo dos indicadores das obras para o DP e o DC

INDICADOR		SITUAÇÃO		CONCLUSÃO
		Maior que 0%	Menor que 0%	
Desvio de prazo (DP)	Obra 1	X		Obra atrasada
	Obra 2		X	Obra adiantada
	Obra 3		X	Obra adiantada
	Obra 4	X		Obra atrasada
	Obra 5		X	Obra adiantada
	Obra 6		X	Obra adiantada
Desvio de custo (DC)	Obra 1	X		Custo acima do orçado
	Obra 2		X	Custo abaixo do orçado
	Obra 3		X	Custo abaixo do orçado
	Obra 4	X		Custo acima do orçado
	Obra 5		X	Custo abaixo do orçado
	Obra 6		X	Custo abaixo do orçado

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 5.2 – Resumo dos indicadores das obras para o DR

INDICADOR		SITUAÇÃO		CONCLUSÃO
		Maior que 100%	Menor que 100%	
(DR)	Obra 1		X	Obra atrasada
	Obra 2	X		Obra adiantada
	Obra 3	X		Obra adiantada
	Obra 4		X	Obra atrasada
	Obra 5	X		Obra adiantada
	Obra 6	X		Obra adiantada

Fonte: Elaborado pela autora.

5.2 Análise estatística

Após a coleta de dados e cálculos dos indicadores, realizou-se uma transformação dos valores calculados utilizando-se uma escala entre 0 e 10, onde 0 representa o pior resultado encontrado nas seis obras analisadas e 10 o melhor resultado. Essa transformação foi detalhada no item 4.2.3 do capítulo de Metodologia, os valores dos indicadores ajustados para a nova escala podem ser observados no Apêndice C.

Adequada a escala dos indicadores, iniciam-se as análises estatísticas descritivas das variáveis. Essa análise consiste na caracterização de cada indicador, ou seja, determina-se a média, desvio padrão, mínimo, mediana e máximo, conforme a Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Resumo da análise descritiva dos indicadores

Indicador	Tamanho da amostra (n)	Média	Desvio padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
Desvio de Custo	72	5,493	1,898	0,000	5,600	10,000
Desvio de Prazo	72	7,061	1,414	0,000	7,170	10,000
Desvio de Ritmo	72	8,408	1,744	0,000	8,895	10,000

Fonte: Elaborado pela autora.

O desvio de custo apresentou uma média de 5,493 na escala transformada (Tabela 5.1), ou seja, um valor de 0,59% real, conforme transformação da escala (Equação 14), demonstrando que as obras estão um pouco acima do custo orçado. O valor encontrado por Moura (2008) foi de 4,05 e 4,15 por Pereira (2017), ambos os valores na escala transformada para empreendimentos residenciais, na escala real as médias encontradas foram de 0,07% e 5,32%, respectivamente. A faixa de variação real para o indicador DC para as obras analisadas nesse estudo foi entre -11,04% e 14,75% (Apêndice B).

Já no desvio de prazo, a média obtida na escala transformada é 7,061 (Tabela 5.1), ou seja, um valor de 0,34% real, conforme transformação da escala (Equação 14), concluindo que as obras estão sendo cumpridas no prazo previsto, uma vez que o

percentual obtido está muito próximo de zero. O valor encontrado por Moura (2008) foi de 8,772 e por Pereira (2017) 6,23, na escala transformada para empreendimentos residenciais, na escala real as médias encontradas foram de 1,34% e 9,42%, respectivamente. A faixa de valores reais do DP encontrado foi de -9,30% e 23,51% (Apêndice B).

O desvio de ritmo apresentou uma média de 8,408 na escala transformada (Tabela 5.1), ou seja, um valor de 141,87% real, conforme transformação da escala (Equação 14), o que significa que as obras estiveram adiantadas. A faixa de valores reais do DR encontrado foi de 0,00% e 891,15% (Apêndice B).

Conforme a metodologia, detalhada no capítulo 4, as 6 obras foram divididas em dois grupos de mesmo número, sendo:

- 1) Obras de terraplenagem;
- 2) Obras de pavimentação / acesso.

Dessa forma, cada indicador será analisado de forma global, seis obras e por grupos, 1 e 2. As Tabelas 5.2 e 5.3 apresentam os resultados obtidos para o grupo 1, referente às obras de terraplenagem e para o grupo 2, referente às obras de pavimentação / acesso, respectivamente.

Tabela 5.2 – Resumo da análise descritiva dos indicadores do Grupo 1

Indicador	Tamanho da amostra (n)	Média	Desvio padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
Desvio de Custo	36	6,167	2,262	0,000	6,185	10,000
Desvio de Prazo	36	6,948	1,727	0,000	7,195	9,800
Desvio de Ritmo	36	8,078	2,215	0,000	8,83	10,000

Fonte: Elaborado pela autora.

Pode-se observar nas Tabelas 5.2 e 5.3 que o desvio de custo apresentou uma média de 6,167 para as obras do Grupo 1 e 4,819 para as obras do Grupo 2, na escala transformada, ou seja, um valor de -1,15% e 2,32% real, respectivamente, conforme transformação da escala (Equação 14). Observando o valor da média real

percebe-se que as obras do Grupo 1 estão abaixo do custo orçado, já as obras do Grupo 2 estão acima do custo orçado.

Tabela 5.3 – Resumo da análise descritiva dos indicadores do Grupo 2

Indicador	Tamanho da amostra (n)	Média	Desvio padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
Desvio de Custo	36	4,819	1,122	2,690	4,480	6,640
Desvio de Prazo	36	7,173	1,022	5,160	7,115	10,000
Desvio de Ritmo	36	8,739	1,018	4,310	8,920	10,000

Fonte: Elaborado pela autora.

Já no desvio de prazo, a média obtida na escala transformada para o Grupo 1 é 6,948 (Tabela 5.2) e para o Grupo 2 é 7,173 (Tabela 5.3), ou seja, um valor de 0,71% e -0,02% real, respectivamente. Se for realizada uma análise utilizando a média real, pode-se concluir que as obras do Grupo 1 apresentam prazo maior que o previsto e as obras do Grupo 2 apresentam prazo menor que o previsto, mas vale destacar que as médias dos desvios são muito pequenos, o que permitiria afirmar que as obras estão sendo cumpridas no prazo previsto.

O desvio de ritmo apresentou uma média de 8,078 na escala transformada para o Grupo 1 (Tabela 5.2) e 8,739 para o Grupo 2 (Tabela 5.3), ou seja, um valor de 171,28% e 112,37% real, respectivamente. Observando os valores das médias reais percebe-se que para ambos os grupos as obras estiveram adiantadas, ou seja, relação entre avanço físico real e avanço físico previsto maior que 100%.

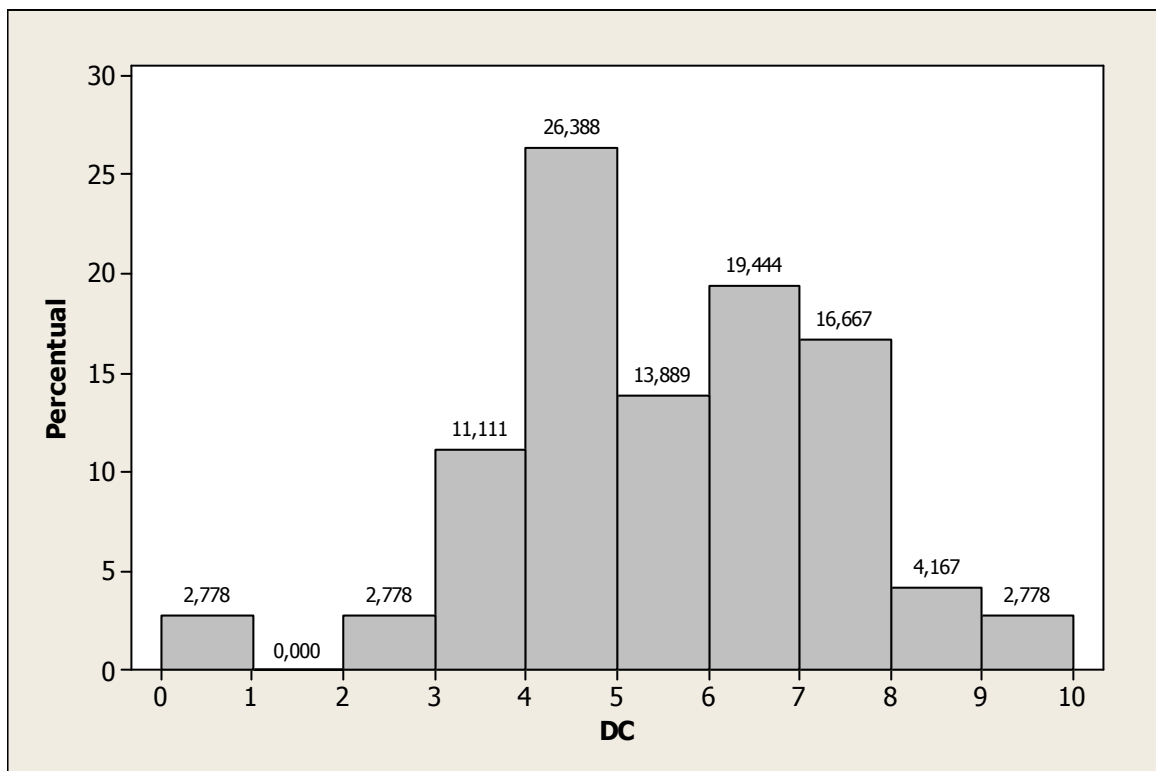
Será realizada nos itens 5.2.1 a 5.2.3 uma análise mais detalhada de cada indicador, de forma global e por grupos de obras.

5.2.1 Desvio de Custo

Através do histograma consegue-se analisar a distribuição de frequências obtida para a variável, a Figura 5.1 representa o histograma do desvio de custo encontrado para as seis obras.

O histograma foi confeccionado com os valores da escala transformada, para facilitar a análise, dessa forma, os valores mais próximos de 0 correspondem aos piores valores reais, ou seja, acima de 0,00% e os valores mais próximos de 10, representam os melhores valores para o DC, ou seja, valores menores que 0,00%. Percebe-se que cerca de 26% dos valores obtidos para o DC encontram-se entre 4 e 5 na escala transformada e que aproximadamente 57% mostram-se superiores a 5.

Figura 5.1 – Histograma de Desvio de custo



Fonte: Elaborado pela autora.

Utilizando a classificação descrita no item 4.2.3, considera-se “ruim”, quando o DC for maior que 10,00%; DC igual a 0,00% considera-se “bom”; DC entre 0,00% e 10,00% considera-se “aceitável”; e DC menor que 0,00%, considera-se “ótimo”. Na Tabela 5.4 pode-se observar a classificação para as faixas de valores determinadas no histograma.

Com o objetivo de identificar o comportamento de cada empreendimento e justificar os resultados encontrados para os indicadores, realizou-se a análise estatística separadamente para cada obra e elaboraram-se a Tabela 5.5, onde foram

resumidos os dados encontrados, e o gráfico *boxplot* por obra, apresentado na Figura 5.2.

Tabela 5.4 – Resumo da classificação para as faixas de valores do histograma para o DC

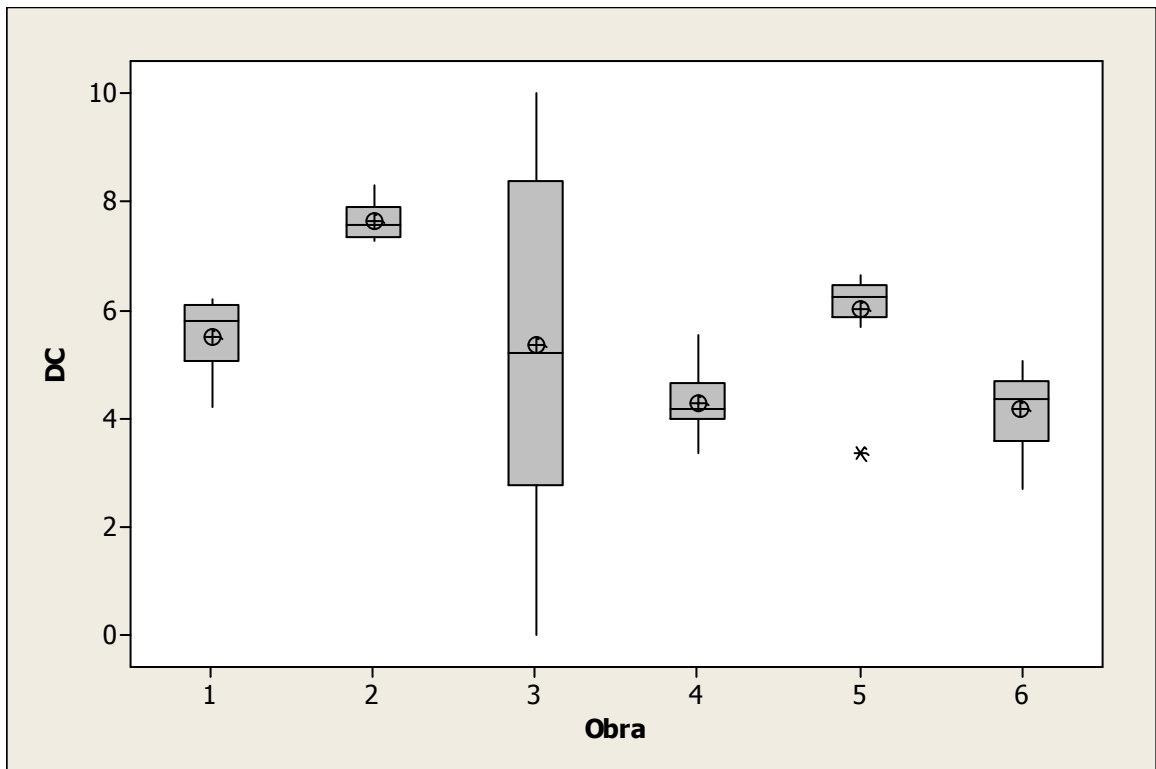
Faixa de valores	Valores reais	Classificação	Percentual encontrado
0 – 1	14,75% – 12,17%	Ruim	2,778%
1 – 2	12,17% – 9,59%	Ruim / Aceitável	0,000%
2 – 3	9,59% – 7,01%	Aceitável	2,778%
3 – 4	7,01% – 4,44%	Aceitável	11,111%
4 – 5	4,44% – 1,86%	Aceitável	26,388%
5 – 6	1,86% – (-0,72%)	Aceitável / Bom / Ótimo	13,889%
6 – 7	(-0,72%) – (-3,30%)	Ótimo	19,444%
7 – 8	(-3,30%) – (-5,88%)	Ótimo	16,667%
8 – 9	(-5,88%) – (-8,46%)	Ótimo	4,167%
9 – 10	(-8,46%) – (-11,04%)	Ótimo	2,778%

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 5.5 – Resumo da análise estatística por obra para o DC

OBRA	Tamanho da amostra (n)	Média	Desvio padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
1	12	5,514	0,695	4,210	5,785	6,190
2	12	7,636	0,312	7,270	7,570	8,290
3	12	5,350	3,49	0,000	5,220	10,000
4	12	4,291	0,565	3,360	4,175	5,520
5	12	6,016	0,885	3,360	6,255	6,640
6	12	4,151	0,738	2,690	4,355	5,070

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 5.2 – Gráfico *boxplot* do indicador DC por obra

Fonte: Elaborado pela autora.

Percebe-se que a pior média de valores para DC está na obra 6, próxima de 4, sendo considerada “aceitável”. Em contrapartida, a obra 2 é a que apresenta a melhor média, próxima de 8. A obra 3 contém a maior amplitude dos dados (diferença entre máximo e mínimo). A obra 5 é a única obra que apresenta um *outlier*, ou seja, um valor atípico.

De acordo com os valores encontrados para a média de cada obra, pode-se classificar o comportamento do indicador DC em “Ruim”, “Aceitável”, “Bom” e “Ótimo”. As classificações encontradas foram resumidas no Quadro 5.3.

Quadro 5.3 – Resumo da classificação do DC por obra

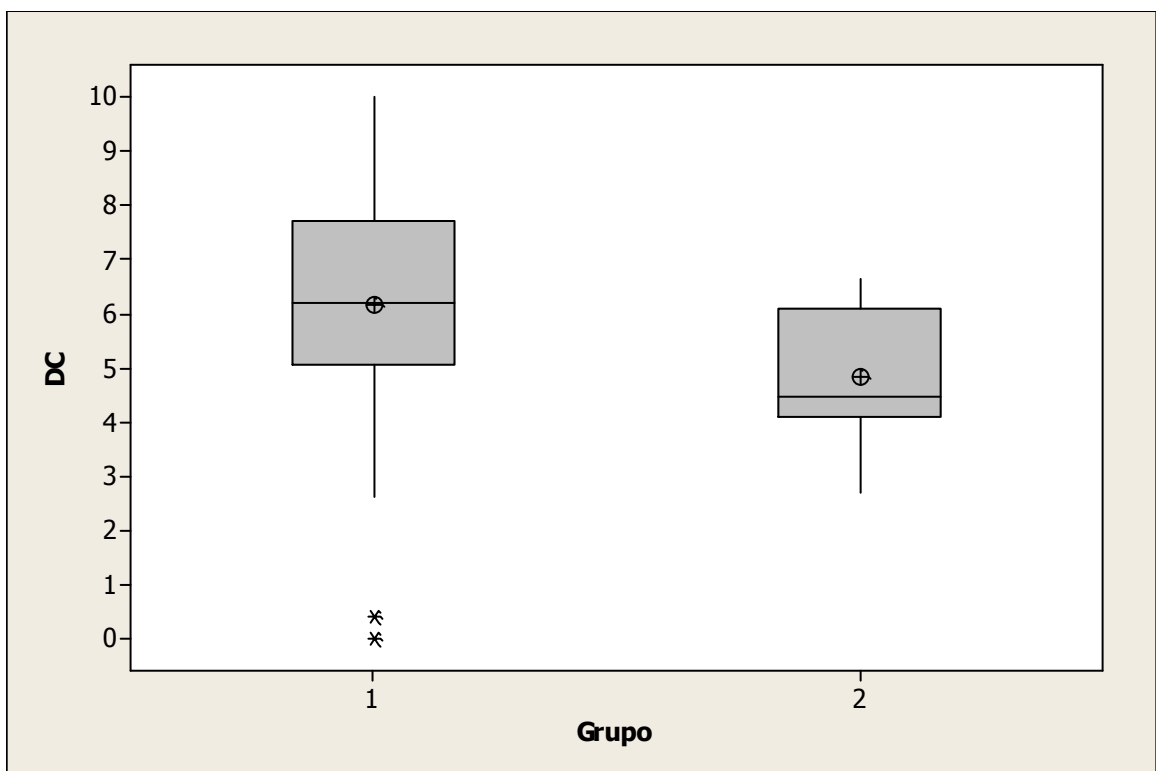
Valores de DC	Classificação	Obra
DC > 10,00%	Ruim	-
0,00% < DC ≤ 10,00%	Aceitável	1, 3, 4 e 6
DC = 0,00%	Bom	-
DC < 0%	Ótimo	2 e 5

Fonte: Elaborado pela autora.

Assim, percebe-se que quatro obras apresentaram valores, em média, aceitáveis para o DC e duas obras apresentaram o DC, em média, ótimo. Esses valores serão comparados com os outros indicadores e no item 5.4 serão analisados, de acordo com observações realizadas ao longo da execução das obras.

Buscando compreender as diferenças entre os dois grupos de obras, elaborou-se o gráfico de *boxplot* para os grupos, conforme a Figura 5.3.

Figura 5.3 – Gráfico *boxplot* do DC para os grupos de obra



Fonte: Elaborado pela autora.

Observando o gráfico de *boxplot* do DC para os grupos, percebe-se que a média do indicador DC do grupo 1, próxima de 6, é maior que a média do grupo 2, próxima de 5, ou seja, o grupo 1 apresentou melhores resultados para o indicador DC. A faixa de variação de valores do Grupo 1 está entre 5 e 8, já a faixa de valores do Grupo 2, está entre 4 e 6. Assim, o Grupo 1 apresenta os valores do DC mais dispersos, além disso, foram encontrados dois *outliers* no Grupo 1.

5.2.1.1 Testes estatísticos para o Desvio de Custo

Analisando o indicador DC, verifica-se que os valores encontrados variaram muito, demonstrando a grande amplitude encontrada no gráfico *boxplot* (Figura 5.2). Os valores de média e mediana também apresentaram grande variação. Buscando confirmar que há diferenças significativas no valor do DC de acordo com as diferentes obras, foi realizado o teste de Kruskal-Wallis.

Este teste pode ser empregado para a comparação de três ou mais grupos. Assim, inicialmente, devem ser definidas duas hipóteses, as denominadas hipóteses nula e alternativa. A hipótese nula (H_0) estabelece que os diversos grupos não diferem significativamente enquanto que, segundo a hipótese alternativa (H_1), existem diferenças significativas entre alguns ou todos os grupos.

Conforme Item 3.5, o teste de Kruskal-Wallis envolve a determinação de uma estatística, H, que deve ser comparada com um valor crítico tabelado ($X^2_{0,05,5}$), com base nesta comparação, pode-se decidir entre rejeitar ou não a hipótese nula, assim, a hipótese nula deverá ser rejeitada se H for maior ou igual ao valor crítico. O nível de significância α representa a probabilidade de rejeitar a hipótese nula quando ela for verdadeira. Convencionalmente adota-se $\alpha = 0,05$, o que significa que há uma probabilidade de rejeitar erroneamente H_0 igual a 5%.

Os resultados encontrados para o teste de Kruskal-Wallis para o indicador DC, podem ser observados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Resumo dos resultados do teste Kruskal-Wallis para o DC

Item estatístico	Valor encontrado
H	35,330
$X^2_{0,05,5}$	11,070
p	0,000
α	0,050
Conclusão	Rejeita-se H_0

Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme a Tabela 5.6, rejeita-se a hipótese H_0 , pois o valor crítico $X^2_{0,05,5}$ é menor que o H e o valor de p é menor que α . Assim, conclui-se que os valores de DC para as obras apresentam diferenças significativas com nível de significância de 5,0%.

Para comparar pares de grupos utiliza-se o teste de Mann-Whitney, assim, esse teste será utilizado para comparar as diferenças entre os grupos 1 e 2. Este teste, analogamente ao teste de *Kruskall-Wallis*, baseia-se na definição de duas hipóteses e na comparação de uma estatística calculada com um valor crítico tabelado segundo Levin (2012). Assim, a hipótese nula (H_0) estabelece que não existem diferenças significativas entre os dois grupos enquanto que, segundo a hipótese alternativa (H_1), os grupos diferem significativamente. O resultado do teste Mann-Whitney pode ser observado na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Resumo dos resultados do teste Mann-Whitney para o DC

Item estatístico	Valor encontrado
$ z_0 $	3,328
$z_{0,025}$	1,960
p	0,0009
α	0,050
Conclusão	Rejeita-se H_0

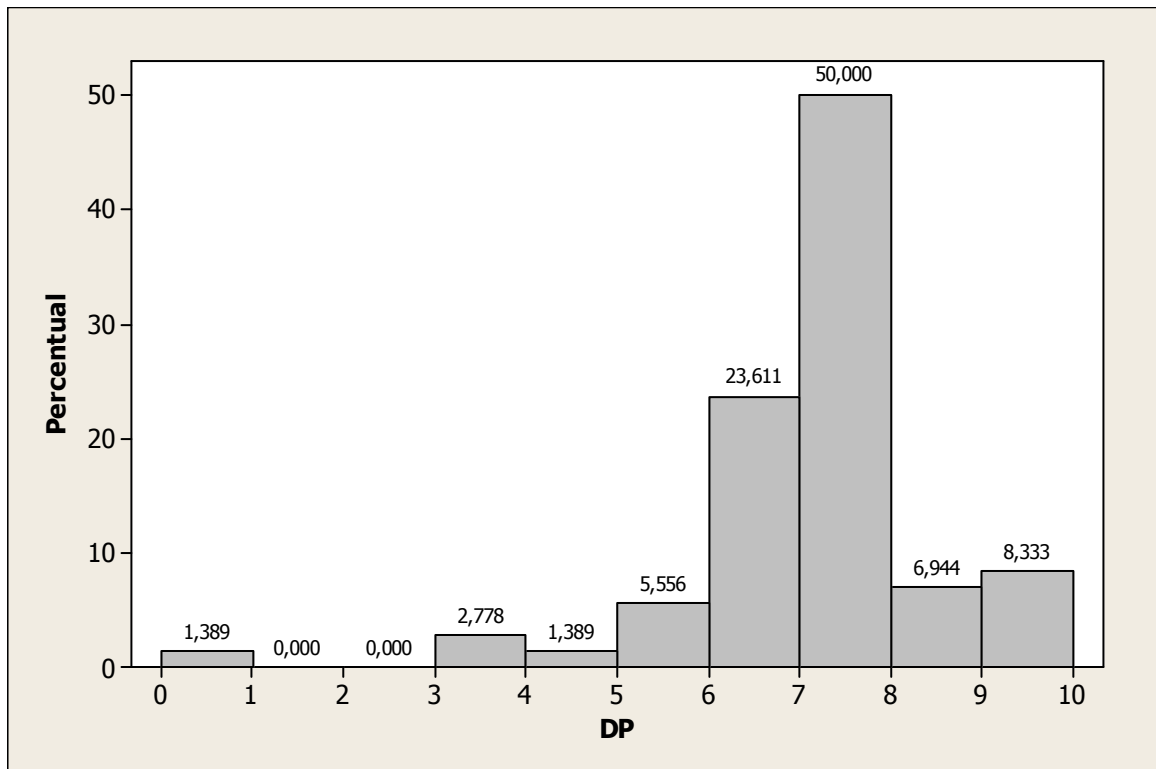
Fonte: Elaborado pela autora.

Percebe-se que a hipótese H_0 será rejeitada, pois o valor de $|z_0|$ é superior ao valor de $z_{0,025}$ e o valor de p é menor que α . Conclui-se que os grupos diferem significativamente em relação ao valor obtido para o DC, ou seja, rejeita-se H_0 .

5.2.2 Desvio de Prazo

Através da Figura 5.4, consegue-se analisar a distribuição de frequências obtida para o desvio de prazo encontrado para as seis obras. O histograma foi elaborado com o desvio de prazo na escala transformada.

Figura 5.4 – Histograma de Desvio de prazo



Fonte: Elaborado pela autora.

Percebe-se que 50% dos valores obtidos para o DP encontram-se entre 7 e 8 na escala transformada e cerca de 23% encontram-se entre 6 e 7, ou seja, aproximadamente 73% apresentam o DP entre 6 e 8.

Utilizando a classificação descrita no item 4.2.3, considera-se “ruim”, quando o DP for maior que 0,00%; DP igual a 0,00% considera-se “bom”; e DP menor que 0,00%, considera-se “ótimo”. Na Tabela 5.8 pode-se observar a classificação para as faixas de valores determinadas no histograma.

Dessa forma, observa-se que um somatório de 34,72% das amostras apresentou classificação “ruim”; 50,00% apresentaram classificação “ruim / bom / ótimo”; e 15,27% apresentaram classificação “ótimo”. Como a faixa de classificação “ruim / bom / ótimo” apresenta um percentual de 50,00% das obras encontradas, essa faixa será analisada com maior detalhe. Na Tabela 5.9, observa-se o resumo da frequência e percentual encontrado para os valores entre 7 e 8.

Tabela 5.8 – Resumo da classificação para as faixas de valores do histograma para o DP

Faixa de valores	Valores reais	Classificação	Percentual encontrado (%)
0 – 1	23,51% – 20,23%	Ruim	1,389
1 – 2	20,23% – 16,95%	Ruim	0,000
2 – 3	16,95% – 13,67%	Ruim	0,000
3 – 4	13,67% – 10,39%	Ruim	2,778
4 – 5	10,39% – 7,11%	Ruim	1,389
5 – 6	7,11% – 3,83%	Ruim	5,556
6 – 7	3,83% – 0,54%	Ruim	23,611
7 – 8	0,54% – (-2,74%)	Ruim / Bom / Ótimo	50,000
8 – 9	(-2,74%) – (-6,02%)	Ótimo	6,944
9 – 10	(-6,02%) – (-9,30%)	Ótimo	8,333

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 5.9 – Resumo da frequência encontrada para a faixa entre 7 e 8 para o DP

Faixa de valores	Valores reais	Classificação	Frequência	Percentual encontrado (%)
7 – 8	0,54% – (0,00%)	Ruim	10	13,889%
7 – 8	0,00%	Bom	3	4,167%
7 – 8	0,00% – (-2,74%)	Ótimo	23	31,944%

Fonte: Elaborado pela autora.

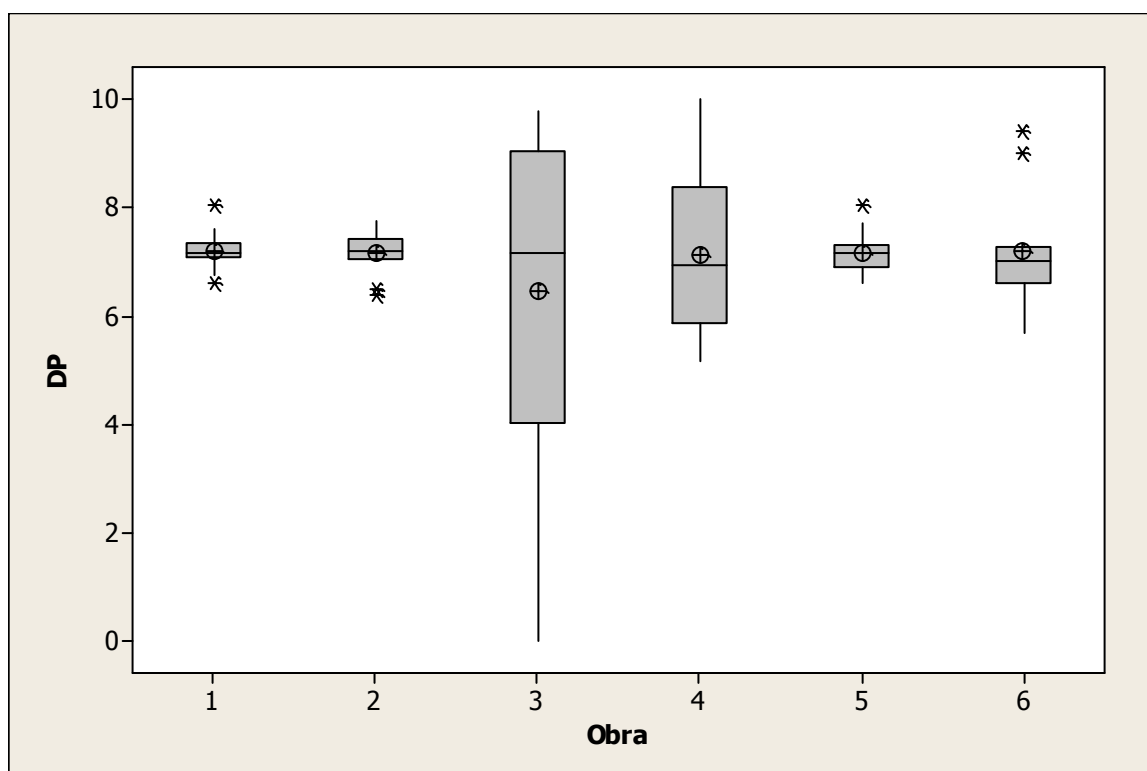
Assim, analisando as tabelas 5.8 e 5.9 percebe-se que um total de 48,62% das amostras apresentou classificação “ruim”; 4,17% apresentaram classificação “bom”; e 47,21% apresentaram classificação “ótimo”.

Com o objetivo de identificar o comportamento de cada empreendimento e justificar os resultados encontrados para os indicadores, realizou-se a análise estatística separadamente para cada obra e elaborou-se a Tabela 5.10, onde foram resumidos os dados encontrados, e o gráfico *boxplot* por obra, apresentado na Figura 5.5.

Tabela 5.10 – Resumo da análise estatística por obra - DP

OBRA	Tamanho da amostra (n)	Média	Desvio padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
1	12	7,214	0,369	6,620	7,165	8,060
2	12	7,171	0,401	6,390	7,215	7,740
3	12	6,460	2,967	0,000	7,180	9,800
4	12	7,143	1,432	5,160	6,925	10,000
5	12	7,180	0,406	6,620	7,170	8,050
6	12	7,199	1,051	5,700	7,030	9,420

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 5.5 – Gráfico *boxplot* do indicador DP por obra

Fonte: Elaborado pela autora.

Percebe-se que a pior média de valores para DP está na obra 3, aproximadamente 6,46, sendo considerada “ruim”. A obra 3 contém a maior amplitude dos dados, em contrapartida, a obra 1 é a que apresenta a melhor média, próxima de 7,2. As obras 1, 2, 5 e 6 apresentaram *outliers*, ou seja, valores atípicos.

De acordo com os valores encontrados para a média de cada obra, pode-se classificar o comportamento do indicador DP, conforme o Quadro 5.4.

Quadro 5.4 – Resumo da classificação do DP por obra, segundo a média

Valores de DP	Classificação	Obra
DP > 0,00%	Ruim	3 e 4
DP = 0,00%	Bom	-
DP < 0,00%	Ótimo	1, 2, 5 e 6

Fonte: Elaborado pela autora.

Assim, percebe-se que as obras 3 e 4 apresentam valor, em média, ruim para o DP. As obras 1, 2, 5 e 6 apresentaram a média do indicador DP ótimo. Esses valores serão comparados com os outros indicadores e no item 5.4 serão analisados, de acordo com observações realizadas ao longo da execução das obras.

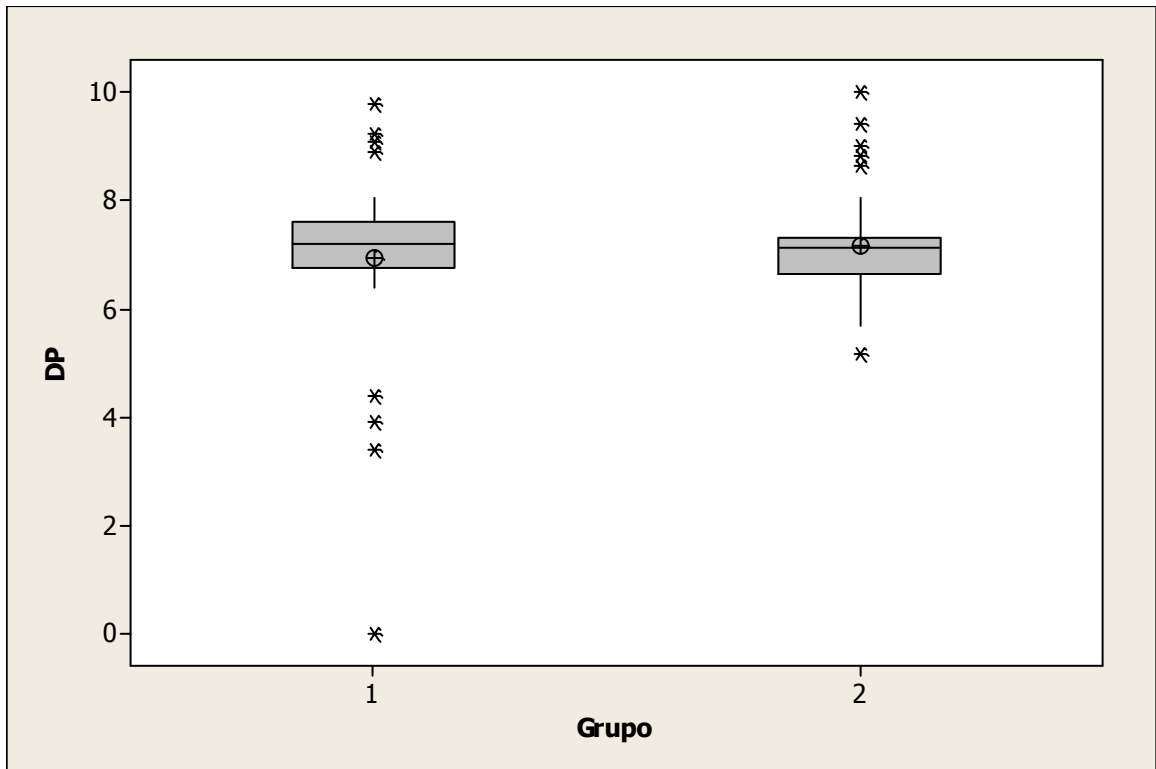
Buscando compreender as diferenças entre os dois grupos de obras, elaborou-se o gráfico de *boxplot* para os grupos, conforme a Figura 5.6. Observando o gráfico de *boxplot* do DP para os grupos, percebe-se que a média do indicador DP do grupo 1, próxima de 7, é menor que a média do grupo 2, próxima de 7,5, ou seja, o grupo 2 apresentou melhores resultados para o indicador DP. A faixa de variação de valores do Grupo 1 está entre 6,7 e 7,6, já a faixa de valores do Grupo 2, está entre 6,6 e 7,3. Assim, o Grupo 1 apresenta os valores do DC mais dispersos, embora a diferença de dispersão encontrada entre eles seja baixa. Além disso, foram encontrados *outliers* nos dois grupos.

5.2.2.1 Testes estatísticos para o Desvio de Prazo

Analisando o indicador DP, verifica-se que os valores encontrados variaram pouco, demonstrando a pequena amplitude encontrada no gráfico *boxplot*, Figura 5.5. Os valores de média e mediana também apresentaram pequena variação. Buscando verificar a existência ou não de diferenças significativas no valor do DP de acordo

com as diferentes obras, foi realizado o teste de Kruskal-Wallis. Os resultados encontrados para o indicador DP, podem ser observados na Tabela 5.11.

Figura 5.6 – Gráfico *boxplot* do DP para os grupos de obra



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 5.11 – Resumo dos resultados do teste Kruskal-Wallis para o DP

Item estatístico	Valor encontrado
H	0,820
$X^2_{0,05,5}$	11,070
p	0,976
α	0,050
Conclusão	Aceita-se H_0

Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme a Tabela 5.11, aceita-se a hipótese H_0 , pois o valor crítico $X^2_{0,05,5}$ é maior que o H e o valor de p é maior que α . Assim, conclui-se que os valores de DP para as obras não apresentam diferenças significativas com nível de significância de 5,0%.

Foi também realizado o teste de Mann-Whitney para o indicador DP, considerando os dois grupos de obras. Os resultados encontrados podem ser observados na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 – Resumo dos resultados do teste Mann-Whitney para o DP

Item estatístico	Valor encontrado
$ z_0 $	0,693
$z_{0,025}$	1,960
P	0,492
A	0,050
Conclusão	Aceita-se H_0

Fonte: Elaborado pela autora.

Percebe-se que a hipótese H_0 será aceita, pois o valor de $|z_0|$ é inferior ao valor de $z_{0,025}$ e o valor de p é maior que α . Conclui-se que os grupos não diferem significativamente em relação ao valor obtido para o DP com nível de significância de 5,0%, o que se mostra coerente com o resultado do teste Kruskal-Wallis.

5.2.3 Desvio de Ritmo

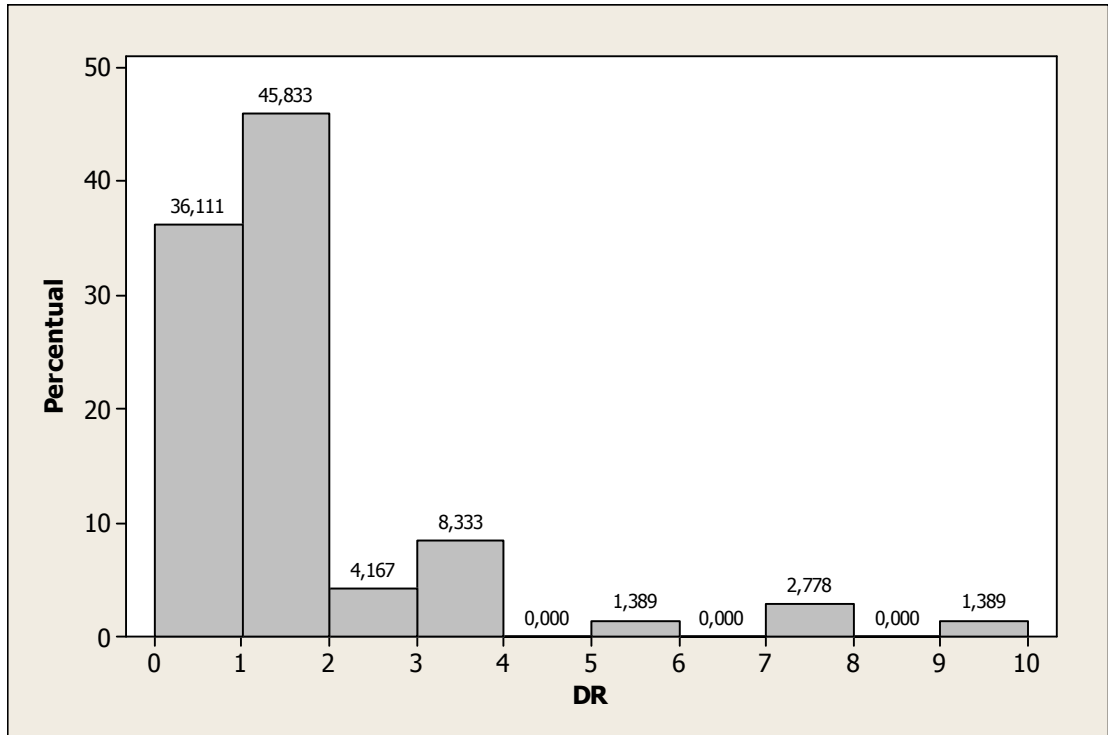
Através da Figura 5.7, consegue-se analisar a distribuição de frequências obtida para o desvio de ritmo (DR) encontrado para as seis obras. O histograma foi elaborado com o desvio de ritmo na escala transformada.

Percebe-se que aproximadamente 45% do DR encontra-se entre 1 e 2 na escala transformada e cerca de 36% encontra-se entre 0 e 1, ou seja, aproximadamente 81% apresenta o DR entre 0 e 2.

Utilizando-se uma classificação análoga à utilizada para o DP, pode-se classificar o DR em “ruim”, “bom” e “ótimo”, como descrito no item 4.2.3. Assim, quando o DR for maior que 100,00%, considera-se “ótimo”, pois apresenta avanço físico real maior, se comparado com o previsto; DR igual a 100,00% considera-se “bom”, pois o prazo previsto foi igual ao executado; DR menor que 100,00%, considera-se “ruim”, pois o prazo executado foi menor que o previsto. Dessa forma, observou-se

a situação para as faixas de valores determinadas no histograma descrita na Tabela 5.13.

Figura 5.7 – Histograma de Desvio de ritmo



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 5.13 – Resumo da classificação para as faixas de valores do histograma para o DR

Faixa de valores	Valores reais	Classificação	Percentual encontrado
0 – 1	0,00% – 89,12%	Ruim	36,110
1 – 2	89,12% – 178,23%	Ruim / Bom / Ótimo	45,830
2 – 3	178,23% – 267,35%	Ótimo	4,170
3 – 4	267,35% – 356,46%	Ótimo	8,330
4 – 5	356,46% – 445,58%	Ótimo	0,000
5 – 6	445,58% – 534,69%	Ótimo	1,390
6 – 7	534,69% – 623,81%	Ótimo	0,000
7 – 8	623,81% – 712,92%	Ótimo	2,780
8 – 9	712,92% – 802,04%	Ótimo	0,000
9 – 10	802,04% – 891,15%	Ótimo	1,390

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que um somatório de 36,11% das amostras apresentou classificação “ruim”; 45,83% apresentaram classificação “Ruim / Bom / Ótimo”; e 18,06% apresentaram classificação “ótimo”. Como a faixa de classificação “ruim / bom / ótimo” apresenta um percentual de 45,83% das obras encontradas, ou seja, um percentual representativo, essa faixa será analisada com maior detalhe. Na Tabela 5.14, observa-se o resumo da frequência e percentual encontrado para os valores entre 1 e 2.

Tabela 5.14 – Resumo da frequência encontrada para a faixa entre 1 e 2 para o DR

Faixa de valores	Valores reais	Classificação	Frequência	Percentual encontrado (%)
1 – 2	89,12% – 110,00%	Ruim	11	15,270%
1 – 2	100,00%	Bom	0	0,000%
1 – 2	100,00% – 178,23%	Ótimo	22	30,560%

Fonte: Elaborado pela autora.

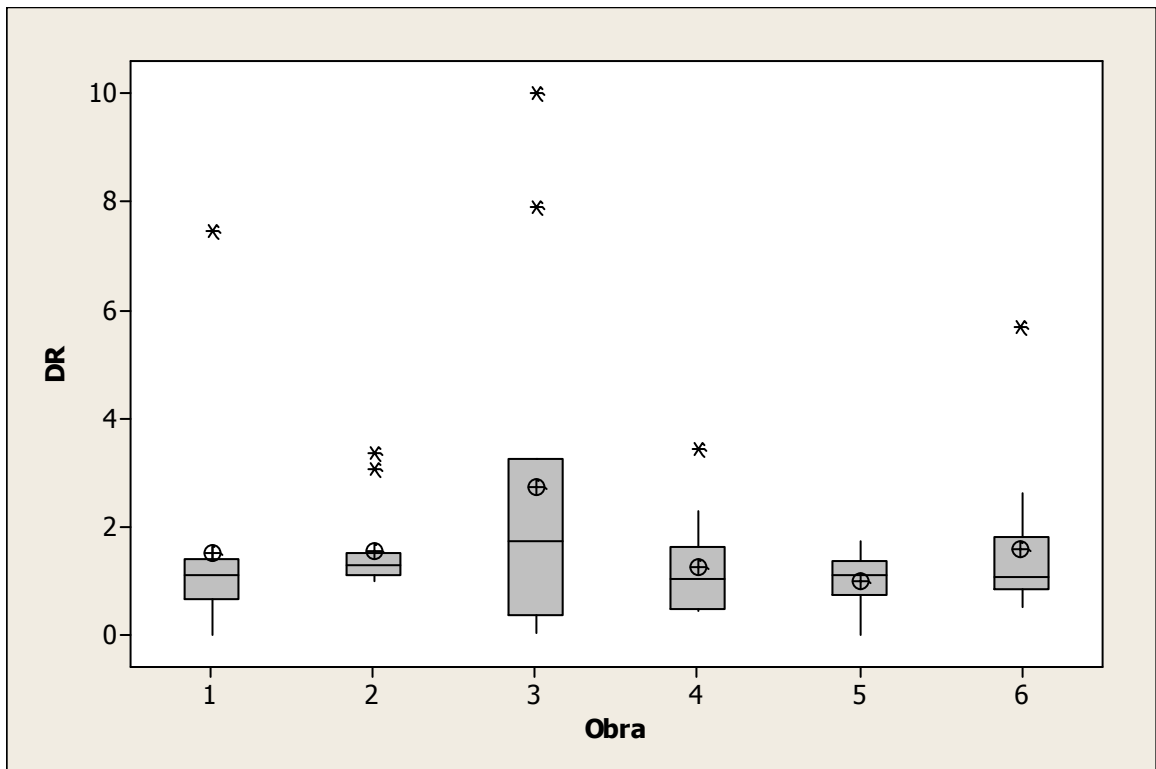
Assim, percebe-se que um total de 51,38% das amostras apresentou classificação “ruim”; 0,00% apresentaram classificação “bom”; e 48,62% apresentaram classificação “ótimo”.

Com o objetivo de identificar o comportamento de cada empreendimento e justificar os resultados encontrados para os indicadores, realizou-se a análise estatística separadamente para cada obra e elaborou-se a Tabela 5.15, onde foram resumidos os dados encontrados, e o gráfico *boxplot* por obra, apresentado na Figura 5.8.

Tabela 5.15 – Resumo da análise estatística por obra para o DR

OBRA	Tamanho da amostra (n)	Média	Desvio padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
1	12	1,493	1,935	0,000	1,090	7,470
2	12	1,556	0,788	0,980	1,285	3,350
3	12	2,717	3,196	0,030	1,720	10,000
4	12	1,232	0,891	0,420	1,040	3,420
5	12	0,985	0,549	0,000	1,090	1,720
6	12	1,568	1,419	0,50	1,075	5,690

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 5.8 – Gráfico *boxplot* do indicador DR por obra

Fonte: Elaborado pela autora.

Percebe-se que a pior média de valores para DR está na obra 5, aproximadamente 0,985, sendo considerada “ruim”. Em contrapartida, a obra 3 é a que apresenta a melhor média, próxima de 2,7. A obra 3 contém a maior amplitude dos dados. As obras 1, 2, 3, 4 e 6 apresentaram *outliers*, ou seja, valores atípicos.

De acordo com os valores encontrados para a média de cada obra, pode-se classificar o comportamento do indicador DR. As classificações encontradas foram resumidas no Quadro 5.5.

Quadro 5.5 – Resumo da classificação do DR por obra, segundo a média

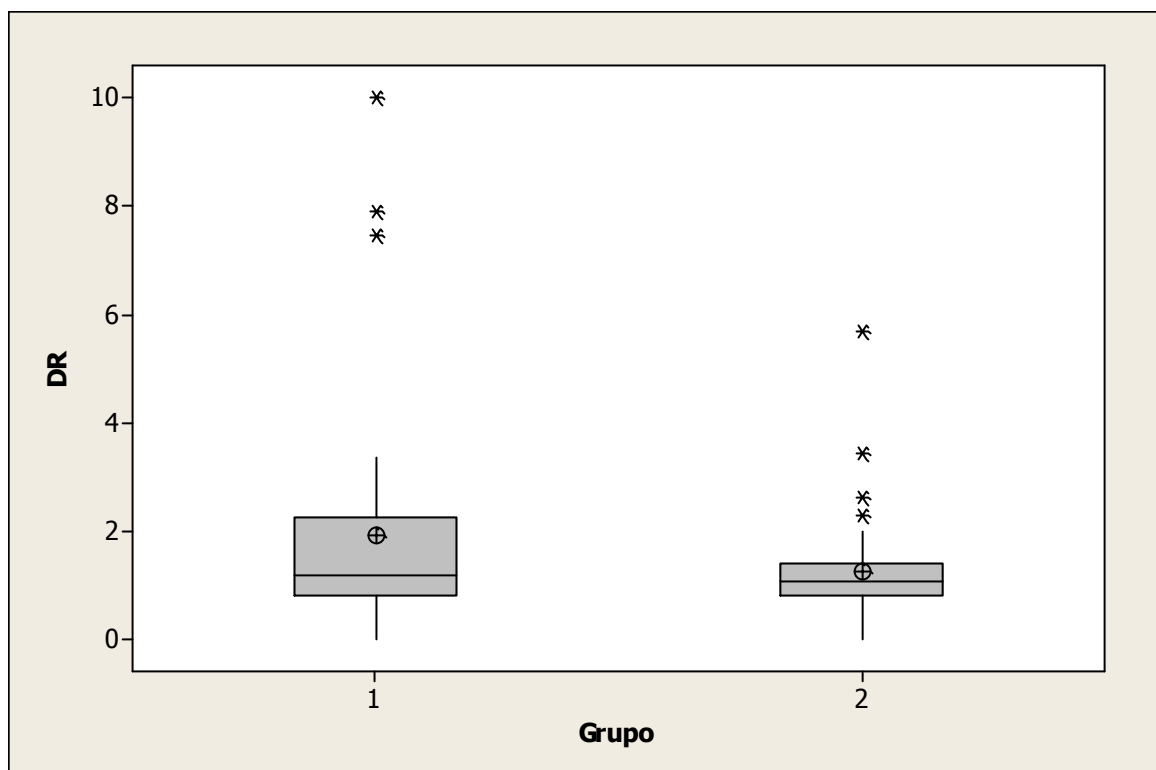
Valores de DR	Classificação	Obra
DR > 100,00%	Ruim	5
DR = 100,00%	Bom	-
DR ≤ 100%	Ótimo	1, 2, 3, 4 e 6

Fonte: Elaborado pela autora.

Assim, percebe-se que apenas a obra 5 apresenta valor, em média, ruim para o DR. As obras 1, 2, 3, 4 e 6 apresentaram a média do indicador DR “ótimo”. Esses valores serão comparados com os outros indicadores e no item 5.4 serão analisados, de acordo com observações realizadas ao longo da execução das obras.

Buscando compreender as diferenças entre os dois grupos de obras, confeccionou-se o gráfico de *boxplot* para os grupos, conforme Figura 5.9. Observando o gráfico de *boxplot* do DR para os grupos, percebe-se que a média do indicador DR do grupo 1, próxima de 2, é maior que a média do grupo 2, próxima de 1,5, ou seja, o grupo 1 apresentou melhores resultados para o indicador DR. A faixa de variação de valores do Grupo 1 está entre 0,8 e 2,2, já a faixa de valores do Grupo 2, está entre 0,8 e 1,4. Assim, o Grupo 1 apresenta os valores do DR mais dispersos. Além disso, foram encontrados *outliers* nos dois grupos.

Figura 5.9 – Gráfico *boxplot* do DR para os grupos de obra



Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.3.1 Testes estatísticos para o Desvio de Ritmo

Analisando o indicador DR, verifica-se que os valores encontrados variaram pouco, demonstrando a pequena amplitude encontrada no gráfico *boxplot* (Figura 5.8). Os valores de média e mediana também apresentaram pequena variação. Buscando verificar a existência ou não de diferenças significativas no valor do DR entre as diversas obras, foi realizado o teste de Kruskal-Wallis. Os resultados encontrados podem ser observados na Tabela 5.16.

Tabela 5.16 – Resumo dos resultados do teste Kruskal-Wallis para o DR

Item estatístico	Valor encontrado
H	3,430
$X^2_{0,05,5}$	11,070
p	0,635
A	0,050
Conclusão	Aceita-se H_0

Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme a Tabela 5.16, aceita-se a hipótese H_0 , pois o valor crítico $X^2_{0,05,5}$ é maior que o H e o valor de p é maior que α . Assim, conclui-se que os valores de DP para as obras não apresentam diferenças significativas com nível de significância de 5,0%.

Foi também realizado o teste de Mann-Whitney para o indicador DR, considerando os dois grupos de obras. Os resultados encontrados podem ser observados na Tabela 5.17.

Tabela 5.17 – Resumo dos resultados do teste Mann-Whitney para o DR

Item estatístico	Valor encontrado
$ z_0 $	1,081
$Z_{0,025}$	1,960
p	0,282
α	0,050
Conclusão	Aceita-se H_0

Fonte: Elaborado pela autora.

Percebe-se que a hipótese H_0 será aceita, pois o valor de $|z_0|$ é inferior ao valor de $z_{0,025}$ e o valor de p é maior que α . Conclui-se que os grupos não diferem significativamente em relação ao valor obtido para o DR com nível de significância de 5,0%, o que se mostra coerente com o resultado do teste Kruskal-Wallis.

5.3 Resumo dos resultados

Após a realização dos testes estatísticos, que visaram verificar se os indicadores diferem significativamente na população, confeccionou-se o Quadro 5.6 com o resumo dos resultados encontrados para cada indicador.

Quadro 5.6 – Resumo dos testes estatísticos realizados

INDICADOR	Resultado do teste estatístico	
	Kruskal-Wallis	Mann-Whitney
Desvio de custo (DC)	Rejeita-se H_0	Rejeita-se H_0
Desvio de prazo (DP)	Aceita-se H_0	Aceita-se H_0
Desvio de Ritmo (DR)	Aceita-se H_0	Aceita-se H_0

Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com o Quadro 5.6, observa-se que os testes realizados para o desvio de custo concluíram que o DC difere significativamente, tanto para a análise das seis obras (teste de Kruskal-Wallis), quanto para a análise dos dois grupos em estudo (teste de Mann-Whitney). Já os testes realizados para o desvio de prazo e o desvio de ritmo concluíram que o DP e o DR não diferem significativamente, tanto para a análise das seis obras (teste de Kruskal-Wallis), quanto para a análise dos dois grupos em estudo (teste de Mann-Whitney).

Esperava-se que os testes para o DC não apresentassem diferenças significativas, estatisticamente, conforme os resultados encontrados para os outros indicadores. Conforme Tabela 5.5, percebe-se que a obra 2 apresentou uma média alta, se comparada com as outras obras. Assim, serão realizados os testes excluindo os dados da obra 2, os resultados encontrados podem ser observados nas Tabelas 5.18 e 5.19.

Tabela 5.18 – Resumo dos resultados do teste Kruskal-Wallis para o DC, excluindo a obra 2

Item estatístico	Valor encontrado
H	18,49
$X^2_{0,05,5}$	11,070
p	0,001
α	0,050
Conclusão	Rejeita-se H_0

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 5.19 – Resumo dos resultados do teste Mann-Whitney para o DC, excluindo a obra 2

Item estatístico	Valor encontrado
$ z_0 $	1,200
$Z_{0,025}$	1,960
p	0,2332
α	0,050
Conclusão	Aceita-se H_0

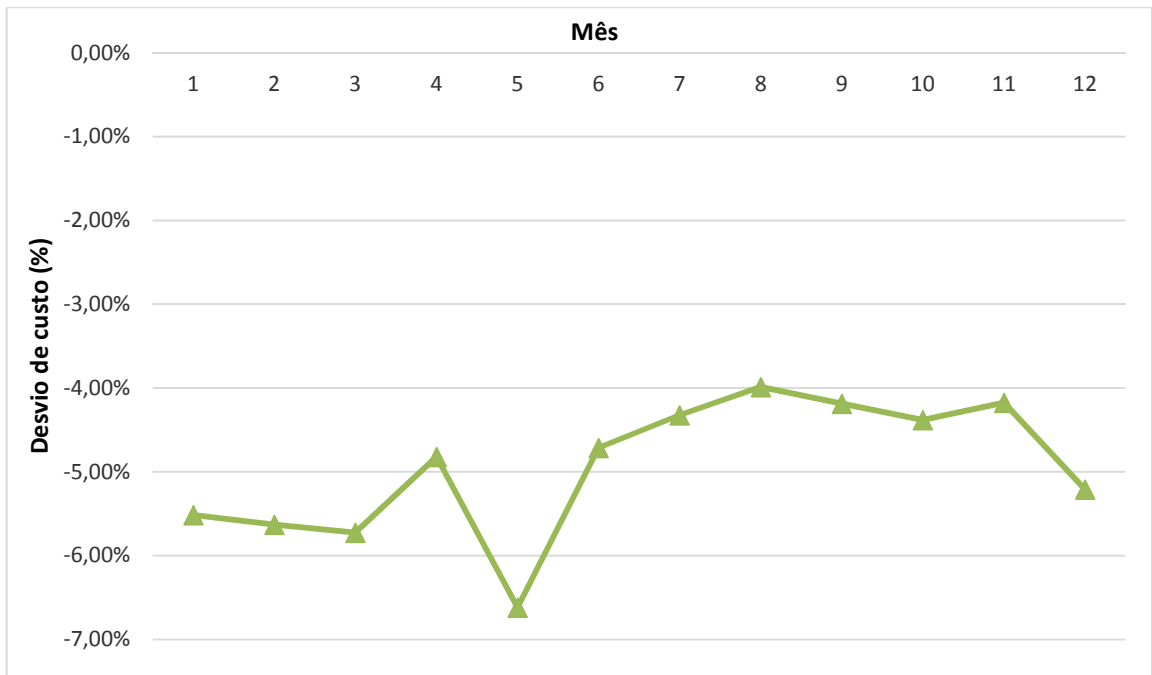
Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme resultados encontrados, percebe-se que o DC variou significativamente para o teste global (Kruskal-Wallis), já para o teste entre os grupos (teste de Mann-Whitney), não foram encontradas diferenças significativas, ou seja, a obra 2 influenciou nos resultados dos testes para os grupos.

Percebe-se que o Grupo 1, obras de terraplenagem, e o Grupo 2, obras de pavimentação/acesso, não apresentaram diferença significativa para os indicadores, como esperado, pois as obras apresentam metodologias construtivas semelhantes. Concluindo-se que o tipo de obra não gerou diferenças entre os grupos.

Buscando verificar a influência da obra 2 nos resultados, realizou-se uma análise dos documentos de obras. Através desses documentos, chega-se à conclusão que foi possível uma grande economia do custo ao longo da execução, pois a construtora estava desenvolvendo outra obra na região, dessa forma, os recursos indiretos foram compartilhados. Essa característica pode ser visualizada na Figura 5.10.

Figura 5.10 – Gráfico do DC ao longo do período analisado para a obra 2



Fonte: Elaborado pela autora.

5.4 Análise das obras

Buscando justificar os resultados encontrados para os empreendimentos realizados, elaborou-se o Quadro 5.7 com o resumo das classificações para cada indicador, por obra, baseando-se na média.

Quadro 5.7 – Resumo dos resultados encontrados para cada indicador, por obra, segundo a média

OBRA	Classificação		
	DC	DP	DR
Obra 1	Aceitável	Ótimo	Ótimo
Obra 2	Ótimo	Ótimo	Ótimo
Obra 3	Aceitável	Ruim	Ótimo
Obra 4	Aceitável	Ruim	Ótimo
Obra 5	Ótimo	Ótimo	Ruim
Obra 6	Aceitável	Ótimo	Ótimo

Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando-se o Quadro 5.7 percebe-se que as obras 1, 2 e 6 apresentaram resultados satisfatórios para os três indicadores. Já as demais obras apresentaram resultados divergentes entre os indicadores, sendo dois considerados satisfatórios e o outro ruim.

5.4.1 Resultados divergentes

A seguir, serão apresentadas as análises para as obras que apresentaram resultados divergentes. Os resultados completos para cada obra, serão apresentados no Apêndice A.

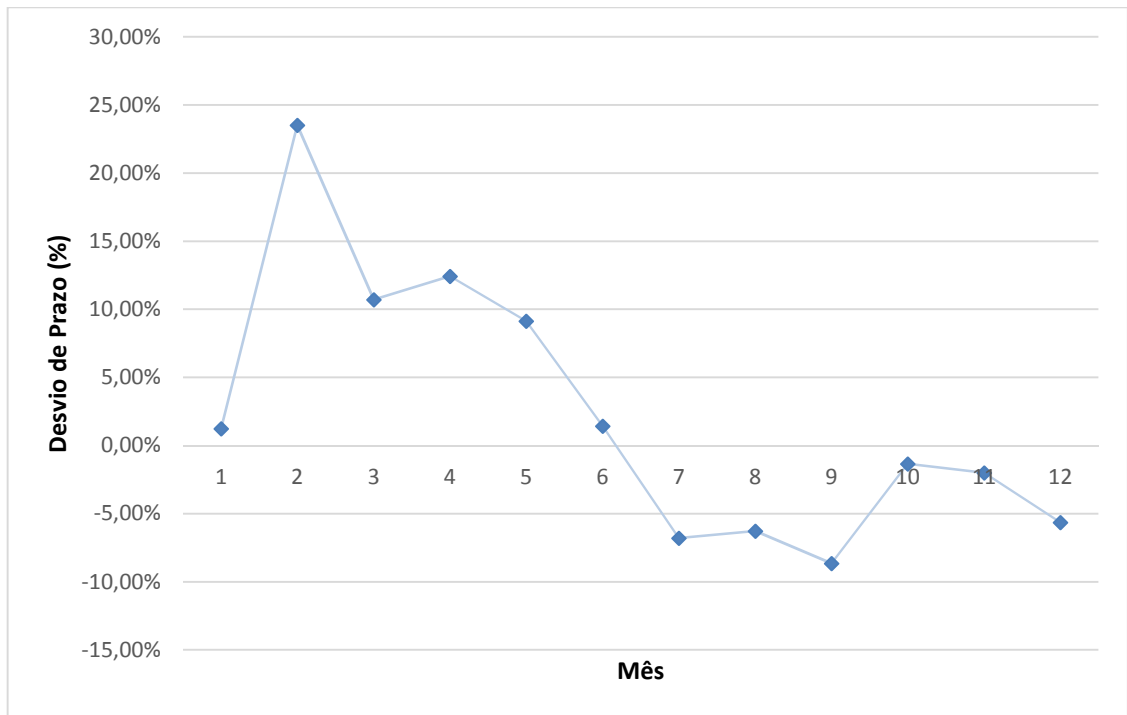
5.4.1.1 Obra 3

De acordo com o Quadro 5.7 a obra 3 apresenta um DP ruim e um DR ótimo. Nas Figuras 5.11 e 5.12 pode-se observar o comportamento do DP e do DR, respectivamente, ao longo do período analisado da obra. De acordo com os gráficos o DP e o DR apresentam o mesmo comportamento, ou seja, quando um tem comportamento ruim, o outro também.

Dessa forma, os resultados divergentes encontrados para a média do DP e do DR para a obra 3, ocorrem devido os valores do DR serem maiores, em termos absolutos, o que fez com que a média tendesse para a classificação “ótimo”. Essa diferença também se deve ao fato do DP ser calculado com base na projeção do prazo da obra e o DR ser determinado pela razão entre o avanço físico real e o avanço físico previsto.

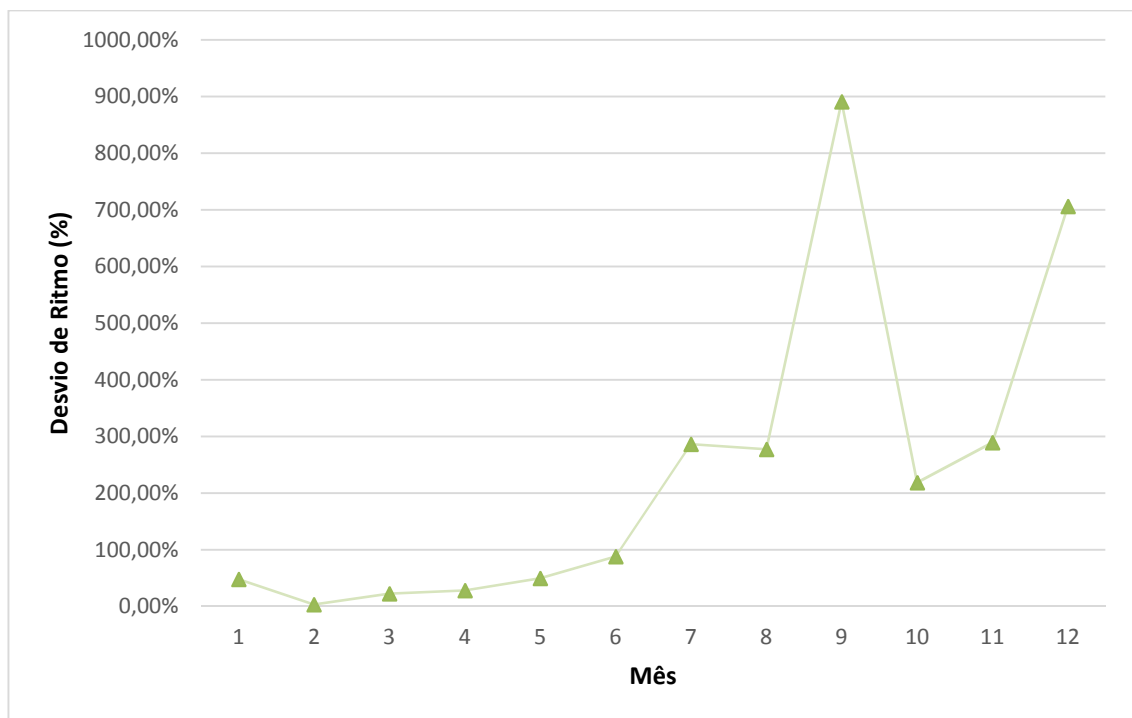
Os valores altos encontrados para o DR devem-se a produção real ter sido muito maior que a programada, devido principalmente às condições climáticas para o período, pois na etapa do orçamento foram previstas elevadas precipitações, que não se confirmaram. Vale ressaltar que o prazo analisado da obra 3 é inferior ao período total de execução.

Figura 5.11 – Gráfico do DP ao longo do período analisado para a obra 3



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 5.12 – Gráfico do DR ao longo do período analisado para a obra 3



Fonte: Elaborado pela autora.

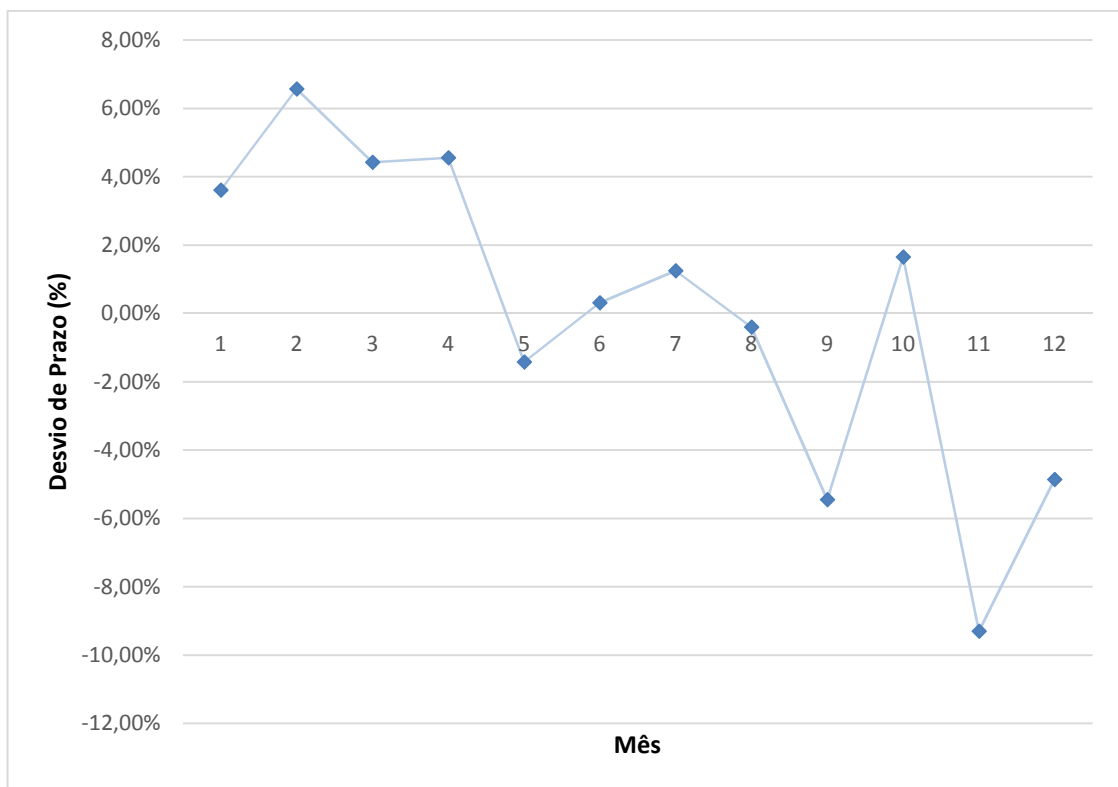
O comportamento do DC para a Obra 3 ao longo de o todo período pode ser observando no Apêndice A. Analisando segundo a média a obra 3 também

apresenta um DC “aceitável”, porém ela apresentou um valor de DC “ótimo”, durante a maioria do período.

5.4.1.2 *Obra 4*

De acordo com o Quadro 5.7 a obra 4 também apresenta um DP ruim e um DR ótimo. Nas Figuras 5.13 e 5.14 pode-se observar o comportamento do DP e do DR, respectivamente, ao longo do período analisado da obra. De acordo com os gráficos o DP e o DR apresentam o mesmo comportamento, ou seja, quando um tem comportamento ruim, o outro também.

Figura 5.13 – Gráfico do DP ao longo do período analisado para a obra 4



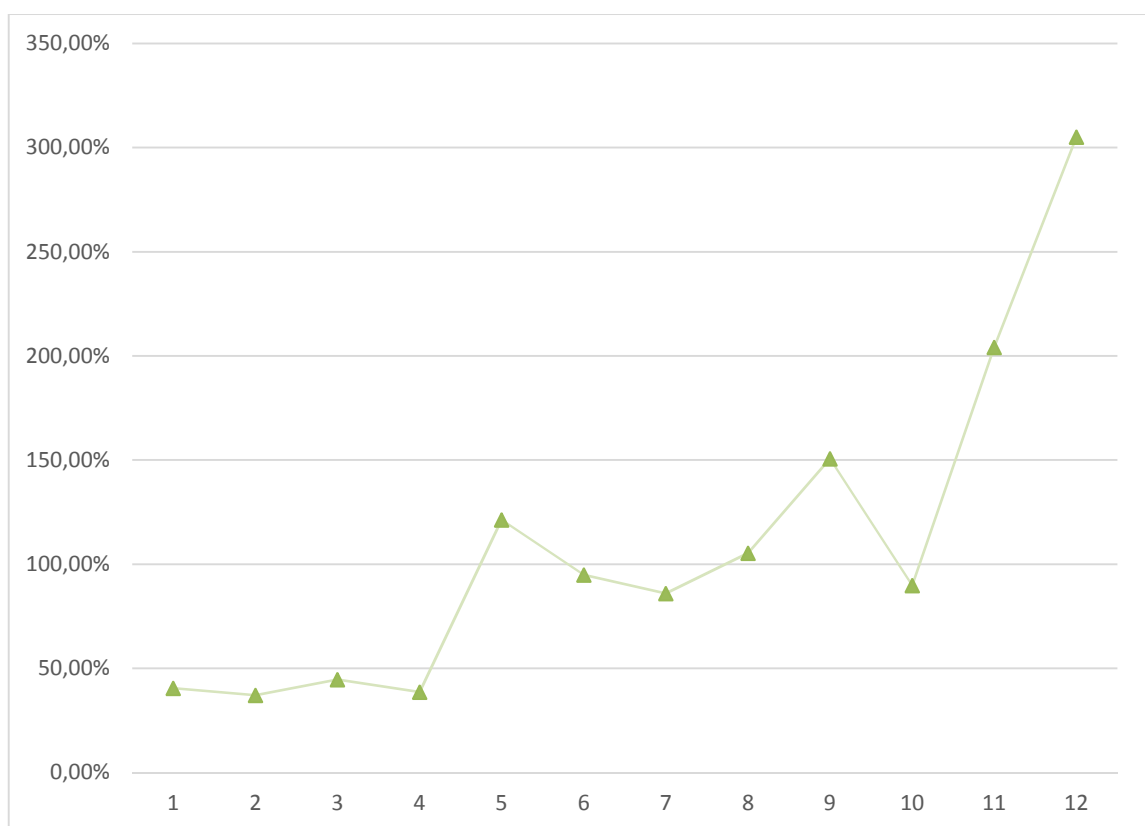
Fonte: Elaborado pela autora.

Dessa forma, os resultados divergentes encontrados para a média do DP e do DR para a obra 4, ocorrem devido os valores do DR serem maiores, em termos absolutos, o que fez com que a média tendesse para a classificação “ótimo”. Essa diferença também se deve ao fato do DP ser calculado com base na projeção do

prazo da obra e o DR ser determinado pela razão entre o avanço físico real e o avanço físico previsto.

Os valores altos encontrados para o DR devem-se a produção real ter sido muito maior que a programada, na etapa de desmobilização, ou seja, ocorreu uma aceleração na execução das obras no final do período. Vale ressaltar que o prazo analisado da obra 4 coincide com o período total de execução.

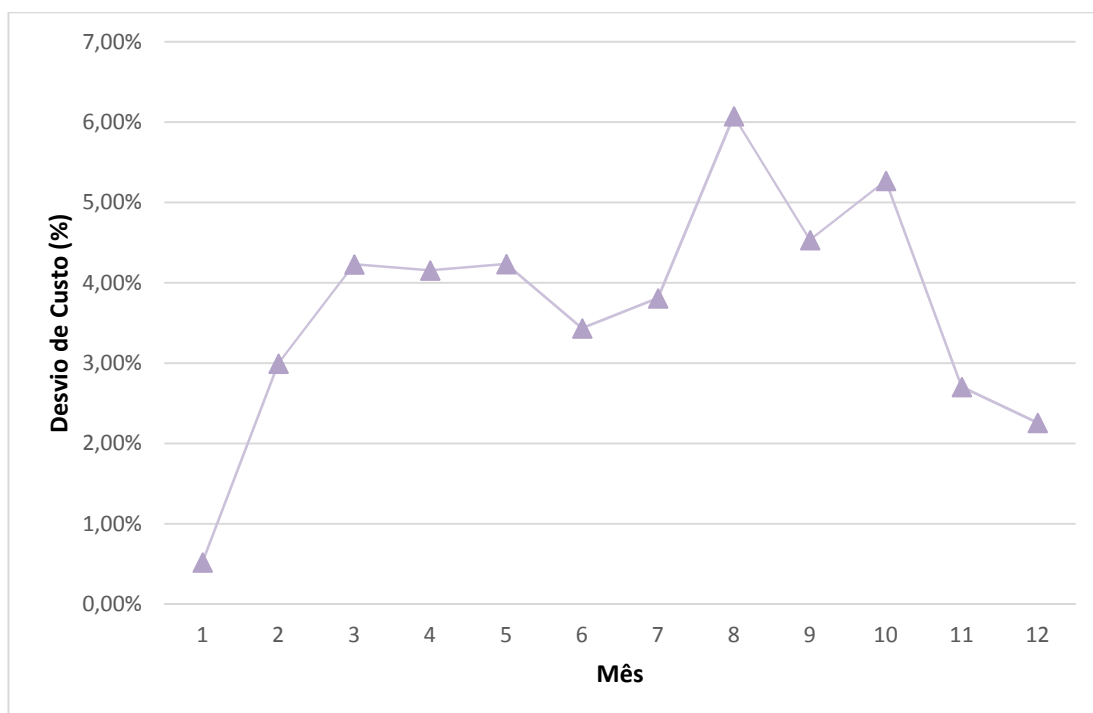
Figura 5.14 – Gráfico do DR ao longo do período analisado para a obra 4



Fonte: Elaborado pela autora.

A obra 4 também apresenta um DC “aceitável”, na Figura 5.15 pode-se observar o comportamento do DC ao longo do período analisado. De acordo com o gráfico, o valor do DC foi “aceitável” durante todo o período, mas observa-se que o desvio máximo foi de aproximadamente 6,00%, ou seja, um valor considerado baixo para obras comerciais de grande porte.

Figura 5.15 – Gráfico do DC ao longo do período analisado para a obra 4



Fonte: Elaborado pela autora.

5.4.1.3 Obra 5

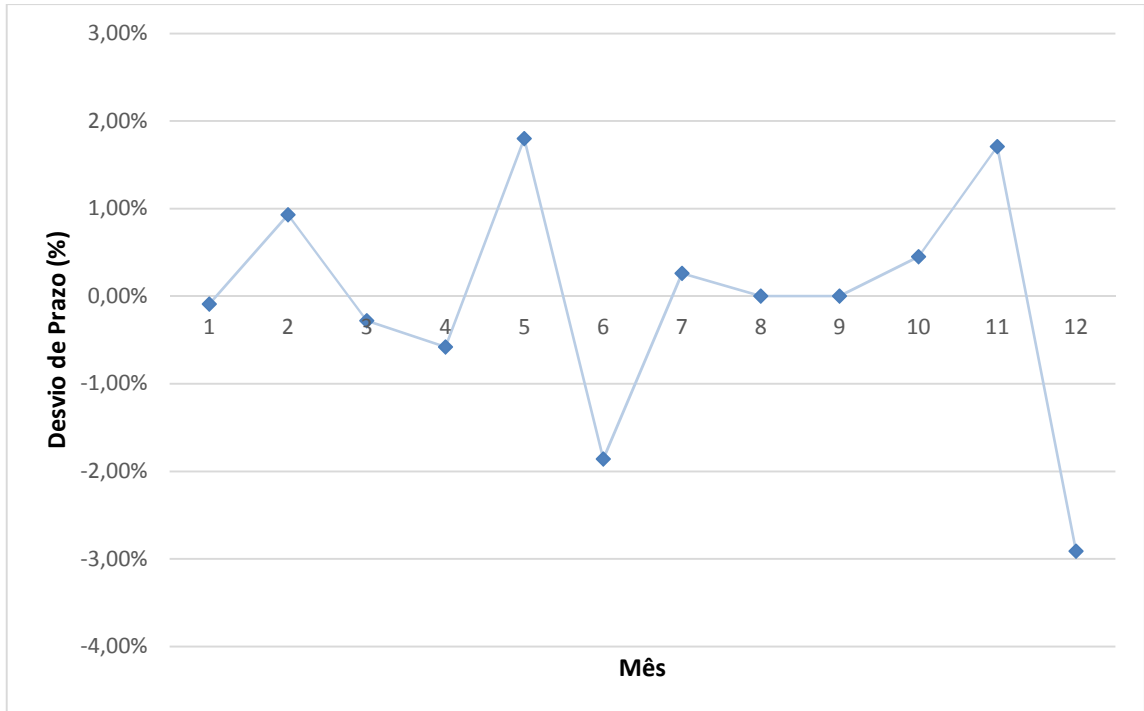
De acordo com o Quadro 5.7 a obra 5 também apresenta um DP ótimo e um DR ruim. Nas Figuras 5.16 e 5.17 pode-se observar o comportamento do DP e do DR, respectivamente, ao longo do período analisado da obra. De acordo com os gráficos o DP e o DR apresentam o mesmo comportamento, ou seja, quando um tem comportamento ruim, o outro também.

Dessa forma, os resultados divergentes encontrados para a média do DP e do DR para a obra 5, se devem ao fato dos valores dos meses 8 e 9 apresentarem avanço físico de 0,00%. Esse fato fez com que o DP tendesse a um valor próximo de zero, gerando um resultado ótimo, média de -0,54%. Já a média do DR tendeu para um valor ruim de 84,57%.

Os valores encontrados para o DR devem-se ao fato do escopo ter reduzido nos meses 8 e 9, o que causou um avanço físico de 0,00%. Esse fato ocorreu devido a

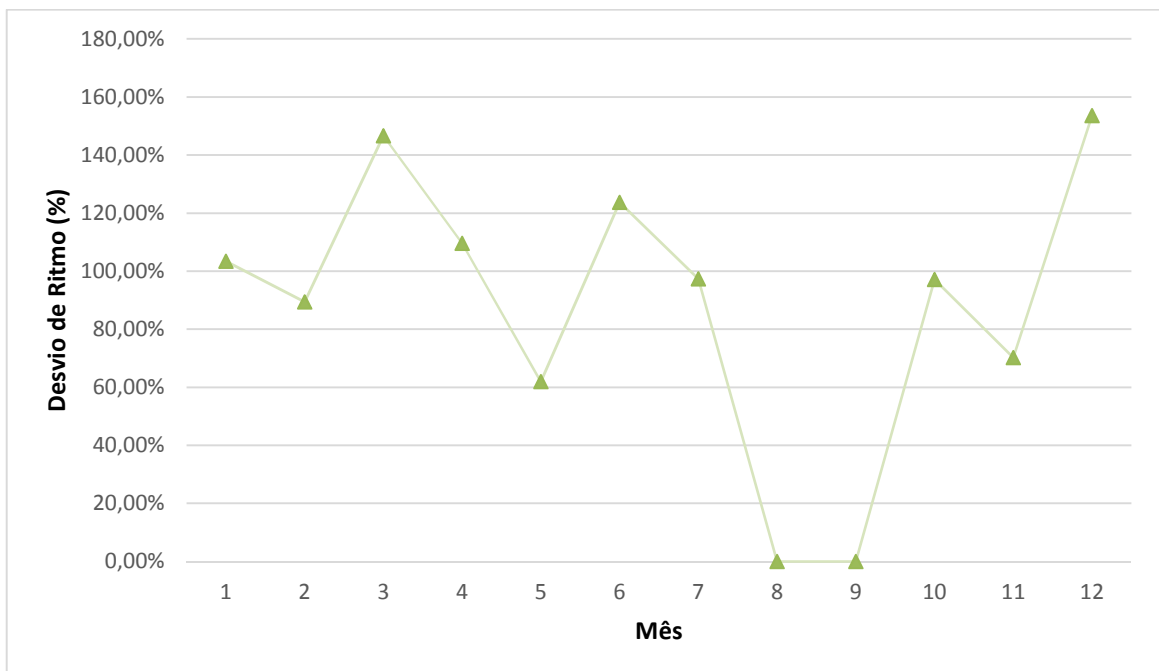
alteração de especificação de material para pavimentação de um trecho do acesso. Vale ressaltar que o período de execução da obra 5 extrapola o período analisado.

Figura 5.16 – Gráfico do DP ao longo do período analisado para a obra 5



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 5.17 – Gráfico do DR ao longo do período analisado



Fonte: Elaborado pela autora.

5.5 Análise de correlação e regressão

Após a análise dos indicadores, de forma global e por grupos, pretende-se verificar a existência ou não de correlação entre as variáveis e determinar a função de regressão. As análises de correlação e de regressão são métodos estatísticos amplamente utilizados para estudar o grau de relacionamento entre variáveis.

5.5.1 Análise de correlação

Segundo Levin *et al.* (2012), a análise de correlação fornece um número, coeficiente de Pearson (r), indicando como duas variáveis variam conjuntamente, medindo a intensidade e a direção da relação linear entre elas.

Considerando a hipótese H_0 , que estabelece que não existe correlação na população ($r = 0$) e a hipótese H_1 , que estabelece que existe correlação entre as variáveis, foram realizados testes de correlação entre o DC e o DP; entre o DC e o DR; entre o DP e DR. A Tabela 5.20 apresenta um resumo dos testes de correlação realizados entre as variáveis.

Tabela 5.20 – Resumo dos testes de correlação entre as variáveis

Teste	r	p	α	Resultado
DC – DP	0,324	0,005	0,050	Rejeita-se H_0
DC – DR	0,351	0,003	0,050	Rejeita-se H_0
DP – DR	0,540	0,000	0,050	Rejeita-se H_0

Fonte: Elaborado pela autora.

Observando-se a Tabela 5.20, percebe-se que em todos os testes a hipótese H_0 foi rejeitada, ou seja, verifica-se a existência de uma correlação entre as variáveis. Essa correlação é positiva, para todos os testes, assim, percebe-se uma relação direta entre as variáveis, conforme esperado.

As correlações positivas encontradas entre os indicadores indicam que um avanço físico real inferior ao previsto tende a gerar um atraso da obra e, conseqüentemente, um aumento do custo.

Quanto mais próximo de zero o valor do coeficiente de Pearson (r) estiver, menor é a correlação, dessa forma, verifica-se uma correlação maior entre as variáveis DP e DR, como se esperava, pois acreditava-se existir uma relação maior entre o prazo e o avanço físico da obra.

5.5.2 Análise de regressão

Para o teste de regressão linear simples, supõe-se uma tendência linear entre as variáveis e a existência de uma única variável independente. Assim, serão realizadas análises de regressão entre todas as variáveis envolvidas no estudo, alterando também as variáveis dependente e independente. As Tabelas 5.21 a 5.23 apresentam um resumo dos testes de regressão realizados entre as variáveis, para o modelo do tipo $Y = a + b X$.

Tabela 5.21 – Resumo dos testes de regressão entre as variáveis DC e DP

Descrição	DC (variável dependente)					DP (variável dependente)				
Equação estimada	DC = 2,42 + 0,435 DP					DP = 5,73 + 0,241 DC				
Fonte de variação	GL	SQ	MQ	F ₀	p	GL	SQ	MQ	F ₀	P
Regressão	1	26,89	26,89	8,22	0,005	1	14,91	14,91	8,22	0,005
Erro	70	228,94	3,27			70	126,97	1,81		
Total	71	255,83				71	141,88			
R ²	10,5%					10,5%				

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 5.22 – Resumo dos testes de regressão entre as variáveis DC e DR

Descrição	DC (variável dependente)					DR (variável dependente)				
Equação estimada	DC = 4,88 + 0,382 DR					DR = - 0,180 + 0,322 DC				
Fonte de variação	GL	SQ	MQ	F ₀	p	GL	SQ	MQ	F ₀	P
Regressão	1	31,52	31,52	9,84	0,003	1	26,60	26,60	9,84	0,003
Erro	70	224,31	3,20			70	189,27	2,70		
Total	71	255,83				71	215,87			
R ²	12,3%					12,3%				

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 5.23 – Resumo dos testes de regressão entre as variáveis DP e DR

Descrição	DP (variável dependente)					DR (variável dependente)				
Equação estimada	DP = 6,36 + 0,438 DR					DR = - 3,11 + 0,666 DP				
Fonte de variação	GL	SQ	MQ	F ₀	p	GL	SQ	MQ	F ₀	P
Regressão	1	41,39	41,39	28,84	0,00	1	62,98	62,98	28,84	0,00
Erro	70	100,49	1,43			70	152,89	2,184		
Total	71	141,88				71	215,87			
R ²	29,2%					29,2%				

Fonte: Elaborado pela autora.

O objetivo do teste de regressão é testar a significância da regressão a partir da definição dos parâmetros do modelo ($Y = a + b X$). Assim, definem-se as hipóteses nula H_0 e alternativa H_1 , sendo, H_0 : $b = 0$; e H_1 : $b \neq 0$. Caso a hipótese nula não seja rejeitada pode-se concluir que X é pouco importante para explicar a variação em Y, ou que a relação verdadeira entre X e Y não é linear.

Vale ressaltar que, de forma análoga aos testes de hipóteses anteriormente realizados, pode-se rejeitar H_0 diretamente a partir da constatação de que o valor p obtido é inferior à $\alpha = 0,05$. Dessa forma, conclui-se que para todos os testes a hipótese H_0 foi rejeitada, ou seja, $b \neq 0$.

Analisando-se as Tabelas 5.21 a 5.23 verifica-se que o modelo encontrado na regressão entre as variáveis DP e DR apresenta maior R² (29,2%), ou seja, a equação de regressão representa melhor a relação entre essas variáveis. De acordo com o valor de R² provavelmente outras variáveis devem influenciar na relação de comportamento entre os indicadores.

Com o objetivo de verificar a existência de dependência entre as três variáveis, realizaram-se testes de regressão linear múltipla, variando-se a variável dependente. O modelo adotado para essa análise foi do tipo $Y = a + b X_1 + c X_2$. Os resultados encontrados podem ser observados nas Tabelas 5.24 a 5.26.

Tabela 5.24 – Resumo dos testes de regressão entre os três indicadores – DC variável dependente

Descrição	DC (variável dependente)				
Equação estimada	DC = 3,26 + 0,255 DP + 0,270 DR				
Fonte de variação	GL	SQ	MQ	F ₀	p
Regressão	2	38,068	19,034	6,03	0,004
Erro	69	217,76	3,156		
Total	71	255,83			
R ²	14,9%				

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 5.25 – Resumo dos testes de regressão entre os três indicadores – DP variável dependente

Descrição	DP (variável dependente)				
Equação estimada	DP = 5,81 + 0,114 DC + 0,394 DR				
Fonte de variação	GL	SQ	MQ	F ₀	p
Regressão	2	44,327	22,164	15,68	0,000
Erro	69	97,559	1,414		
Total	71	141,88			
R ²	31,2%				

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 5.26 – Resumo dos testes de regressão entre os três indicadores – DR variável dependente

Descrição	DR (variável dependente)				
Equação estimada	DR = - 3,55 + 0,588 DP + 0,181 DC				
Fonte de variação	GL	SQ	MQ	F ₀	p
Regressão	2	70,447	35,224	16,71	0,000
Erro	69	145,428	2,108		
Total	71	215,87			
R ²	32,6%				

Fonte: Elaborado pela autora.

Dessa forma, verifica-se que as três variáveis apresentam uma relação positiva, ou seja, os coeficientes b e c do modelo são positivos. Conclui-se, também, que para todos os testes a hipótese H_0 foi rejeitada, ou seja, $b \neq 0$ e/ou $c \neq 0$. De acordo com o valor de R^2 provavelmente outras variáveis devem influenciar na relação de comportamento entre os indicadores

Além disso, a equação de regressão que melhor representa a relação entre as três variáveis considera DR como a variável dependente, Tabela 5.26, pois apresenta R^2 de 32,6%.

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho procurou contribuir para a consolidação e refinamento de indicadores que pretendem quantificar e compreender a eficácia do planejamento na construção civil de empreendimentos comerciais, 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. Foram também definidos como objetivos específicos analisar comparativamente o planejamento de longo prazo e o executado ao longo da obra; verificar a existência de relação entre os indicadores; e estabelecer os principais motivos para a diferença ou não do planejamento de longo prazo e a execução para obras comerciais.

A fim de atingir o cumprimento do objetivo principal deste trabalho, procurou-se caracterizar os indicadores para cada empreendimento e analisar os resultados de forma global e por grupo de obras. Assim, foram realizadas análises descritivas, que buscaram caracterizar os indicadores utilizados nesse estudo, através da construção de histogramas, *boxplots* e do cálculo das médias e medianas.

Também foram realizados testes estatísticos com o objetivo de avaliar se os indicadores DC, DP e DR variavam significativamente de acordo com a obra e por grupo. Segundo Oliveira (2007), vale comentar que os testes de hipóteses indicam se os diversos grupos diferem ou não do ponto de vista estatístico, ou seja, se as diferenças obtidas entre as amostras são ou não “estatisticamente significantes”. Dessa forma, a correta interpretação dos resultados dos testes deve ser feita pelo pesquisador, com base em conhecimentos prévios e observando se a “significância estatística” realmente representa uma “significância prática”, ou, como define Montgomery e Runger (2003), uma “significância de engenharia”.

Os testes sugerem que existem diferenças significativas nos valores obtidos para os indicadores de custo, pois as obras apresentam uma grande faixa de custo, causando grandes variações. Porém, percebe-se que o DC foi classificado como “aceitável” ou “ótimo”, o que demonstra uma variação pequena em termos de

significância de engenharia, embora significativa estatisticamente. Dessa forma, os indicadores DC não variaram significativamente, em termos de engenharia.

Já os testes para os indicadores de prazo e de ritmo comprovaram que não existem diferenças significativas entre os valores, de acordo com a obra e o tipo de obra (“terraplenagem” e “acesso/pavimentação”). Esse resultado era esperado, pois o prazo da obra deveria ser cumprido, afinal, essas obras apresentam muitas contratuais, caso os marcos de entregas não fossem cumpridos.

Visando verificar a relação entre os indicadores, foram realizadas análises de correlação. Percebe-se que em todos os testes a hipótese H_0 foi rejeitada, ou seja, verifica-se a existência de uma correlação entre as variáveis e foi verificada uma relação direta entre os indicadores, para todos os testes.

Para os testes de regressão linear simples, supõe-se uma tendência linear entre as variáveis e a existência de uma única variável independente. Dessa forma, conclui-se que para todos os testes que a hipótese H_0 foi rejeitada, ou seja, $b \neq 0$. Assim, pode-se concluir que X é importante para explicar a variação em Y. Porém, de acordo com os valores de R^2 obtidos nos modelos, provavelmente outras variáveis devem influenciar na relação de comportamento entre os indicadores.

Para os testes de regressão linear múltipla, conclui-se, também, que a hipótese H_0 foi rejeitada, ou seja, pelo menos um dos coeficientes não são nulos. Através desse modelo, chega-se ao maior valor de R^2 encontrado para os testes de regressão, 32,6%, tendo-se um indicativo de que outras variáveis influenciam no comportamento dos indicadores.

Como sugestão para trabalhos futuros, tem-se a identificação e teste de outras variáveis que influenciam no comportamento dos indicadores, além do estudo de uma amostra maior e mais representativa. Deve-se, também, verificar se a relação entre os indicadores pode ser melhor explicada por outros modelos de regressão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, M., & Dhafir, N. (2002). ***Establishing and improving manufacturing performance measures***. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, (18(3-4)), 171–176.
- AKKARI, A. M. P. **Interligação entre o planejamento de longo, médio e Curto prazo com o uso do pacote computacional MSPROJECT**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2003.
- BALLARD, G. ***Look ahead Planning: the missing link in production control***. In: *ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 5, 1997, Gold Coast. Proceedings... Gold Coast: 1997*.
- BALLARD, G. ***The Last Planner System of Production Control***. 2000. 192f. *Thesis (Doctor of Philosophy) - School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Birmingham, Birmingham, 2000*.
- BARROS, A. L. **Indicadores de Desempenho na Construção Civil: uma análise nas empresas de construção civil na Região Norte de Portugal**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão da Qualidade) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão da Qualidade, Universidade do Minho, Portugal, 2017.
- BORTOLAZZA, R. C. **Contribuições para a Coleta e a Análise de Indicadores de Planejamento e Controle da Produção na Construção Civil**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.
- CHOO, H.; TOMMELEIN, I.; BALLARD, G.; ZABELLE, T. ***Workplan: database for work package production scheduling***. In: *Journal of Construction Engineering and Management*, June 1999, Vol. 125, No. 3 : pp. 151-160
- COELHO, H. O. **Diretrizes e requisitos para o planejamento e controle da produção em nível de médio prazo na construção civil**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2003.
- COHENCA, D.; LAUFER, A.; LEDBETTER, F. **Factors Affecting Construction Planning Efforts**. *Journal of Construction Engineering and Management*, New York, v.115, n.1, p.70-89, 1989.
- COSTA, D. B. **Diretrizes para Concepção, Implementação e Uso de sistemas de Indicadores de Desempenho para Empresas da Construção Civil**. 2003. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRBS, Porto Alegre, 2003.

CROWTHER, D. E. A. Corporate Performance operates in three dimensions. **Managerial Auditing Journal**, Birmingham, UK, v. 11, n. 8, p. 4-13, 1996.

DAVIS, G.; OLSON, M. **Sistema de Informação Gerencial**. Colômbia: McGraw-Hill, 1987

Equipe de Planejamento Estratégico. **Indicadores de desempenho**. 2011. Disponível em: <http://www.antaq.gov.br/portal/portal_planejamento_estrategico/PlanejamentoGestao_Indicadores_de_desempenho.asp>. Acesso em: 17 out 2016.

FANIRAN, O.; OLUWOYE, J.; LENARD D. Effective Construction Planning. **Construction Management and Economics**, London, v.12, p. 485-499, 1994.

FORMOSO, C. **A Knowledge Based Framework for Planning House Build Projects**. 1991. Thesis (Doctor of Philosophy) - Department of Quality and Building Surveying, University of Salford, Salford, 1991.

FORMOSO, C. T.; BERNARDES, M. M.; OLIVEIRA, L. F.; OLIVEIRA, K. **Termo de referência para o processo de planejamento e controle da produção em empresas construtoras**. Porto Alegre: NORIE/UFRGS/SINDUSCON/SP, 1999.

FORMOSO, C.T.; COSTA, D. B.; LIMA, H.M.R.; BARTH, K.B. **Sistema de Indicadores para Benchmarking na Construção Civil**: manual de utilização. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Não publicado.

HARRINGTON, J. **Aperfeiçoando Processos Empresariais**. São Paulo: Mackron Books, 1993.

HOPP, W; SPERMAN, M. **Factory Physics: foundation of manufacturing managment**. Boston: McGraw-Hill, 1996.

HOWELL, G; BALLARD, G. **Can Project Controls Do Its Job? In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 4., 1996, Birmingham, UK. Proceedings. Birmingham: University of Birmingham, 1996**

HOWELL, G; BALLARD, G. **Implementing Lean Construction: reducing inflow variation**. In : ALLARCÓN, L. (ED). *Lean Construction*: Rotterdam: A.A. Balkema, 1997.

Hronec, S. (1994). **Sinais vitais - usando medidas de desempenho da qualidade, tempo e custos para traçar a rota para o futuro de sua empresa**. (M. Books, Ed.). São Paulo.

LANTELME, E. M. V.; LIMA H. M. R. **Etapas para Implementação de Sistema de Indicadores de Desempenho**. 2005. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/sisindnet/resenhas/ferramentas-e-instrumentos-de-analise/etapas-para-implementacao-de-sistema-de-indicadores-de-desempenho>>. Acesso em: 18 out 2016.

LAUFER, A.; TUCKER, R. L. ***Is Construction Planning Really Doing its Job? A critical examination of focus, role and process.*** *Construction Management and Economics*, USA, v. 5, p. 243-266, 1987.

LAUFER, A.; TUCKER, R.; SHAPIRA, A.; SHENNAR, A. The Multiplicity Concept in Construction Project Planning. ***Construction Management and Economics***, London, v.12, n.1, p.53-65, 1994.

LEVIN, J. ***Estatística aplicada a ciências humanas.*** São Paulo, Editora Harbra Ltda, 1987.

LEVIN, J.; FOX, A.; FORDE, D. ***Estatística para ciências humanas.*** 11. Ed. São Paulo, Editora Pearson, 2012.

MARCHESAN, P. ***Modelo Integrado de Gestão de Custos e Controle da Produção para Obras Civis.*** 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MATTOS, A. D. ***Planejamento e controle de obras.*** 1. Ed. São Paulo, Editora Pini, 2010.

MOURA, C. B. ***Avaliação do Impacto do Sistema Last Planner no Desempenho de Empreendimentos da Construção Civil.*** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2008.

Neely, A., Richards, H., Mills, J., Platts, K., & Bourne, M. (1997). ***Designing performance measures: a structured approach.*** *International Journal of Operations & Production*

Neely, A., Mills, J., Platts, K., Gregory, M., & Richards, H. (1996). ***Performance measurement system design: Should process based approaches be adopted?*** *International Journal of Production Economics*, 46–47, 423–431.

NEELY, A. et al. ***Design performance measure: a structure approach.*** *International Journal of Operation & Production Management*, Bradford, v. 17, n. 11, p. 1131-1152, 1996.

NEELY, A. et al. ***Realizing strategy through measurement.*** *International Journal of Operation & Production Management*, Bradford, v. 15, n. 3, p. 140-152, 1994.

OLIVEIRA, D. M. ***Estudo dos processos aproximados utilizados para a consideração das não-linearidades física e geométrica na análise global das estruturas de concreto armado.*** 2007. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, UFMG, Belo Horizonte, 2007.

PEREIRA, A. **Desmitificando a Curva S**. 2010. Disponível em: <<http://gerenciamentoprojeto.blogspot.com.br/2010/04/desmitificando-curva-s.html>>. Acesso em: 19 out 2016.

PEREIRA FILHO, J. I.; ROCHA, R. A.; SILVA, L. M. **Planejamento e controle da produção na Construção Civil para gerenciamento de custos**. XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Anais. Florianópolis, 2004.

PEREIRA, M. D. C. **Análise de indicadores de planejamento e desempenho de empreendimentos da construção civil**. 2017. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, UFMG, Belo Horizonte, 2017.

RODRIGUEZ, E. Como fazer a Curva S. 2015. Disponível em: <<https://www.elirodrigues.com/2015/05/22/como-fazer-a-curva-s/>>. Acesso em: 04 fev 2018.

SHAPIRA, A.; LAUFER, A. **Evolution of Involvement and Effort in Construction Planning Throughout Project Life**. *International Journal of Project Management, New York*, v.11, n.3, Aug. 1993.

SINK D.S.; TUTTLE, T.C. **Planejamento e medição para performance**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1993.

TOMMELEIN, I.; BALLARD, G. **Lookahead Planning: screening and pulling**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE LEAN CONSTRUCTION, 1997, São Paulo. Anais. São Paulo: Instituto de Engenharia de São Paulo, 1997.

TURNER, J. R. **The Handbook of Project-Based Management: improving the process for achieving atrategic objectives**. London: McGraw-Hill, 1993 *apud* MOURA, C. B. **Avaliação do Impacto do Sistema Last Planner no Desempenho de Empreendimentos da Construção Civil**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2008.

Venki: **Conheça 10 Indicadores de desempenho de processos (KPI)**. 2015. Disponível em: <<http://www.venki.com.br/blog/indicadores-de-desempenho-de-processos/>>. Acesso em: 17 out 2016.

YIN, R.K. **Estudo de caso: Planejamento e Métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

APÊNDICE A – Resultados das obras

FIGURA A.1 – Gráfico do desvio de custo por mês da obra 1

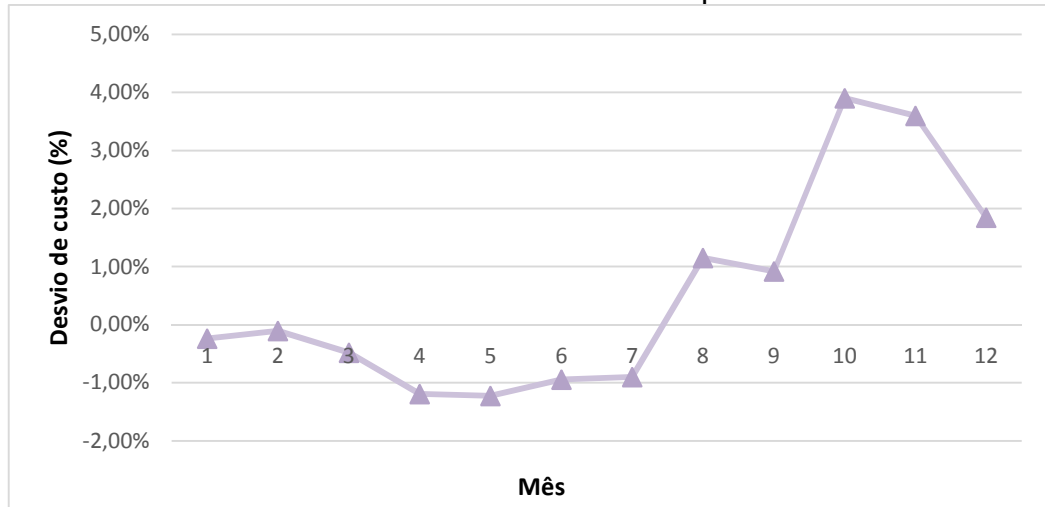


FIGURA A.2 – Gráfico do desvio de prazo por mês da obra 1

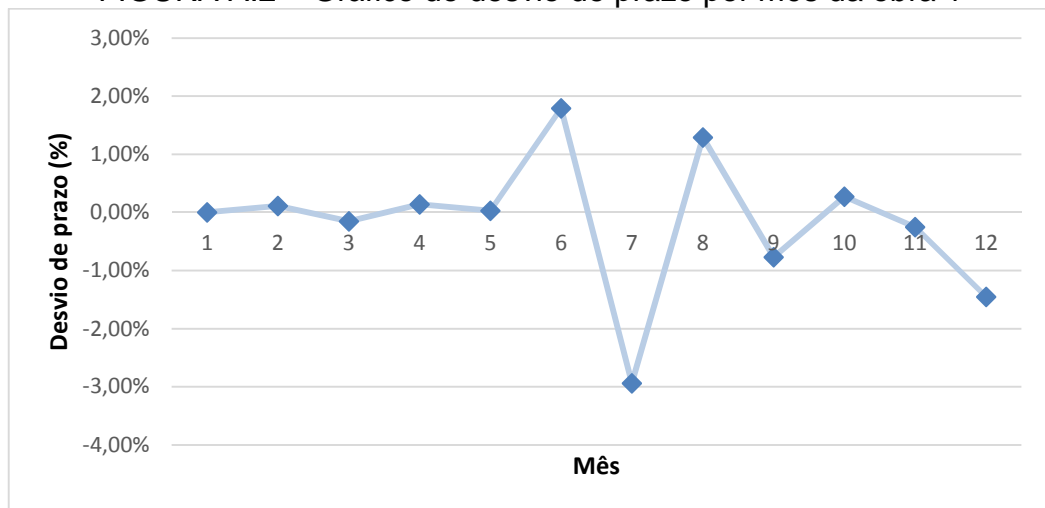


FIGURA A.3 – Gráfico do desvio de ritmo por mês da obra 1

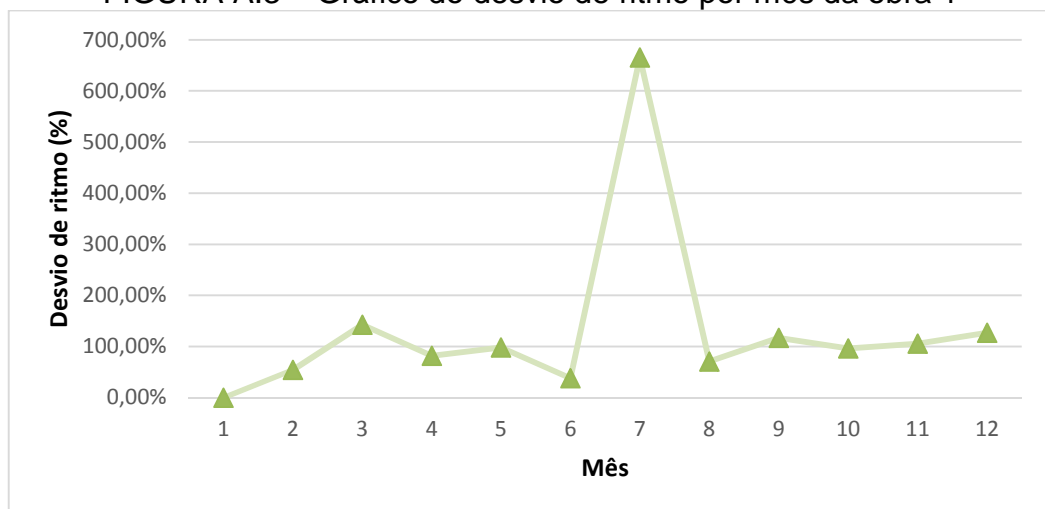


FIGURA A.4 – Gráfico do avanço físico por mês da obra 1

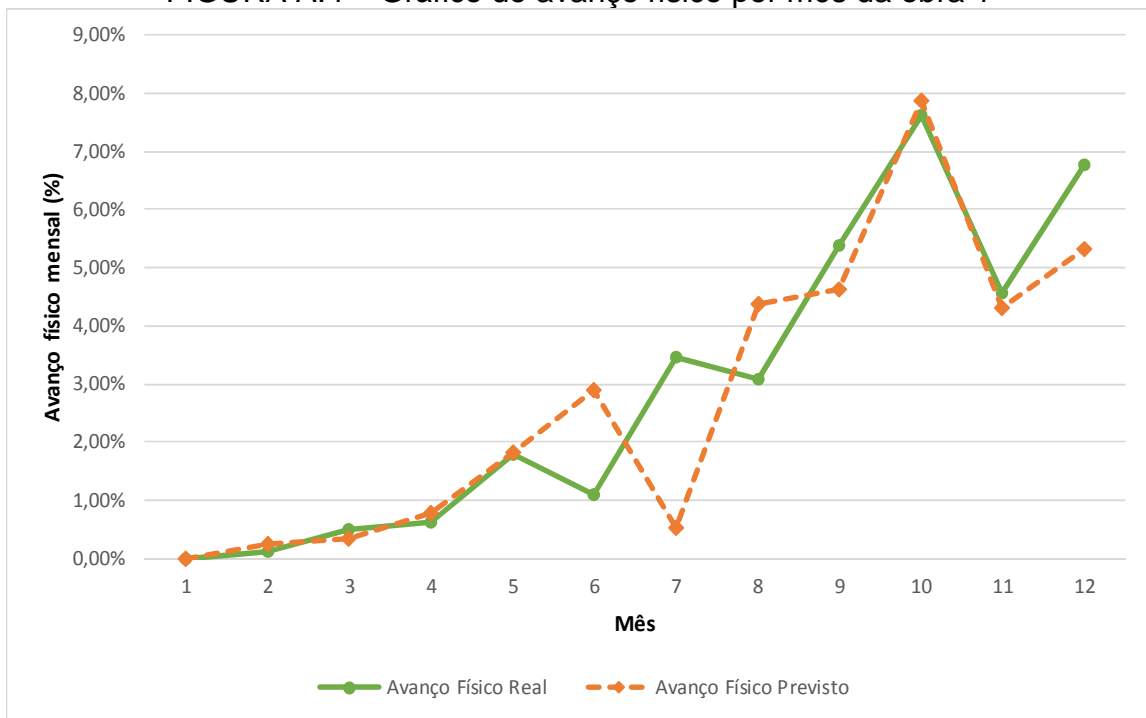


FIGURA A.5 – Gráfico do avanço físico acumulado por mês da obra 1

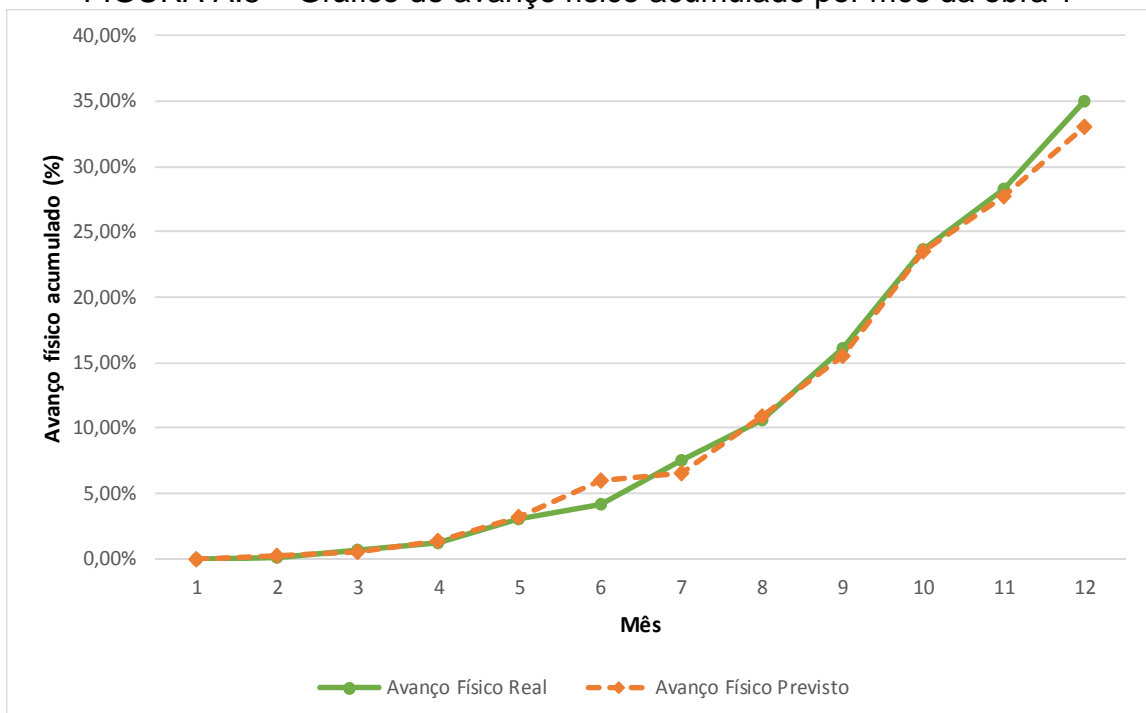


FIGURA A.6 – Gráfico do desvio de custo por mês da obra 2

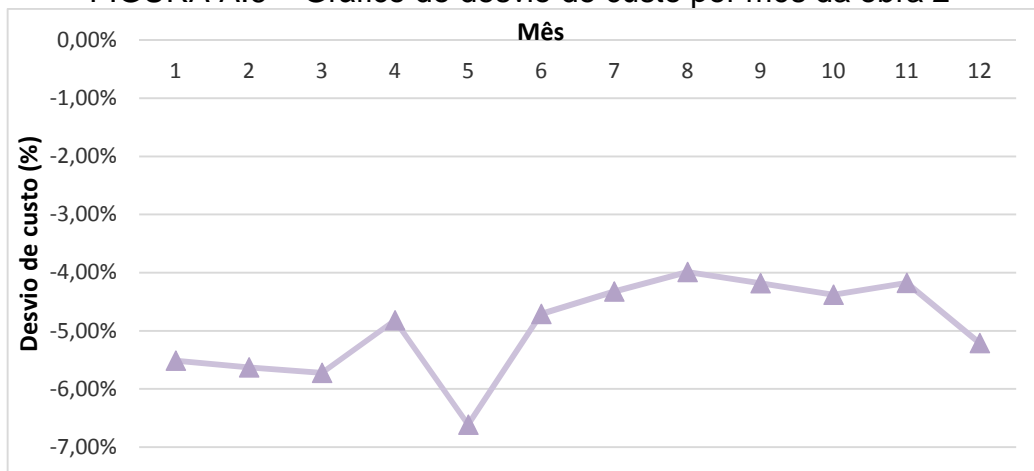


FIGURA A.7 – Gráfico do desvio de prazo por mês da obra 2

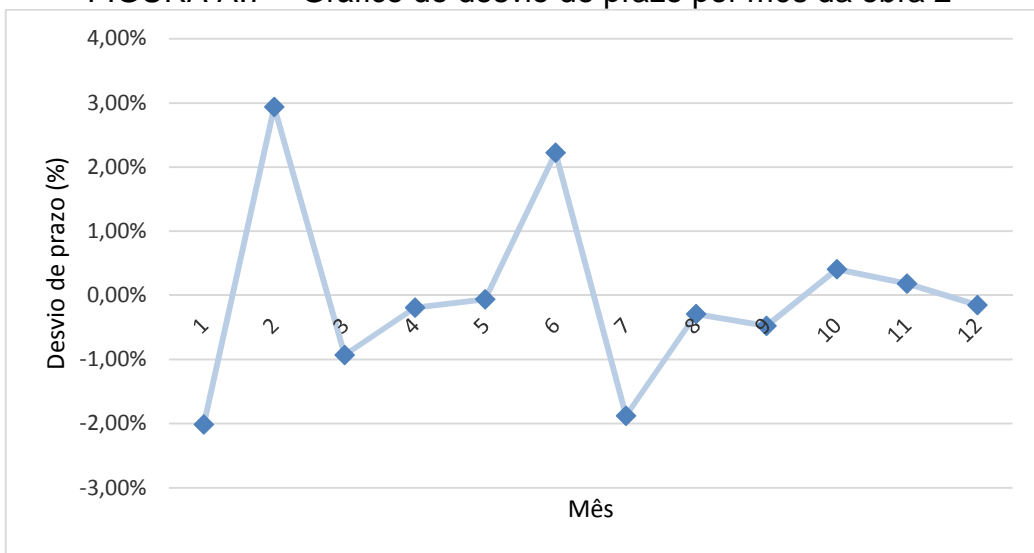


FIGURA A.8 – Gráfico do desvio de ritmo por mês da obra 2

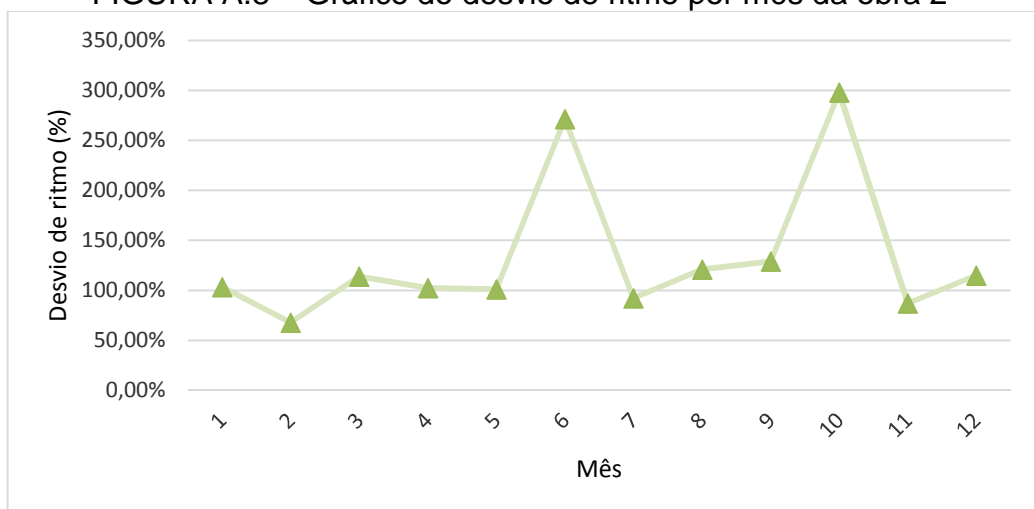


FIGURA A.9 – Gráfico do avanço físico por mês da obra 2

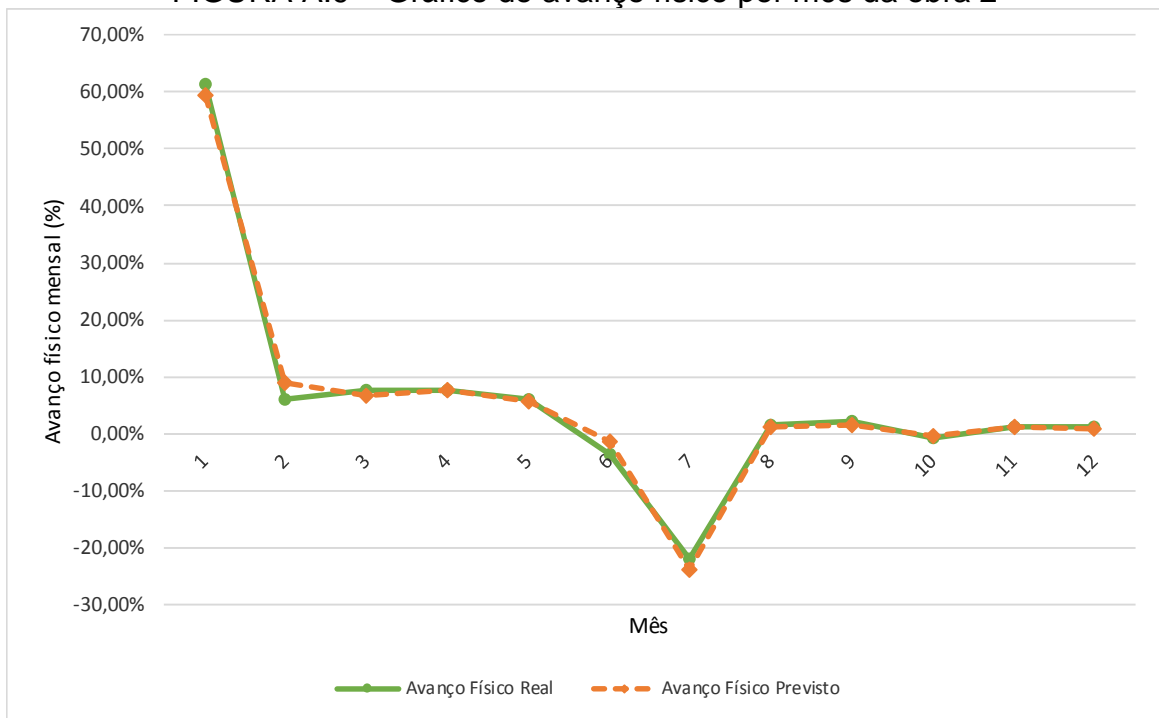


FIGURA A.10 – Gráfico do avanço físico acumulado por mês da obra 2

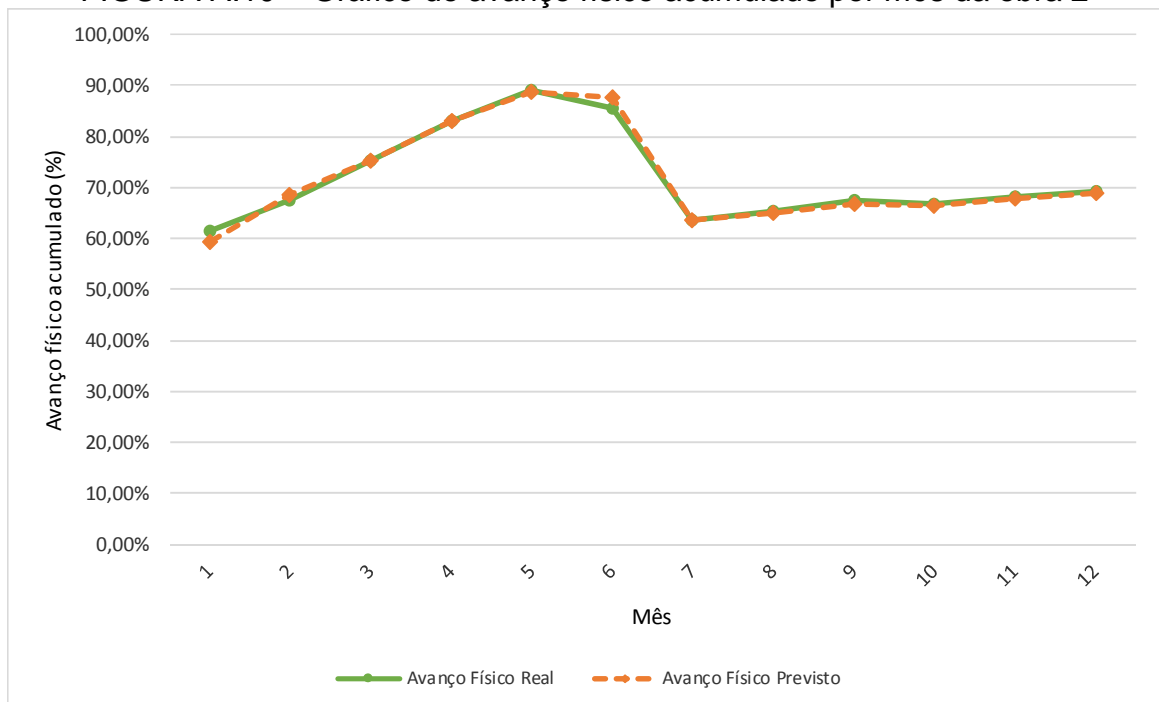


FIGURA A.11 – Gráfico do desvio de custo por mês da obra 3

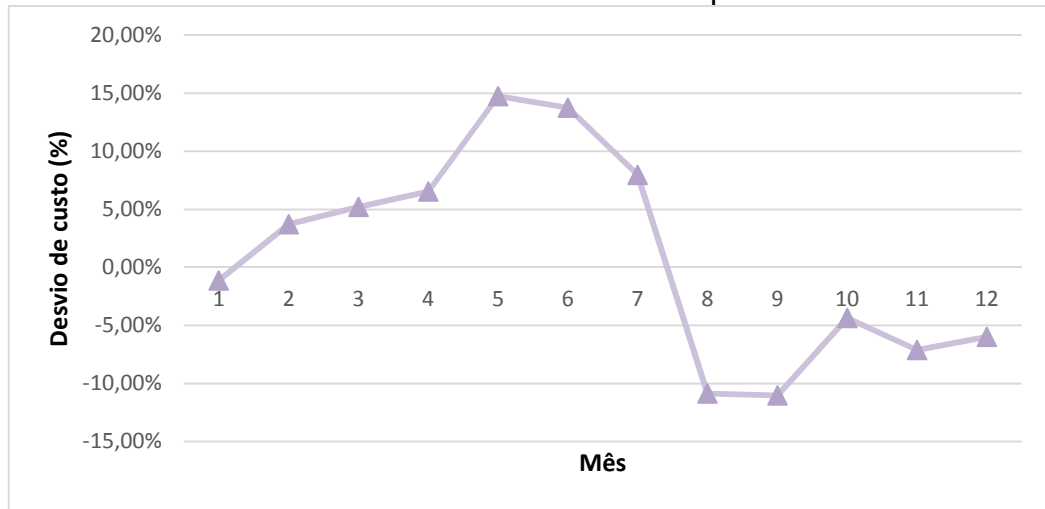


FIGURA A.12 – Gráfico do desvio de prazo por mês da obra 3

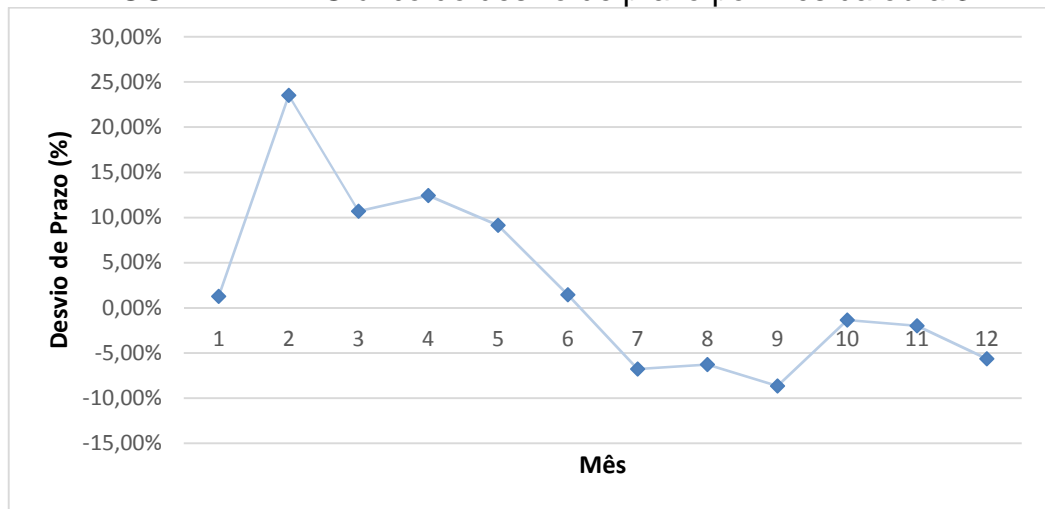


FIGURA A.13 – Gráfico do desvio de ritmo por mês da obra 3

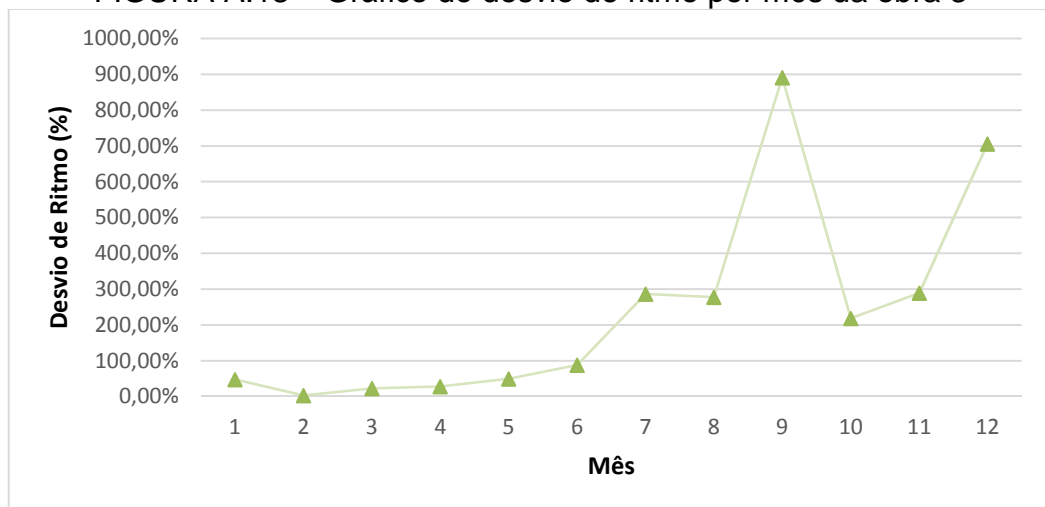


FIGURA A.14 – Gráfico do avanço físico por mês da obra 3

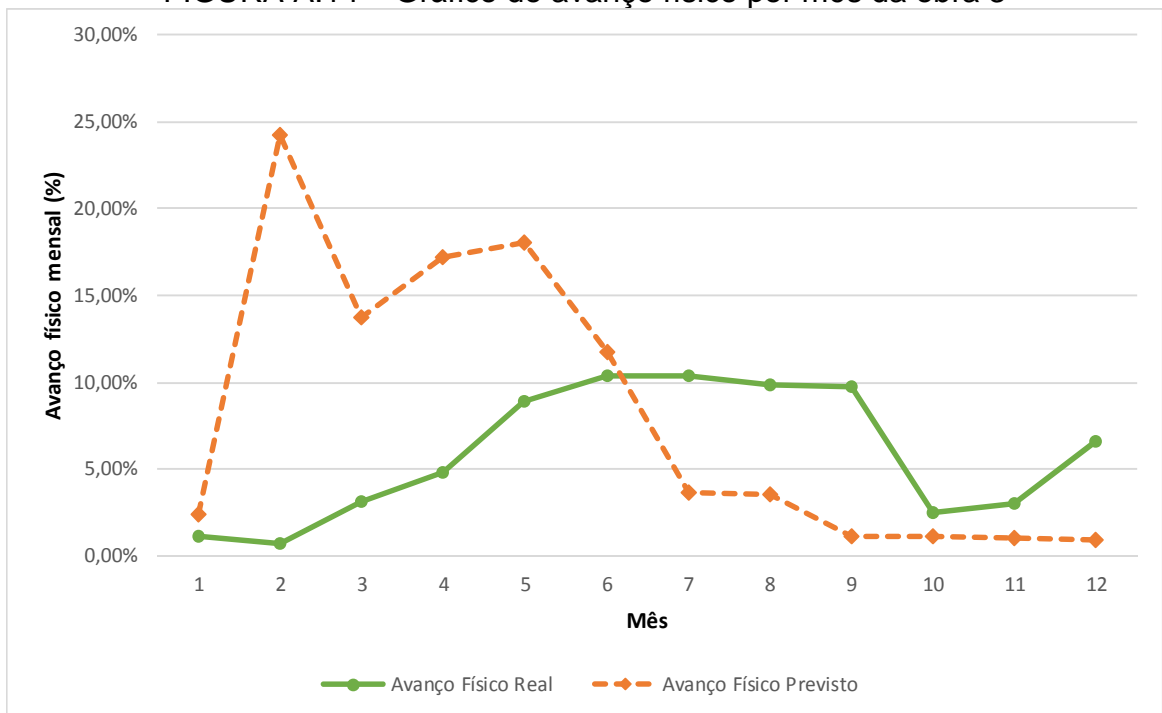


FIGURA A.15 – Gráfico do avanço físico acumulado por mês da obra 3

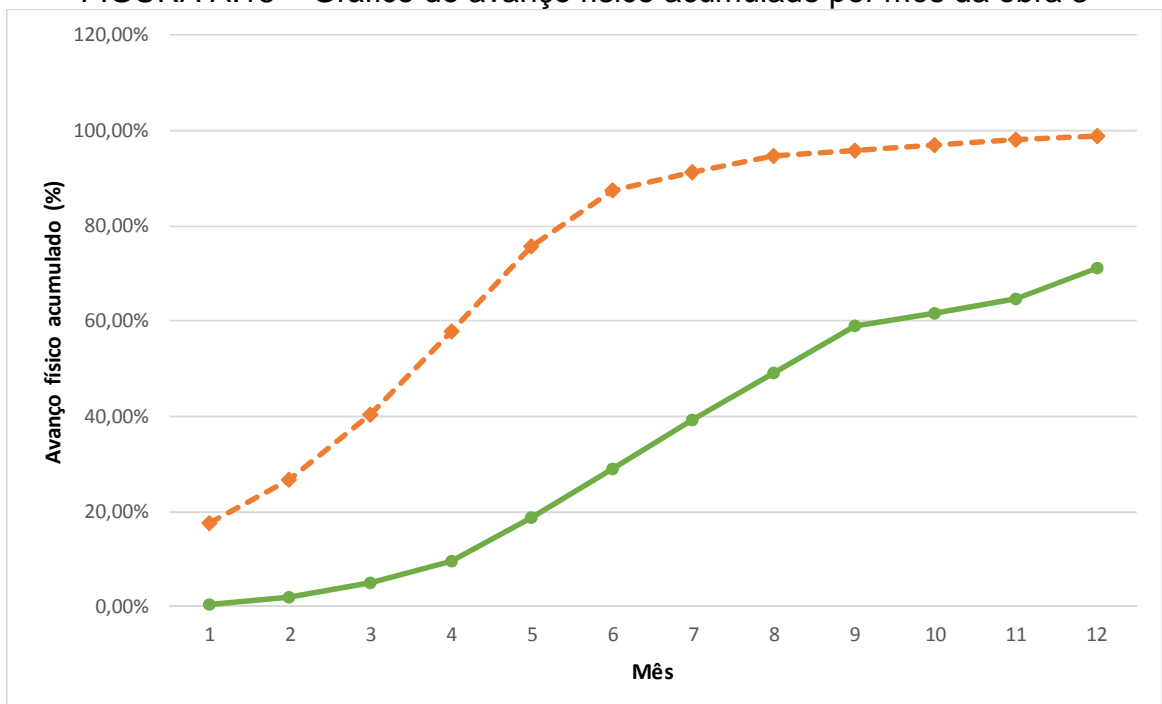


FIGURA A.16 – Gráfico do desvio de custo por mês da obra 4

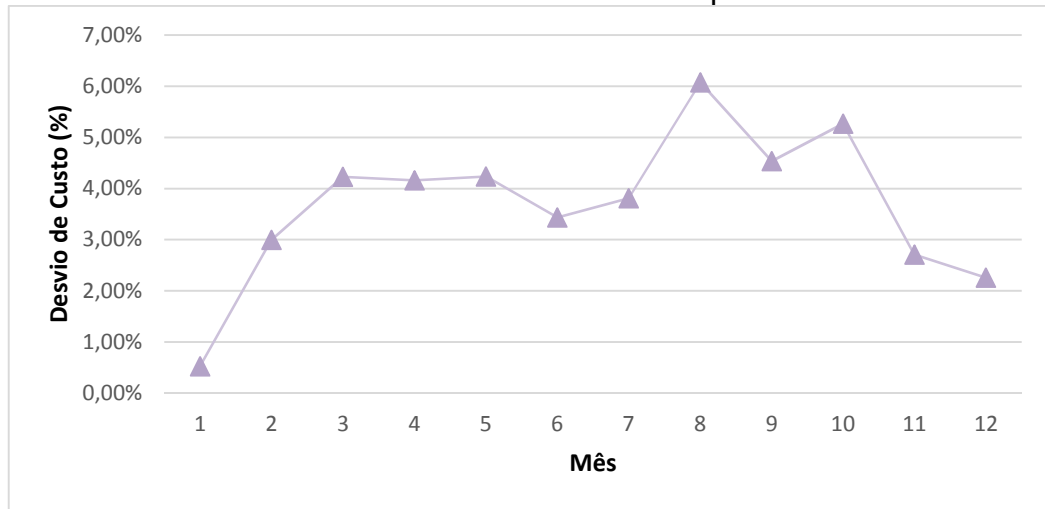


FIGURA A.17 – Gráfico do desvio de prazo por mês da obra 4

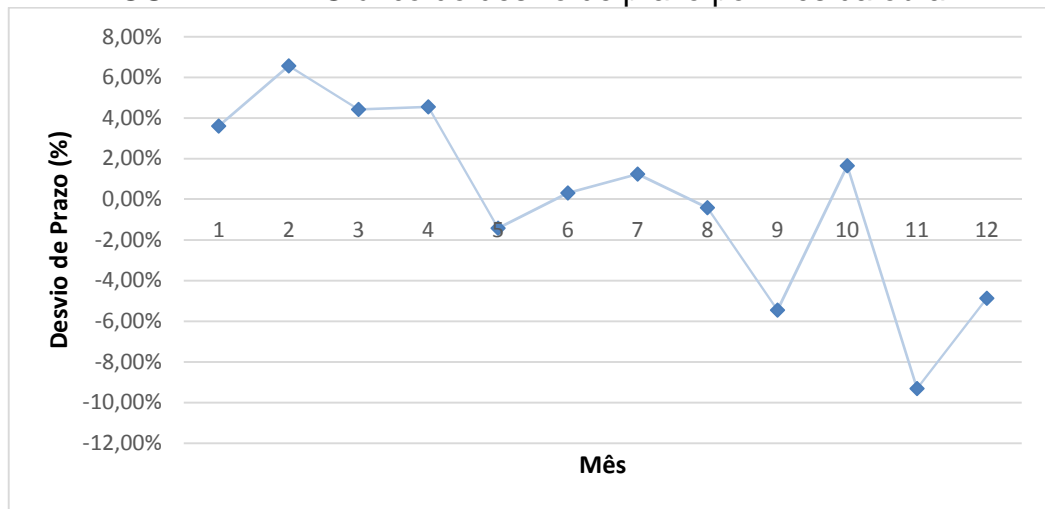


FIGURA A.18 – Gráfico do desvio de ritmo por mês da obra 4

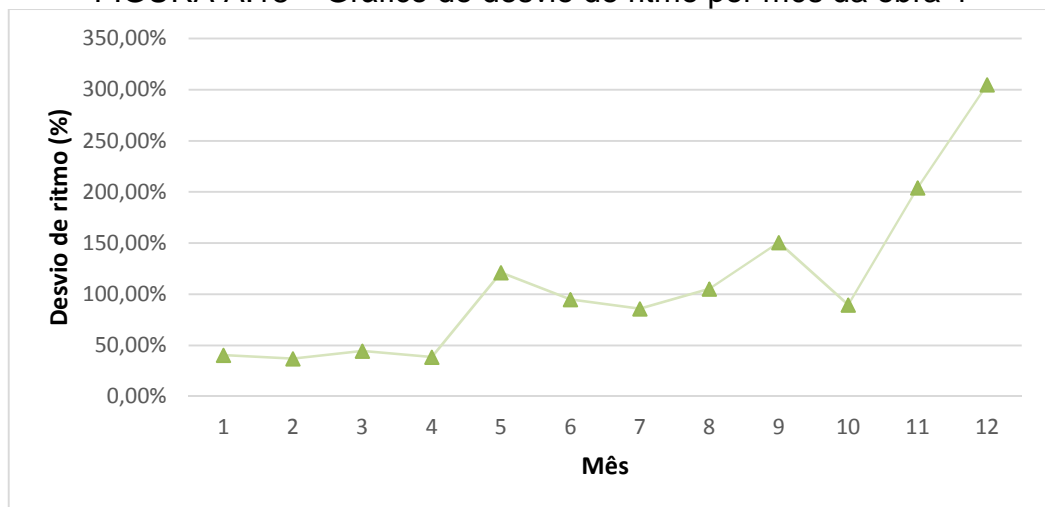


FIGURA A.19 – Gráfico do avanço físico por mês da obra 4

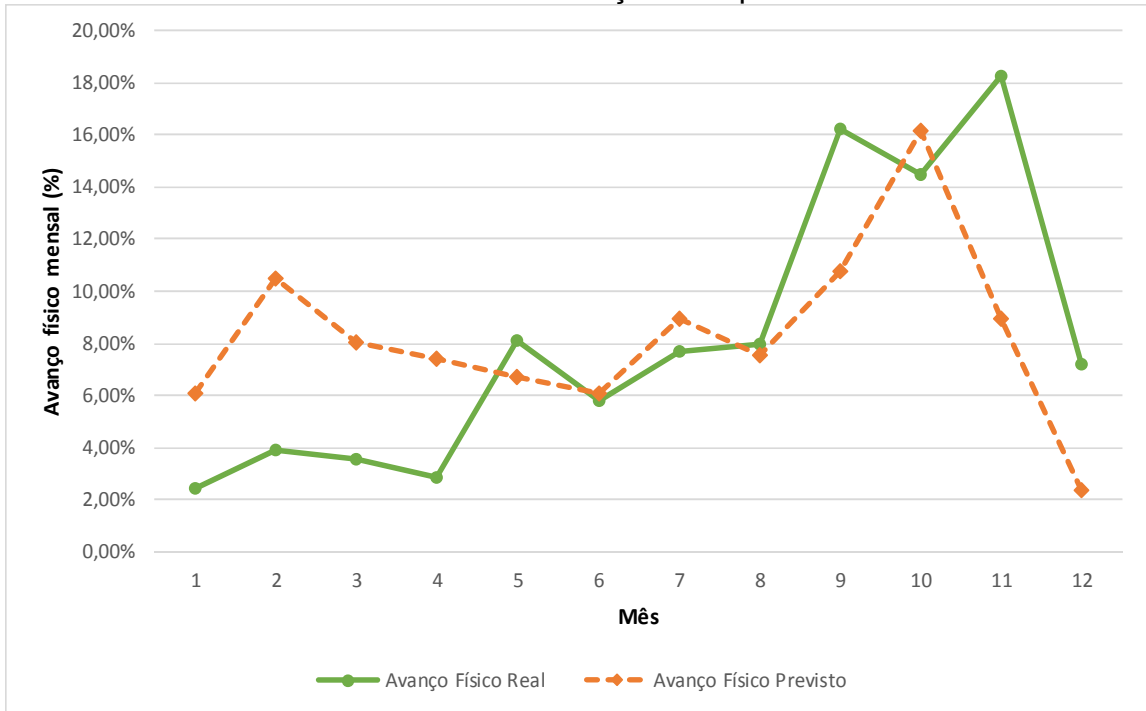


FIGURA A.20 – Gráfico do avanço físico acumulado por mês da obra 4

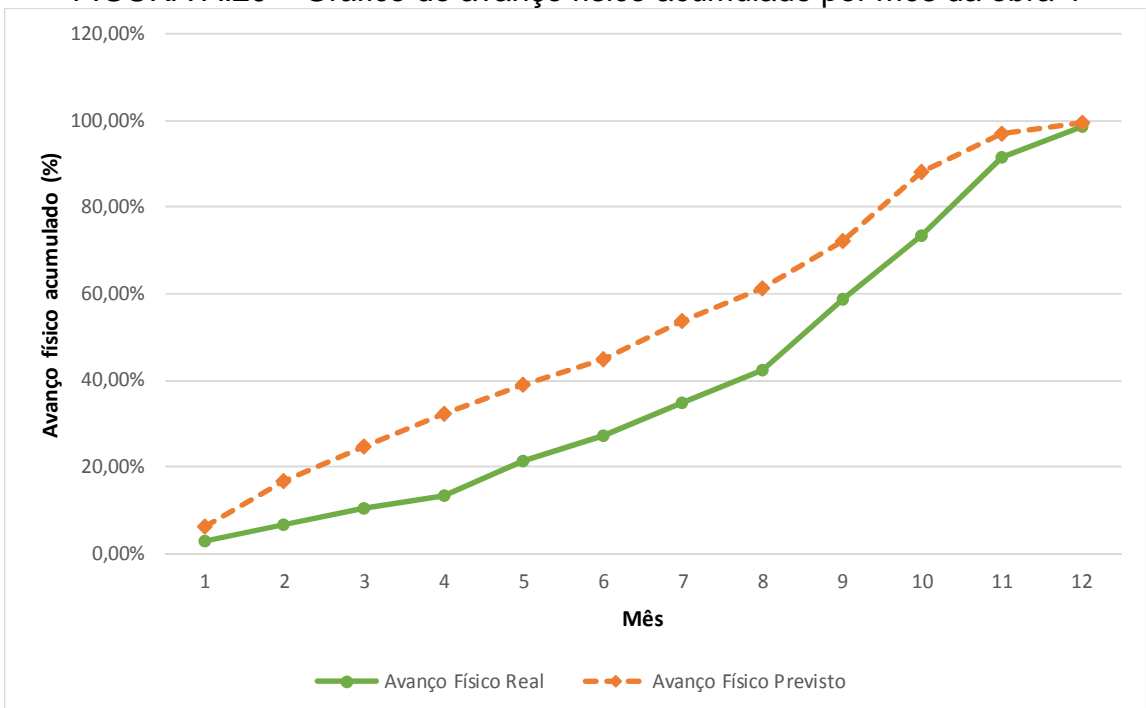


FIGURA A.21 – Gráfico do desvio de custo por mês da obra 5

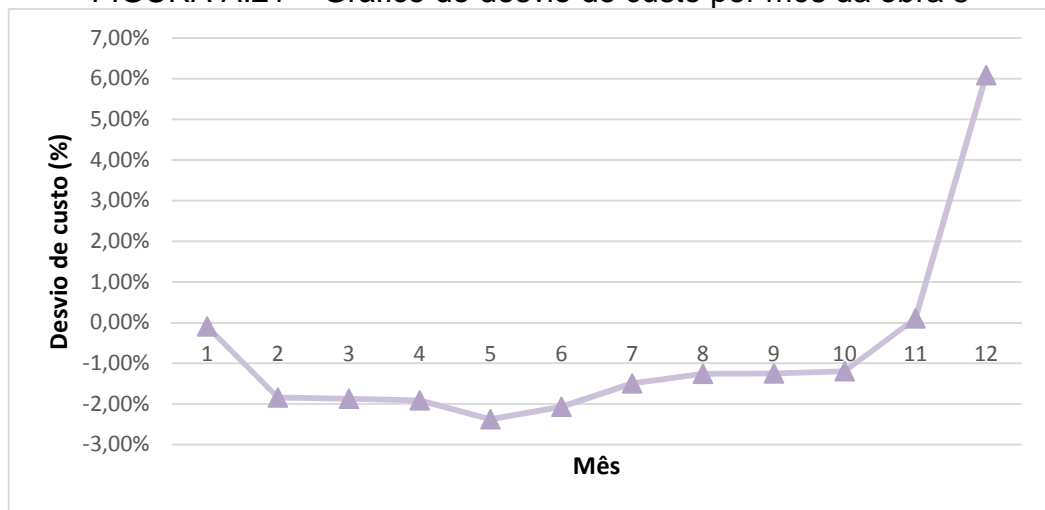


FIGURA A.22 – Gráfico do desvio de prazo por mês da obra 5

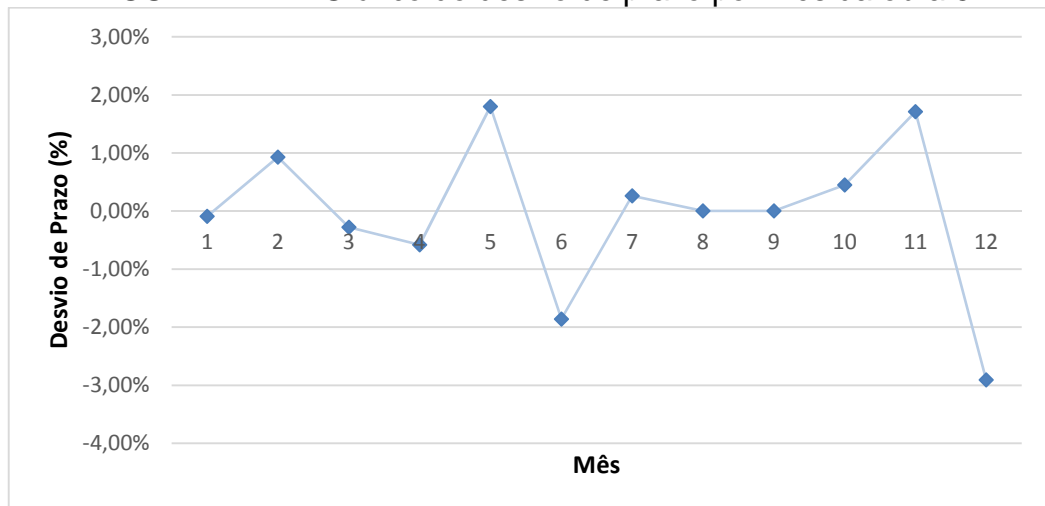


FIGURA A.23 – Gráfico do desvio de ritmo por mês da obra 5

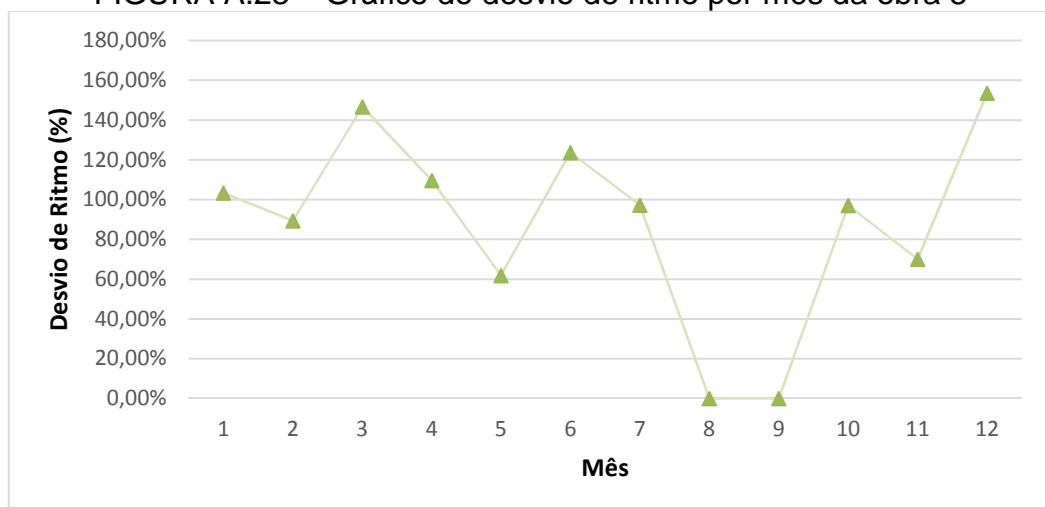


FIGURA A.24 – Gráfico do avanço físico por mês da obra 5

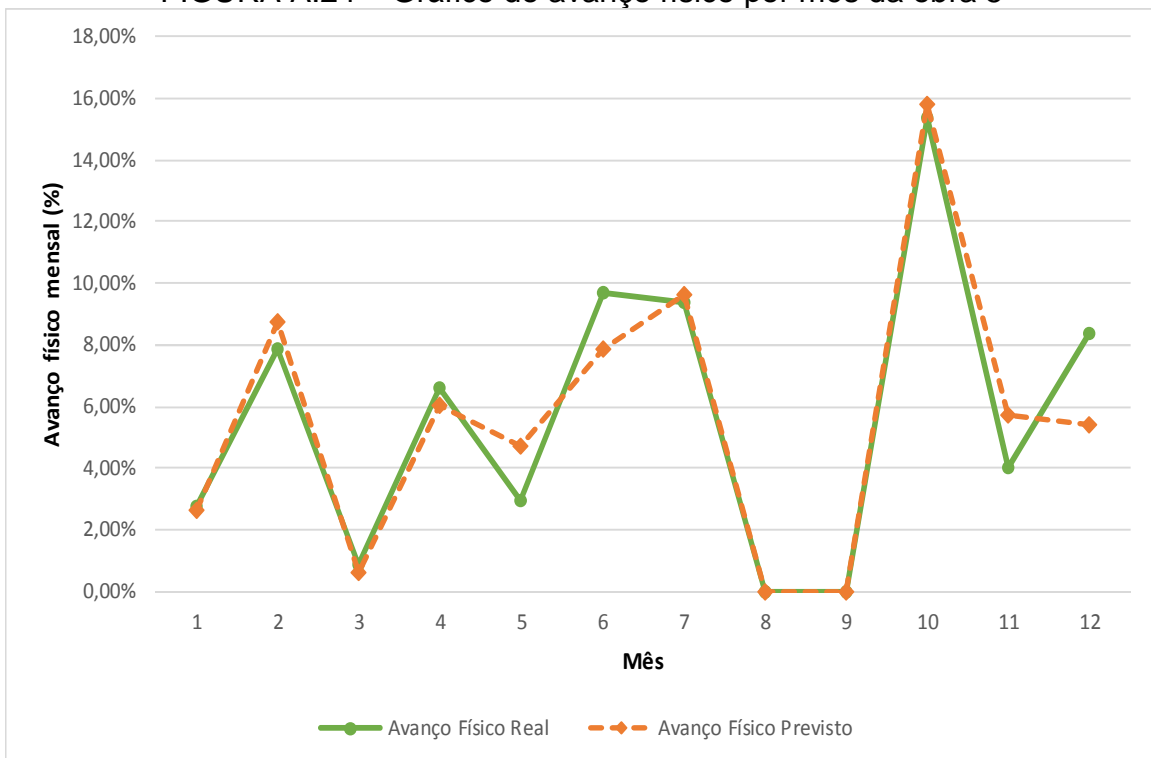


FIGURA A.25 – Gráfico do avanço físico acumulado por mês da obra 5

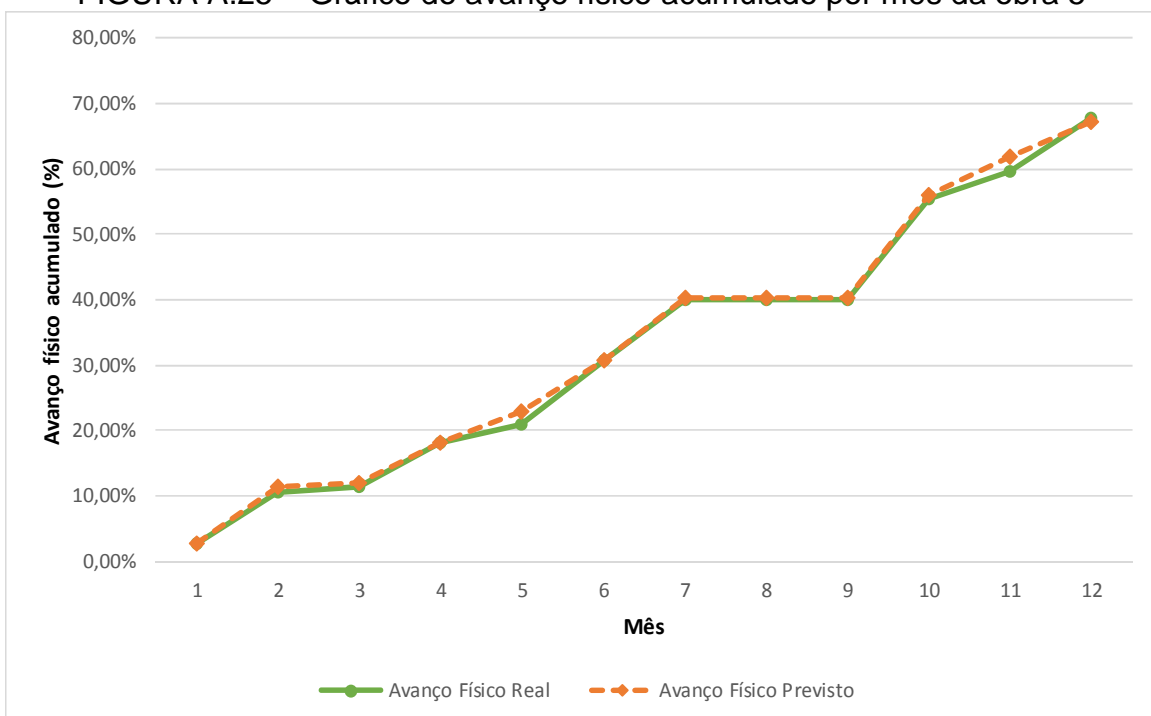


FIGURA A.26 – Gráfico do desvio de custo por mês da obra 6

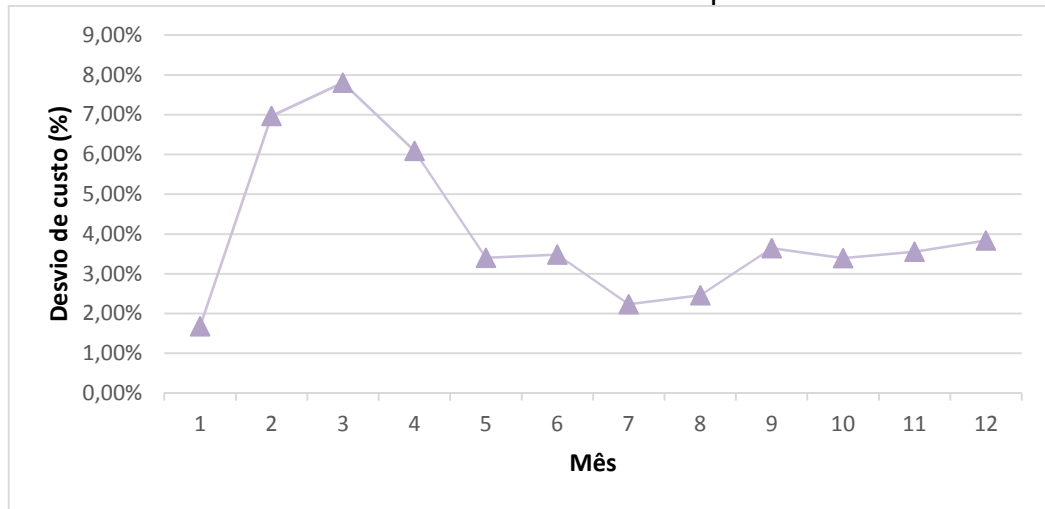


FIGURA A.27 – Gráfico do desvio de prazo por mês da obra 6

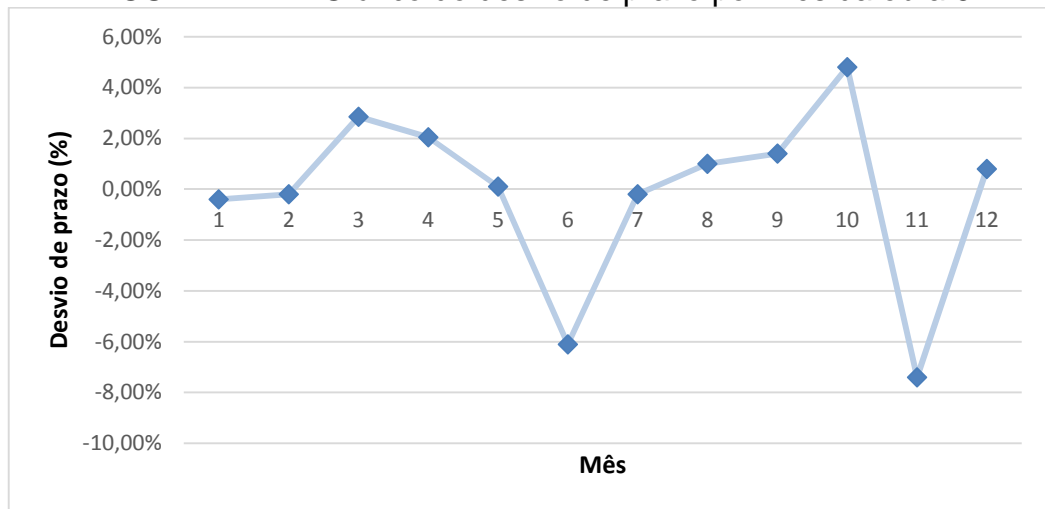


FIGURA A.28 – Gráfico do desvio de ritmo por mês da obra 6

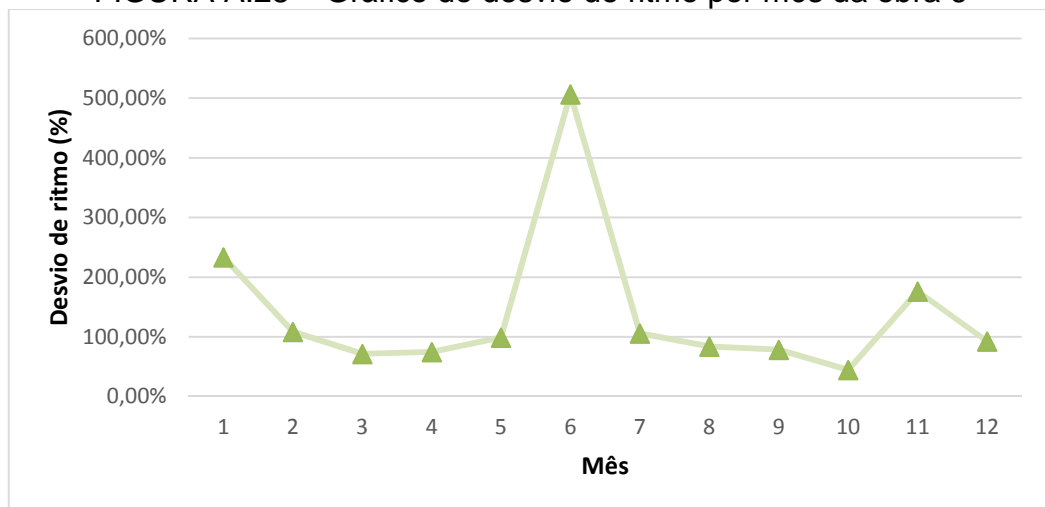


FIGURA A.29 – Gráfico do avanço físico por mês da obra 6

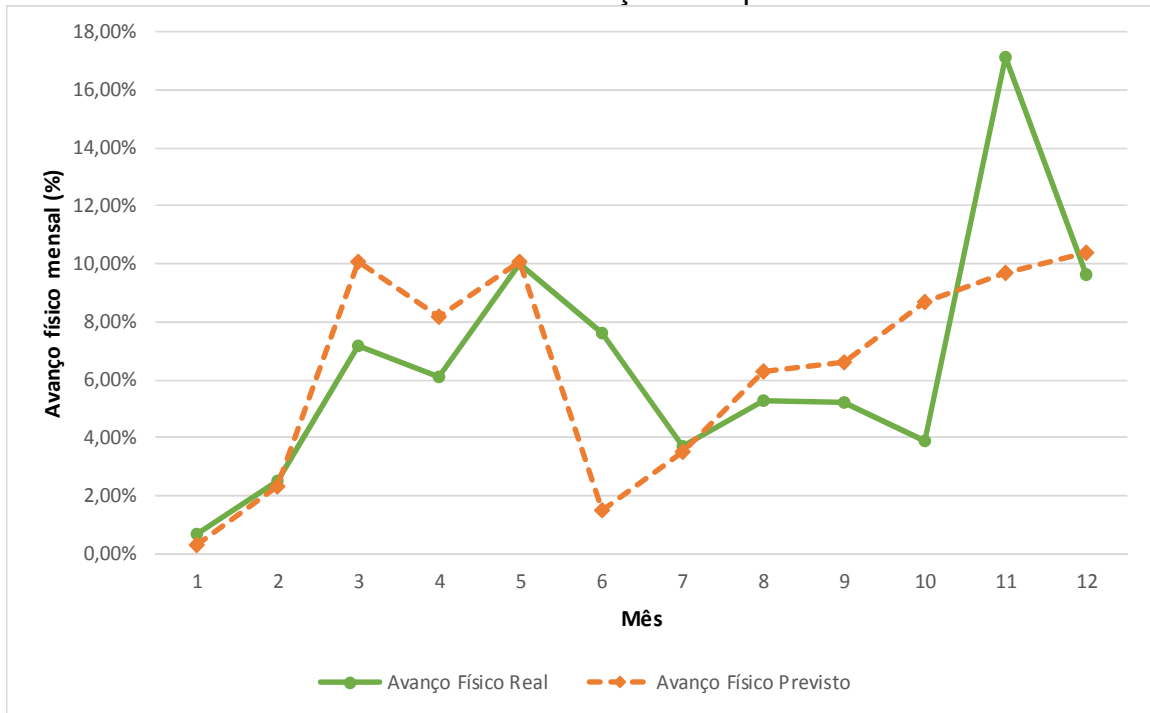
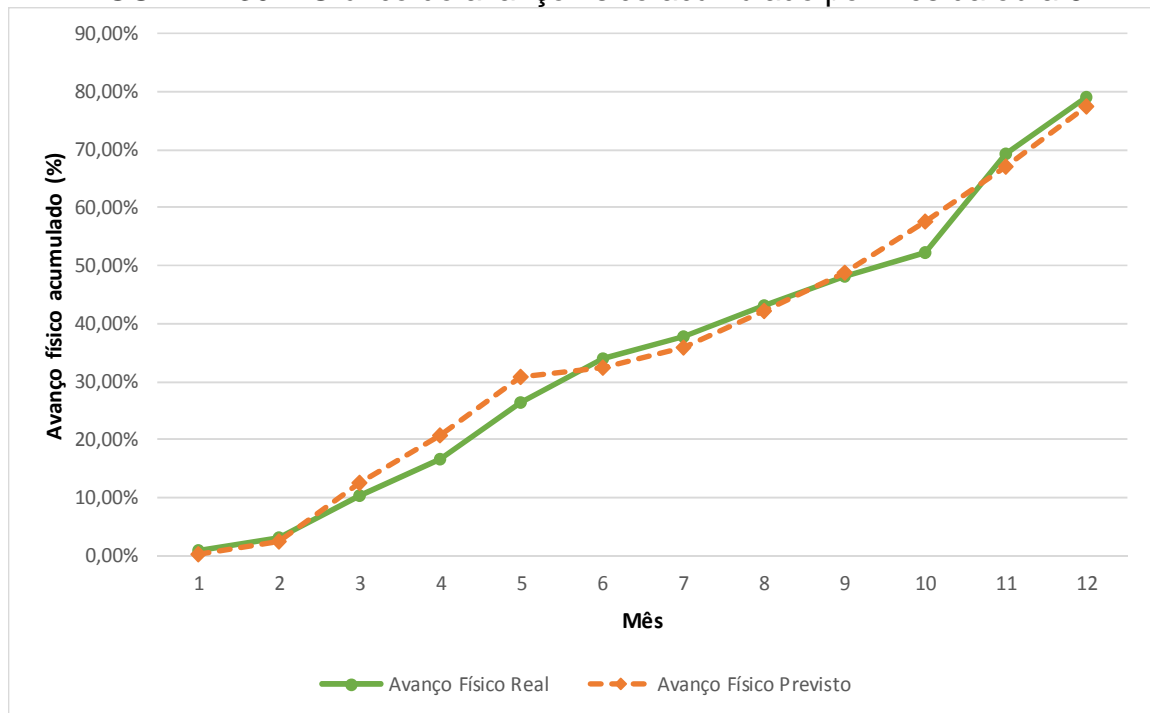


FIGURA A.30 – Gráfico do avanço físico acumulado por mês da obra 6



APÊNDICE B – Relação dos indicadores calculados para as obras

TABELA B.1 – Relação dos indicadores calculados para as obras do Grupo 01

	Obra	Mês	Desvio de prazo (%)	Desvio de custo (%)	Desvio de Ritmo (%)
GRUPO 01	Obra 1	1	0,00%	-0,24%	0,00%
	Obra 1	2	0,11%	-0,11%	54,17%
	Obra 1	3	-0,15%	-0,48%	142,86%
	Obra 1	4	0,14%	-1,19%	81,82%
	Obra 1	5	0,03%	-1,22%	98,34%
	Obra 1	6	1,79%	-0,94%	37,85%
	Obra 1	7	-2,94%	-0,90%	665,38%
	Obra 1	8	1,29%	1,15%	70,48%
	Obra 1	9	-0,77%	0,92%	116,70%
	Obra 1	10	0,27%	3,90%	96,57%
	Obra 1	11	-0,25%	3,60%	105,80%
	Obra 1	12	-1,45%	1,85%	127,23%
	Obra 2	1	-1,61%	-5,51%	135,40%
	Obra 2	2	2,54%	-5,63%	96,03%
	Obra 2	3	-0,93%	-5,73%	113,79%
	Obra 2	4	-0,19%	-4,82%	102,47%
	Obra 2	5	-0,06%	-6,62%	101,03%
	Obra 2	6	2,22%	-4,71%	271,49%
	Obra 2	7	-1,88%	-4,32%	92,11%
	Obra 2	8	-0,29%	-3,99%	120,85%
	Obra 2	9	-0,48%	-4,18%	128,92%
	Obra 2	10	0,41%	-4,38%	298,28%
	Obra 2	11	0,18%	-4,17%	86,91%
	Obra 2	12	-0,15%	-5,21%	114,92%
	Obra 3	1	1,26%	-1,14%	48,02%
	Obra 3	2	23,51%	3,71%	2,90%
	Obra 3	3	10,70%	5,20%	22,34%
	Obra 3	4	12,43%	6,52%	27,83%
	Obra 3	5	9,15%	14,75%	49,22%
	Obra 3	6	1,44%	13,74%	87,81%
	Obra 3	7	-6,78%	7,96%	286,23%
	Obra 3	8	-6,28%	-10,87%	277,27%
	Obra 3	9	-8,64%	-11,04%	891,15%
	Obra 3	10	-1,35%	-4,34%	218,60%
	Obra 3	11	-1,99%	-7,11%	289,13%
	Obra 3	12	-5,65%	-5,97%	706,19%

TABELA B.2 – Relação dos indicadores calculados para as obras do Grupo 02

	Obra	Mês	Desvio de prazo (%)	Desvio de custo (%)	Desvio de Ritmo (%)
GRUPO 02	Obra 4	1	3,61%	0,52%	40,53%
	Obra 4	2	6,57%	3,00%	37,19%
	Obra 4	3	4,43%	4,23%	44,69%
	Obra 4	4	4,56%	4,16%	38,71%
	Obra 4	5	-1,42%	4,24%	121,26%
	Obra 4	6	0,31%	3,43%	94,91%
	Obra 4	7	1,25%	3,81%	85,99%
	Obra 4	8	-0,40%	6,08%	105,30%
	Obra 4	9	-5,45%	4,54%	150,70%
	Obra 4	10	1,65%	5,27%	89,77%
	Obra 4	11	-9,30%	2,71%	204,14%
	Obra 4	12	-4,86%	2,26%	305,06%
	Obra 5	1	-0,09%	-0,09%	103,38%
	Obra 5	2	0,93%	-1,84%	89,40%
	Obra 5	3	-0,28%	-1,87%	146,67%
	Obra 5	4	-0,58%	-1,91%	109,60%
	Obra 5	5	1,80%	-2,38%	61,95%
	Obra 5	6	-1,86%	-2,07%	123,66%
	Obra 5	7	0,26%	-1,50%	97,29%
	Obra 5	8	0,00%	-1,26%	0,00%
	Obra 5	9	0,00%	-1,25%	0,00%
	Obra 5	10	0,45%	-1,20%	97,15%
	Obra 5	11	1,71%	0,11%	70,16%
	Obra 5	12	-2,91%	6,09%	153,59%
	Obra 6	1	-0,40%	1,68%	233,33%
	Obra 6	2	-0,20%	6,97%	108,70%
	Obra 6	3	2,85%	7,80%	71,64%
	Obra 6	4	2,05%	6,09%	74,85%
	Obra 6	5	0,10%	3,40%	99,01%
	Obra 6	6	-6,10%	3,48%	506,67%
	Obra 6	7	-0,20%	2,23%	105,71%
	Obra 6	8	1,00%	2,46%	84,13%
	Obra 6	9	1,40%	3,64%	78,79%
	Obra 6	10	4,80%	3,39%	44,83%
	Obra 6	11	-7,40%	3,56%	176,29%
	Obra 6	12	0,80%	3,83%	92,31%

APÊNDICE C – Relação dos indicadores na escala transformada para as obras

TABELA C.1 – Relação dos indicadores na escala transformada para as obras do Grupo 01

	Obra	Mês	Desvio de prazo	Desvio de custo	Desvio de Ritmo
GRUPO 01	Obra 1	1	7,17	5,81	0,00
	Obra 1	2	7,13	5,76	0,61
	Obra 1	3	7,21	5,91	1,60
	Obra 1	4	7,12	6,18	0,92
	Obra 1	5	7,16	6,19	1,10
	Obra 1	6	6,62	6,09	0,42
	Obra 1	7	8,06	6,07	7,47
	Obra 1	8	6,77	5,27	0,79
	Obra 1	9	7,40	5,36	1,31
	Obra 1	10	7,08	4,21	1,08
	Obra 1	11	7,24	4,32	1,19
	Obra 1	12	7,61	5,00	1,43
	Obra 2	1	7,66	7,86	1,52
	Obra 2	2	6,39	7,90	1,08
	Obra 2	3	7,45	7,94	1,28
	Obra 2	4	7,22	7,59	1,15
	Obra 2	5	7,18	8,29	1,13
	Obra 2	6	6,49	7,55	3,05
	Obra 2	7	7,74	7,40	1,03
	Obra 2	8	7,25	7,27	1,36
	Obra 2	9	7,31	7,34	1,45
	Obra 2	10	7,04	7,42	3,35
	Obra 2	11	7,11	7,34	0,98
	Obra 2	12	7,21	7,74	1,29
	Obra 3	1	6,78	6,16	0,54
	Obra 3	2	0,00	4,28	0,03
	Obra 3	3	3,90	3,70	0,25
	Obra 3	4	3,38	3,19	0,31
	Obra 3	5	4,38	0,00	0,55
	Obra 3	6	6,73	0,39	0,99
	Obra 3	7	9,23	2,63	3,21
	Obra 3	8	9,08	9,94	3,11
	Obra 3	9	9,80	10,00	10,00
	Obra 3	10	7,58	7,40	2,45
	Obra 3	11	7,77	8,48	3,24
	Obra 3	12	8,89	8,03	7,92

TABELA C.2 – Relação dos indicadores na escala transformada para as obras do Grupo 02

	Obra	Mês	Desvio de prazo	Desvio de custo	Desvio de Ritmo
GRUPO 02	Obra 4	1	6,07	5,52	0,45
	Obra 4	2	5,16	4,56	0,42
	Obra 4	3	5,82	4,08	0,50
	Obra 4	4	5,78	4,11	0,43
	Obra 4	5	7,60	4,08	1,36
	Obra 4	6	7,07	4,39	1,07
	Obra 4	7	6,78	4,24	0,96
	Obra 4	8	7,29	3,36	1,18
	Obra 4	9	8,83	3,96	1,69
	Obra 4	10	6,66	3,68	1,01
	Obra 4	11	10,00	4,67	2,29
	Obra 4	12	8,65	4,84	3,42
	Obra 5	1	7,19	5,75	1,16
	Obra 5	2	6,88	6,43	1,00
	Obra 5	3	7,25	6,45	1,65
	Obra 5	4	7,34	6,46	1,23
	Obra 5	5	6,62	6,64	0,70
	Obra 5	6	7,73	6,52	1,39
	Obra 5	7	7,09	6,30	1,09
	Obra 5	8	7,17	6,21	0,00
	Obra 5	9	7,17	6,21	0,00
	Obra 5	10	7,03	6,18	1,09
	Obra 5	11	6,64	5,68	0,79
	Obra 5	12	8,05	3,36	1,72
	Obra 6	1	7,29	5,07	2,62
	Obra 6	2	7,23	3,02	1,22
	Obra 6	3	6,30	2,69	0,80
	Obra 6	4	6,54	3,36	0,84
	Obra 6	5	7,14	4,40	1,11
	Obra 6	6	9,02	4,37	5,69
	Obra 6	7	7,23	4,85	1,19
	Obra 6	8	6,86	4,77	0,94
	Obra 6	9	6,74	4,31	0,88
	Obra 6	10	5,70	4,40	0,50
	Obra 6	11	9,42	4,34	1,98
	Obra 6	12	6,92	4,23	1,04