



UM MODELO FUZZY PARA AVALIAR O DESEMPENHO DA
PRODUÇÃO NO CENÁRIO DA COVID-19: APLICAÇÃO NO
SETOR DE CONSTRUÇÃO CIVIL

Thais Rodrigues Pinheiro

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-graduação em
Engenharia Engenharia de Produção,
COPPE, da Universidade Federal do Rio
de Janeiro, como parte dos requisitos
necessários à obtenção do título de Mestre
em Engenharia de Produção.

Orientadores: Carlos Alberto Nunes Cosenza
Cláudio Henrique dos Santos
Grecco

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2022

UM MODELO FUZZY PARA AVALIAR O DESEMPENHO DA
PRODUÇÃO NO CENÁRIO DA COVID-19: APLICAÇÃO NO
SETOR DE CONSTRUÇÃO CIVIL

Thais Rodrigues Pinheiro

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO
ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE
ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Orientadores: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Cláudio Henrique dos Santos Grecco

Aprovada por: Prof. Carlos Alberto Nunes Cosenza

Prof. Cláudio Henrique dos Santos Grecco

Prof. Fabio Luiz Peres Krykhtine

Prof. Harvey José Santos Ribeiro Cosenza

Prof. Luis Claudio Bernardo Moura

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

FEVEREIRO DE 2022

Pinheiro, Thais Rodrigues

Um modelo fuzzy para avaliar o desempenho da produção no cenário da covid-19: aplicação no setor de construção civil/ Thais Rodrigues Pinheiro. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2022.

XIII, 186 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Cláudio Henrique dos Santos Grecco

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2022.

Referências Bibliográficas: p. 165-171.

1. Construção Civil. 2. Indicadores de Desempenho. 3. Covid-19. 4. Lógica Fuzzy. I. Cosenza, Carlos Alberto Nunes *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Jorge e
Neuraci,
à minha irmã, Natália,
ao meu namorado, Higor.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por esta vitória em concluir mais uma etapa de especialização profissional, pela minha saúde e pela força de enfrentar os desafios e superá-los.

Aos meus professores e orientadores, Carlos Alberto Nunes Cosenza e Cláudio Henrique dos Santos Grecco, agradeço pela oportunidade de participar do Programa de Engenharia de Produção; pelos ensinamentos passados durante as aulas que fizeram ampliar meus conhecimentos; pelas orientações; pelo apoio, sempre dispostos a ajudar, me encorajando a concluir esta dissertação; e pela confiança ao longo de todo o processo.

Aos professores membros da Banca Examinadora, que aceitaram participar e contribuir com este trabalho.

Aos especialistas pelo apoio, amizade e consideração em responder a pesquisa.

À equipe do setor de produção da empresa avaliada pelo apoio e interesse em participar desta pesquisa. Em especial ao engenheiro de produção civil que participou de todo o processo do método de avaliação, fornecendo informações pertinentes que muito auxiliaram na coleta de dados e permitiram a análise desses dados.

Aos meus pais por me ensinarem a não desistir de lutar pelos meus objetivos e sonhos.

À minha irmã pelo conhecimento passado e paciência, que contribuiu para a definição deste tema de dissertação.

Ao meu namorado que me acompanhou durante todos esses anos, me apoiando e incentivando a conquistar este título.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

UM MODELO FUZZY PARA AVALIAR O DESEMPENHO DA PRODUÇÃO NO CENÁRIO DA COVID-19: APLICAÇÃO NO SETOR DE CONSTRUÇÃO CIVIL

Thais Rodrigues Pinheiro

Fevereiro/2022

Orientadores: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Cláudio Henrique dos Santos Grecco

Programa: Engenharia de Produção

A covid-19 provocou um impacto na cadeia produtiva das empresas de construção civil, afetando diretamente o setor de produção. As causas deste impacto estão ligadas à escassez da matéria-prima, aumento expressivo dos preços dos materiais de construção e atrasos nas entregas destes materiais às empresas construtoras. Tornou-se então necessário, o desenvolvimento de novas estratégias de adaptação a fim de manter o desempenho da sua produção.

Partindo deste princípio, esta dissertação apresenta o desenvolvimento de um método de avaliação do desempenho da produção, fundamentado na lógica *fuzzy*, por meio da definição de um padrão de desempenho da produção, de forma a atender os objetivos operacionais das organizações durante a covid-19. Estes dados foram coletados a partir de um questionário aplicado aos especialistas, que avaliaram a importância de indicadores de desempenho da produção, conforme os princípios da engenharia de produção.

A avaliação foi obtida através de um estudo de caso numa empresa de construção civil, fornecendo informações atuais sobre o desempenho das atividades do setor de produção, de forma a avaliar o desempenho da produção e os impactos da covid-19. Estes resultados foram confrontados com o padrão de desempenho, identificando quais princípios foram mais afetados e os indicadores que precisam ser melhorados, de forma a servir como base para aplicabilidade em outras empresas.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

A FUZZY MODEL TO EVALUATE PRODUCTION PERFORMANCE IN THE COVID-19 SCENARIO: APPLICATION IN THE CONSTRUCTION SECTOR

Thais Rodrigues Pinheiro

February/2022

Advisors: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Cláudio Henrique dos Santos Grecco

Department: Production Engineering

Covid-19 had an impact on the production chain of civil construction companies, directly affecting the production sector. The causes of the impact are linked to the scarcity of raw materials, a significant increase in the prices of construction materials and delays in the delivery of these materials to construction companies. It became necessary then, to develop new adaptation strategies in order to maintain the performance of its production.

Based on this principle, this dissertation presents the development of a production performance evaluation method, based on Fuzzy Logic, through the definition of a production performance standard, in order to meet the operational objectives of organizations during covid-19. These data were collected from a questionnaire applied to experts, who assessed the importance of production performance indicators, according to the principles of production engineering.

The assessment was obtained through a case study in a construction company, providing current information on the performance of activities in the production sector, in order to assess the performance of production and the impacts of covid-19. These results were compared with the performance standard, identifying which principles were most affected and the indicators that need to be improved, in order to serve as a basis for applicability in other companies.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....	1
1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA	1
1.2 RELEVÂNCIA DO TEMA.....	3
1.3 QUESTÕES DA PESQUISA	6
1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	6
1.4.1 Objetivo Geral.....	6
1.4.2 Objetivos Específicos.....	7
1.5 MODELO DE PESQUISA	7
1.6 METODOLOGIA	8
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO	9
CAPÍTULO 2: REVISÃO DA LITERATURA.....	11
2.1 A CADEIA PRODUTIVA DA CONSTRUÇÃO CIVIL E OS IMPACTOS DA COVID-19.....	11
2.1.1 Fornecedor.....	17
2.1.2 Transporte Rodoviário de Materiais.....	28
2.1.3 Empresas Construtoras.....	31
2.2 ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	40
2.2.1 O Papel do Engenheiro de Produção Civil.....	44
2.2.2 Os Princípios da Engenharia de Produção	48
2.2.3 Desempenho da Produção	56
2.3 LÓGICA FUZZY	66
2.3.1 História, Definição e Aplicação	67
2.3.2 Conjuntos Fuzzy.....	70
2.3.3 Números Fuzzy	77
2.3.4 Sistemas Fuzzy	80
2.3.5 Métodos Fuzzy de Decisão	85
CAPÍTULO 3: O MÉTODO DE AVALIAÇÃO.....	88
3.1 DEFINIÇÃO DOS INDICADORES DE DESEMPENHO	88
3.2 DETERMINAÇÃO DO PADRÃO DE DESEMPENHO DA PRODUÇÃO.....	114
3.3 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA PRODUÇÃO.....	124

CAPÍTULO 4: APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO	128
4.1 EMPRESA DE ENGENHARIA CIVIL	128
4.1 RECUPERAÇÃO E REFORÇO ESTRUTURAL.....	129
4.2 ESTRUTURA E IMPLANTAÇÃO DA OBRA	129
CAPÍTULO 5: APLICAÇÃO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO.....	132
5.2 DETERMINAÇÃO DO PADRÃO DE DESEMPENHO DA PRODUÇÃO PARA O CANTEIRO DE OBRAS.....	136
5.3 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA PRODUÇÃO NO CANTEIRO DE OBRAS.....	152
5.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	160
CAPÍTULO 6: CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	163
6.1 CONCLUSÕES.....	163
6.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	165
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	166

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cadeia Produtiva da Construção Civil.....	12
Figura 2: Cadeia Produtiva da Construção Civil.....	13
Figura 3: Faturamento deflacionado - variação % do mês de estudo / mesmo mês do ano anterior	25
Figura 4: Evolução na produção.....	43
Figura 5: Processo de <i>input</i> - transformação – <i>output</i>	52
Figura 6: Níveis de Desempenho da Produção	57
Figura 7: Medidas de desempenho nos três níveis da produção	61
Figura 8: Etapas para definição de KPI's	62
Figura 9: Benefícios de um Sistema de Indicadores	63
Figura 10: Comparação entre as lógicas clássica e fuzzy	68
Figura 11: Núcleo, suporte e limite do conjunto <i>fuzzy</i>	72
Figura 12: Representação gráfica conjunto <i>fuzzy</i> normal (a) e subnormal (b).....	73
Figura 13: Conjunto <i>fuzzy</i> convexo (a) e não convexo (b).....	73
Figura 14: Representação gráfica α -cut	74
Figura 15: União (a) conjuntos <i>fuzzy</i> (b) conjuntos <i>crisp</i>	76
Figura 16: Interseção (a) conjuntos <i>fuzzy</i> (b) conjuntos <i>crisp</i>	76
Figura 17: Complemento (a) conjuntos <i>fuzzy</i> (b) conjuntos <i>crisp</i>	76
Figura 18: Função de pertinência trapezoidal	78
Figura 19: Função de pertinência triangular	79
Figura 20: Estrutura de um sistema de inferência <i>fuzzy</i>	80
Figura 21: Funções de pertinência para a variável temperatura.....	81
Figura 22: Primeira parte da saída <i>fuzzy</i> (a), segunda parte da saída <i>fuzzy</i> (b) e união de ambas partes (c).....	83
Figura 23: Método Valor Máximo	84
Figura 24: Método Média dos Máximos	84
Figura 25: Método Centro dos Máximos	85
Figura 26: Método Centróide	85
Figura 27: Etapas da segunda parte do método.....	114
Figura 28: Variáveis linguísticas, termos linguísticos e gráficos da funções de pertinência	118
Figura 29: Etapas da terceira parte do método.....	125

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Composição da Cadeia Produtiva da Construção por participação (%) no PIB total da cadeia do 1º semestre de 2020.....	16
Gráfico 2: PIB na cadeia produtiva da construção - variação real acumulada entre 2019 e 2020 (JAN a JUN).....	16
Gráfico 3: Evolução das variações mensais (%) do INCC Materiais e Equipamentos	20
Gráfico 4: Variação (%) do INCC-M acumulado em 12 meses (2020).....	21
Gráfico 5: Principais problemas enfrentados pela indústria da construção no trimestre (%)	22
Gráfico 6: Variação do INCC-M acumulado em 12 meses (2020/2021).....	24
Gráfico 7: Evolução mensal do Índice ABCR de fluxo de veículos.....	29
Gráfico 8: Evolução dos Índices de Nível de Atividade da Construção Civil em 2020 ..	33
Gráfico 9: Evolução do nível de atividade (0 a 100 pontos).....	35
Gráfico 10: Evolução do número de empregados (0 a 100 pontos).....	35
Gráfico 11: Evolução % da Utilização Média da Capacidade de Operação	36
Gráfico 12: Índices de expectativa (0 a 100 pontos).....	37
Gráfico 13: Evolução do nível de estoques e do estoque efetivo em relação ao planejado (0 a 100 pontos).....	38
Gráfico 14: Desempenho de vendas no curto prazo.....	38
Gráfico 15: Índice de intenção de investimento (0 a 100 pontos).....	39
Gráfico 16: Área de interseção de duas opiniões <i>fuzzy</i> (I e MI)	120
Gráfico 17: Área de união de duas opiniões <i>fuzzy</i> (I e MI).....	121
Gráfico 18: Funções de pertinência dos números <i>fuzzy</i> para os termos linguísticos na avaliação dos graus de atendimento dos indicadores	126
Gráfico 19: Graus de importância dos especialistas.....	141
Gráfico 20: Função de pertinência do indicador "Inconformidades detectadas na aceitação dos materiais" do princípio "Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços"	148
Gráfico 21: Número fuzzy do indicador "Turnover (rotatividade)" do princípio "Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços"	151
Gráfico 22: Graus de atendimento do canteiro de obras ao padrão de desempenho da produção	160

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Custo do m ² da construção no Brasil (considerando a desoneração da folha de pagamento)	19
Tabela 2 - Taxa do IPCA/IBGE ao item Reparos	23
Tabela 3 - INCC-M dezembro de 2021.....	25
Tabela 4 - Variações dos percentuais segundo estágios.....	26
Tabela 5 - Variações percentuais segundo municípios de 7 capitais	27
Tabela 6 - Maiores influências positivas e negativas	27
Tabela 7 - Estrutura proposta de indicadores de desempenho da produção.....	89
Tabela 8 - Avaliação dos indicadores de desempenho da produção	90
Tabela 9 - Números <i>fuzzy</i> para os termos linguísticos	118
Tabela 10 - Valores das áreas de interseção das opiniões <i>fuzzy</i>	120
Tabela 11 - Valores das áreas de união das opiniões <i>fuzzy</i>	121
Tabela 12 - Exemplo de um estabelecimento de padrão para o princípio “Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços”	124
Tabela 13 - Números fuzzy para os termos linguísticos na avaliação dos graus de atendimento dos indicadores	126
Tabela 14 - Indicadores de desempenho da produção no canteiro de obras	133
Tabela 15 - Avaliação dos indicadores de desempenho da produção no canteiro de obras	134
Tabela 16 - Apuração dos dados coletados dos especialistas.....	139
Tabela 17 - Apuração das questões 10, 11 e 12	140
Tabela 18 - Termos linguísticos usados pelos especialistas na avaliação do indicador “Inconformidades detectadas na aceitação de materiais” do princípio “Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços”	142
Tabela 19 - Valores da área de interseção das opiniões dos especialistas na avaliação do indicador "Inconformidades detectadas na aceitação dos materiais" do princípio "Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços"	143
Tabela 20 - Valores da área de união das opiniões dos especialistas na avaliação do indicador "Inconformidades detectadas na aceitação dos materiais" do princípio "Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços"	143

Tabela 21 - Matriz de concordância entre os especialistas na avaliação do indicador "Inconformidades detectadas na aceitação dos materiais" do princípio "Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços".....	144
Tabela 22 - Valores da concordância relativa de cada especialista na avaliação do indicador "Inconformidades detectadas na aceitação dos materiais" do princípio "Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços"	145
Tabela 23 - Valores do grau de concordância relativa de cada especialista na avaliação do indicador "Inconformidades detectadas na aceitação dos materiais" do princípio "Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços"	146
Tabela 24 - Valores do coeficiente de consenso de cada especialista na avaliação do indicador "Inconformidades detectadas na aceitação dos materiais" do princípio "Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços"	147
Tabela 25 - Avaliação dos indicadores para o canteiro de obras	149
Tabela 26 - Valores em ordem decrescente de grau de importância dos indicadores para o canteiro de obras	151
Tabela 27 - Resultado da avaliação dos indicadores pelos trabalhadores.....	154
Tabela 28 - Valores dos graus de atendimento dos indicadores de acordo com a opinião dos trabalhadores.....	155
Tabela 29 - Valores das médias <i>fuzzy</i> dos graus de atendimento dos indicadores de acordo com a opinião dos trabalhadores	157
Tabela 30 - Valores dos graus de atendimento da produção no canteiro de obras ao padrão de desempenho da produção	159

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

Neste capítulo será apresentado o tema da dissertação, a relevância para a engenharia de produção, bem como os objetivos da pesquisa, a metodologia adotada, a estrutura do trabalho e contribuições.

1.1 Apresentação do Tema

O novo coronavírus, detectado em Wuhan, na China em 2019, com o nome de SARS-COV-2, teve alcance mundial de modo geral no 1º trimestre de 2020. No Brasil, a pandemia foi decretada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) no início de março de 2020, onde surgiram os primeiros relatos.

Desde então, países de todo o mundo vêm enfrentando e tentando combater a covid-19. “Vários setores da economia brasileira foram atingidos pelas medidas de um novo comportamento social e de contenção das aglomerações de pessoas, consequentemente atingindo uma vasta cadeia produtiva e toda a sua mão de obra” (BATISTA, NETTO e MEDEIROS, 2020). Dentre eles destacamos o setor de construção civil. Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC (2021), em estudos como a Sondagem da Indústria da Construção, elaborados mensalmente junto à Confederação Nacional das Indústrias (CNI), desde março de 2020, revelam alguns problemas enfrentados pelas indústrias de construção devido a pandemia, tais como, elevada carga tributária, competição acirrada de mercado, inadimplência dos clientes, falta de capital de giro, falta de financiamento de longo prazo, taxas de juros elevadas, falta de trabalhador qualificado, alto custo da mão de obra, falta de equipamentos de apoio, disponibilidade de terrenos, dentre outros; destacando-se que o principal problema apontado por aproximadamente 60% das empresas construtoras de grande porte foi a falta de material e o alto custo da matéria-prima que se disseminou ainda mais em 2021.

A CBIC na sua cartilha de 2021, descreve os impactos nas cadeias de suprimento da construção civil. No primeiro trimestre de 2020, os impactos da pandemia pareciam ser gerenciáveis para a maioria dos contratos e os impactos das paralisações de fábricas por todo o mundo não demonstravam que atingiriam o mercado brasileiro da forma como atingiu. À medida que o vírus se espalhou e os governos em todo o mundo impuseram

medidas de restrição, paralisação de atividades e lockdown, os relatos de interrupções na cadeia de suprimentos aumentaram. Em abril, muitas empresas já relatavam que as paralisações nas fábricas levariam ao desabastecimento de insumos. Essa escassez persistiu, embora o mundo assistisse a indústria chinesa voltar a funcionar meses depois. Nesse momento, as empresas foram obrigadas a procurar novos fornecedores e, em alguns casos, replanejar seus projetos, ajustando cronogramas e orçamentos com base nessa nova realidade (CBIC, 2021).

Mesmo com o retorno das atividades e a suspensão das medidas de restrição, ajustando a lista de atividades essenciais, as quais poderiam funcionar normalmente no período da pandemia, as empresas relataram que as interrupções na cadeia de suprimentos se tornaram ainda mais peculiares. Essa particularidade ocorreu devido a variação da velocidade com que as indústrias conseguiram retomar a produção (CBIC, 2021).

No final de 2020, os relatos de anormalidades eram ainda maiores, provocados pelo aumento das interrupções nas redes logísticas que corroborou com o contínuo desabastecimento de insumos e atrasos no transporte. No início de 2021, o problema persistia, os fabricantes que mantiveram os estoques relativamente enxutos ao longo de 2020, agora encontraram dificuldades em reabastecer o mercado para acompanhar a demanda mais forte que a esperada. São inúmeros os relatos de atrasos nos pedidos e de aumento no preço dos insumos (CBIC, 2021).

Devido ao problema com o desabastecimento de insumos e a consequente inflação dos preços, as empresas se viram em um ambiente em que era necessário a adaptação rápida e eficaz, a fim de atender os objetivos operacionais e manter o desempenho da produção.

Neste contexto, destaca-se que “as operações precisam enfrentar decisões como criar e entregar produtos e serviços, investir em tecnologia, terceirizar algumas de suas atividades, criar medidas de desempenho e melhorar o desempenho de suas operações (SLACK, JONES e JOHNSTON, 2018)”.

A teoria dos conjuntos *fuzzy*, proposta por Zadeh (1965), tem sido aplicada no processo de tomada de decisão, pois é capaz de extrair resultados relevantes mesmo baseando-se em dados de entrada incertos ou imprecisos, tais quais os julgamentos de gestores ou tomadores de decisão (BANAEIAN *et al.*, 2016 apud FERREIRA, 2017).

A lógica *fuzzy* trabalha na nebulosidade, ou seja, na subjetividade, incerteza e imprecisão e difere-se da lógica clássica que trabalha com valores 0 ou 1, onde um determinado dado classificado como “concordo” é considerado de nível 1 e um dado

classificado como “discordo” é considerado de nível 0, porém podem existir opiniões de avaliação de um determinado dado que não se considera nem concordância, nem discordância.

A lógica *fuzzy* parte exatamente deste princípio de não-objetividade, pois utiliza uma linguagem subjetiva que permite avaliar critérios e resolver problemas diversos, auxiliando na melhor tomada de decisão possível (LEONARDO et al., 2014, p.3).

Novas abordagens de tratamento estão sendo empregadas para superar os desafios da pandemia e a lógica *fuzzy* pode ajudar a interpretar novas condições para melhorar o nível de desempenho da produção nas empresas de construção civil, afetadas pelos impactos da covid-19, no qual serão analisadas diferentes opiniões de especialistas para a definição de um padrão de desempenho da produção que servirá como base para avaliação do desempenho da produção em uma construtora no RJ.

1.2 Relevância do Tema

Para qualquer organização que deseja ser bem-sucedida, a contribuição de sua função produção é vital, sendo esta a função que dará à organização uma ideia de “vantagem baseada em produção” (SLACK et al., 1997). Ela representa o maior volume dos ativos da empresa e a maioria de seus funcionários. É responsável pela criação e entrega de serviços e produtos com base nos pedidos dos clientes (SLACK, JONES e JOHNSTON, 2018).

Uma empresa para produzir necessita de recursos, como materiais, máquinas, equipamentos e mão-de-obra. Os materiais de construção são essenciais para as empresas de construção civil, pois a falta dos mesmos atrasa toda a produção provocando a interrupção de serviços e até mesmo a paralisação da obra, gerando perdas imensuráveis.

Segundo Paiva (2021), CEO da IPC Brasil – empresa líder no mercado de conexões de ferro maleável, “A indústria em geral se contraiu significativamente devido à parada dos fabricantes durante a pandemia, o que gerou um forte impacto na linha de produção que, juntamente às oscilações constantes do dólar, que se manteve acima dos cinco reais, gerou um aumento do preço a médio prazo. A redução da oferta e o aumento constante da demanda, atingiu diretamente o custo dos materiais de construção”.

Isso trouxe consequências para as empresas de construção civil, que dependem destes materiais para a sua produção.

O monitoramento do setor de produção deve ser controlado através de indicadores de desempenho, que segundo Haga (2000), funcionam como instrumentos de planejamento, gerenciamento e mobilização, pois concretizam objetivos, organizam ações e conferem visibilidade dos resultados alcançados. É essencial para saber se um processo está apresentando progresso.

Portanto, a avaliação do desempenho da produção nas empresas construtoras torna-se uma condição essencial para manter ou melhorar o nível de desempenho da produção a fim de alcançar o resultado desejado.

Segundo Francischini e Francischini (2017, p. 19) “Os conceitos de indicadores de desempenho dependem diretamente do correto entendimento do que é um Sistema de Produção, bem como do que é Entrada e Saída em um Sistema de Produção”.

Os indicadores de desempenho contribuem para o estabelecimento de um padrão de desempenho na medida em que “são capazes de mostrar o real estado de um processo produtivo, de bens e serviços, e de monitorar seus aspectos críticos” (FRANCISCHINI e FRANCISCHINI, 2017).

Os padrões de desempenho são metas organizacionais e unidades de submetas apresentadas em termos concretos e mensuráveis. São ferramentas gerenciais para o controle de uma empresa, servindo como comparativos do desempenho desejado em relação ao alcançado, na qual a atividade durante o trabalho é chamada de controle do processo. Essa função procura assegurar que o desempenho satisfaz os padrões desejados. Deve avaliar, assim, como os recursos são usados, agir corretivamente se preciso, e planejar eficazmente para usar os recursos com mais eficiência no futuro (SARAIVA e CAMILO, 2009).

Sendo assim, torna-se significativo investigar as consequências da covid-19 ligadas à escassez e ao aumento do custo dos materiais e atrasos nas entregas, para o desempenho da produção nas empresas.

O uso de técnicas quantitativas é fundamental para a boa gestão dos negócios. “A aplicação de metodologias ajustadas a cada processo, como é o caso dos indicadores de desempenho, pode se tornar uma fonte confiável para a tomada de decisão, possibilitando o estabelecimento de metas realistas e efeitos positivos para a organização como um todo (SARAIVA e CAMILO, 2009)”. Segundo Slack *et al.* (1997), a quantificação de metas e indicadores de desempenho permite que os negócios possam ser acompanhados e

controlados de forma mais precisa, tornando mais fácil a implementação dos planos estratégicos das empresas. Não existe um sistema de medição absoluto: os indicadores de desempenho devem ser construídos de acordo com a natureza específica de cada negócio e de seus objetivos.

Uma vez que o processo de tomada de decisão é centrado em pessoas, assim como o processo de avaliação de indicadores de desempenho da produção, a lógica *fuzzy* visa contribuir para este propósito, auxiliando na definição de um padrão ideal de desempenho.

Segundo Correa e Moré (2009 apud GRECCO, 2012), a lógica *fuzzy* é uma importante ferramenta para representar o conhecimento humano, transformá-lo para um formato numérico e obter respostas em ambientes de incerteza. E segundo Ortega (2001), esta teoria tem demonstrado grande capacidade de aplicação em áreas da engenharia que lidam com a imprecisão, ajudando estes profissionais a produzir modelos mais de acordo com suas necessidades e realidades. Dessa forma, a metodologia utilizada proporciona uma perspectiva sob o desempenho da produção em obras de construção civil.

A metodologia utilizada, com a aplicação do método HSU e CHEN de agregação de similaridades com base nos conjuntos *fuzzy* vem sendo aplicada ao longo do tempo por alguns pesquisadores. Para esta pesquisa o que se propõe é uma adaptação da metodologia utilizada por Grecco (2012).

Estudos recentes relacionados ao tema em questão com enfoque nos impactos da pandemia para a construção civil apresentaram resultados relativos a parada do setor em alguns Estados brasileiros e as medidas adotadas nos canteiros de obras para evitar a propagação da doença. Como exemplos podemos citar: Dias *et al.* (2020); Batista, Netto e Medeiros (2020); Sperandio *et al.* (2021). Outros estudos têm foco na gestão e caracterização da rede de suprimentos da construção civil, analisada em seu aspecto amplo. Como exemplos: Ferreira (2017); Oliveira e Gavioli (2021); Alves e Tommelein (2007); Haga (2000); Volski (2017).

Desta forma, a relevância desta pesquisa encontra-se no fato da covid-19 ser um tema recente, ainda pouco difundido em pesquisas relacionadas ao setor de construção civil analisado através de indicadores de desempenho, utilizando a lógica *fuzzy*.

Na Engenharia de Produção, a pesquisa se justifica nessa área do conhecimento, segundo Abepro (2006), por possuir foco nas dimensões do produto e do sistema produtivo, relacionando-se fortemente com projetos e viabilidade de produtos e de sistemas produtivos, planejamento da produção, e produção de produtos e serviços.

Esta pesquisa está direcionada ao setor de produção das empresas de construção civil. Entretanto, o foco do objeto de estudo apenas auxilia na delimitação do problema de pesquisa, não descartando o relacionamento existente entre fornecedor-empresa e empresa-cliente, permitindo assim um aumento da visibilidade sobre a ocorrência de variáveis ao longo da cadeia de suprimentos que interferem no processo de produção.

Os resultados desta pesquisa objetivam uma melhoria no desempenho da produção nas organizações.

1.3 Questões da Pesquisa

Conforme o exposto, o presente trabalho visa responder as seguintes perguntas de pesquisa:

- ✓ Como o desempenho da produção pode ser avaliado considerando os princípios da Engenharia de Produção?
- ✓ Quais indicadores precisam ser melhorados para se manter o desempenho e atender os objetivos da organização?
- ✓ A lógica *fuzzy* pode ser útil na solução de problemas operacionais decorrentes de eventos negativos e auxiliar nas tomadas de decisões?

1.4 Objetivos da Pesquisa

1.4.1 Objetivo Geral

Analisar os impactos da covid-19 no setor de produção de uma construtora no RJ, fornecendo subsídios para novas investigações.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Pesquisar artigos científicos sobre o tema;
- Conhecer os conceitos da lógica *fuzzy* e utilizar a teoria dos conjuntos *fuzzy* para estabelecer um método de avaliação de desempenho da produção, por meio da definição de um padrão de desempenho da produção, de forma a atender os objetivos operacionais das organizações. Este modelo *fuzzy* é adaptado de GRECCO (2012) que utiliza o método de agregação de similaridades, proposto por HSU e CHEN (1996);
- Selecionar os principais indicadores de desempenho da produção para coleta de dados;
- Aplicar questionários com especialistas e com funcionários da empresa;
- Analisar banco de dados específicos da empresa onde será feito o estudo de casos;
- Revisar os resultados obtidos com o engenheiro de produção civil da obra avaliada.

1.5 Modelo de pesquisa

O trabalho de dissertação pode ser considerado uma pesquisa exploratória.

Segundo GIL (2008), a pesquisa exploratória é realizada sobre um problema ou questão de pesquisa que geralmente são assuntos com pouco estudo anterior a seu respeito, e tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses.

Esta dissertação apresenta as causas e consequências dos impactos da covid-19 para o setor de produção das organizações de construção civil e tem como base um estudo de caso em uma empresa de engenharia civil. A covid-19, pandemia que se expandiu pelo mundo em 2020, trata-se de um assunto ainda pouco difundido em pesquisas no setor de construção civil.

Um trabalho é de natureza exploratória quando envolver levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram (ou têm) experiências práticas com o problema pesquisado, análise de exemplos que estimulem a compreensão e estudos de

caso. Possui ainda a finalidade básica de desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses que possam ser pesquisadas para estudos posteriores. Dessa forma, este tipo de estudo visa proporcionar um maior conhecimento para o pesquisador acerca do assunto (GIL, 2008).

Os métodos utilizados para esta dissertação envolvem pesquisa bibliográfia, entrevistas com especialistas para levantamentos de experiência e coleta de dados, e um estudo de caso para aplicação do método de avaliação, que estão descritos na metodologia a seguir.

1.6 Metodologia

A metodologia utilizada se trata de uma abordagem quali-quantitativa, em relação à forma de abordagem do problema, devido ao uso de ferramentas matemáticas para transformar dados qualitativos em quantitativos.

Na abordagem qualitativa é apresentada uma revisão da literatura, que servirá para embasamento teórico da pesquisa. Esta pesquisa iniciou-se com a realização de pesquisa bibliográfica com os principais temas que envolvem a pesquisa: construção civil, indicadores de desempenho, covid-19 e lógica *fuzzy*. Em seguida foram analisados livros e trabalhos (artigos, teses) na literatura, selecionando a partir do resumo aqueles que tinham maior pertinência com o tema em questão. Após a leitura completa desses trabalhos, foram descartados os que não contribuíram para este estudo e os demais fazem parte da revisão da literatura e estão citados nas referências bibliográficas.

A abordagem quantitativa é baseada na lógica *fuzzy*, para o desenvolvimento do método de avaliação do desempenho da produção, utilizando indicadores de desempenho com enfoque nos princípios da engenharia de produção. Para o tratamento dos dados coletados dos especialistas foi utilizado o método de agregação de similaridades proposto por HSU e CHEN (1996).

Para a aplicação do método de avaliação desenvolvido, foi realizado um estudo de caso em uma empresa de construção civil localizada no Rio de Janeiro, especializada em serviços de recuperação e reforço estrutural, restauração e construções. Este estudo foi realizado em uma das obras da empresa.

1.7 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está organizado em seis capítulos. Nesta introdução é apresentado a contextualização sobre o tema, mostrando os impactos da covid-19 na cadeia produtiva da construção civil e de que forma afetaram o setor de produção dessas empresas, bem como a importância de se manter indicadores de desempenho para atender os objetivos operacionais. São apresentados também a relevância do tema para a Engenharia de Produção, os objetivos desta pesquisa e a metodologia utilizada.

No capítulo 2, revisão da literatura, é apresentada as consequências da covid-19 para a cadeia produtiva, envolvendo fornecedores, transporte rodoviário de materiais e empresas construtoras, mostrando também de que forma é estruturada a cadeia de suprimentos na construção civil. Em seguida é apresentado o surgimento e a evolução da Engenharia de Produção, analisando a evolução dos processos produtivos; o funcionamento do setor de construção; a importância do engenheiro como gestor de produção que seleciona, analisa e acompanha os indicadores de desempenho; os princípios da engenharia de produção; o desempenho da produção; os principais indicadores de desempenho da produção que fazem parte desta pesquisa; e a lógica *fuzzy* para fundamentar o método proposto.

No capítulo 3 são apresentadas as três etapas do método de avaliação, proposto por Grecco (2012), adaptado ao desempenho da produção em organizações do setor de construção civil. Na primeira etapa deste método foi desenvolvida, com base nos princípios da engenharia de produção, uma estrutura de indicadores de desempenho da produção e suas avaliações por meio de métricas subjetivas, que servirá de referência na avaliação do desempenho em construtoras na área de construção civil.

A segunda etapa do método apresenta a determinação do padrão de desempenho do setor de produção. Nesta etapa, com base na teoria dos conjuntos *fuzzy*, procura-se obter o grau de importância de cada indicador a partir de um questionário aplicado aos especialistas. Esse padrão retrata como a organizacional deveria ser de forma a manter um bom desempenho da produção e servirá como referência para ser aplicado em outras organizações. Para o tratamento dos dados coletados dos especialistas foi utilizado o método de agregação de similaridades proposto por Hsu e Chen (1996).

A terceira etapa, também fundamentada na teoria dos conjuntos *fuzzy*, apresenta o processo de avaliação de desempenho da produção em uma organização, conforme o

padrão de desempenho definido na segunda etapa do método. Como resultado final da avaliação, são gerados graus de atendimento ao padrão, que informam o quanto o domínio avaliado atinge percentualmente o padrão ideal estabelecido.

No capítulo 4 é apresentado o local onde foi realizado o estudo de caso para a aplicação do método de avaliação, mostrando o ramo de atuação da empresa e a obra que será avaliada, apresentando sua estrutura e implantação.

No capítulo 5 é apresentado a aplicação do método de avaliação no setor de produção de uma obra em andamento, da empresa construtora. Assim como a análise dos resultados.

O capítulo 6 apresenta as conclusões, onde são evidenciados os resultados da pesquisa, bem como as limitações da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2: REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo será apresentado uma revisão da literatura como fundamentação teórica para facilitar o entendimento dos temas relacionados a esta pesquisa e contribuir para a análise dos resultados.

2.1 A Cadeia Produtiva da Construção Civil e os Impactos da Covid-19

Segundo Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009), “a cadeia de suprimentos é uma rede de serviços, materiais e fluxos de informação que liga os processos de relacionamento com clientes, de atendimento de pedidos e de relacionamento com fornecedores da empresa e de seus fornecedores e clientes”. Cada atividade de um processo deve agregar valor às atividades precedentes, evitando desperdícios e custos desnecessários.

Uma empresa pode ter múltiplas cadeias de suprimentos, dependendo da linha de serviços ou produtos que oferece. As cadeias de suprimentos devem ser administradas para coordenar os insumos (*inputs*) com os produtos (*outputs*) em uma empresa de modo a alcançar as prioridades competitivas apropriadas dos processos da empresa.

Segundo Rodrigues (2010 apud MARTINS, 2020), a busca por resultados e melhores desempenhos faz com que muitas empresas alinhem seus processos com foco na qualidade e conformidade em relação ao nível de serviço, ou seja, na forma com que os clientes são atendidos. Para isso, é essencial entender como ocorrem os fluxos, as necessidades e demandas de clientes.

O fluxo de suprimentos é responsável pela manutenção dos níveis de produção, exercendo um papel importante na produtividade e competitividade da empresa. “O suprimento é um objetivo compartilhado por praticamente todas funções na cadeia e tem significado estratégico particular devido ao seu impacto sobre os custos totais e participação no mercado (HAGA, 2000, p. 24)”. Pode ser observado ao longo da cadeia produtiva, desde as fontes de matérias-primas até uma unidade de negócio, como uma construtora.

Para Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009), cada empresa em uma cadeia depende de outras para fornecer serviços, materiais ou informações a seus clientes

externos imediatos.

A cadeia da construção civil (Figura 1) por exemplo, reúne empresas de todas as etapas produtivas e investidores em qualquer tipo de ativo produzido pela construção. Os investidores estão na ponta desta cadeia, demandando residências, escritórios, centros comerciais, estradas, redes de trens metropolitanos, aeroportos e toda sorte de edificações e bens de infraestrutura. As empresas projetam e constroem imóveis e obras de infraestrutura, fabricam ou vendem materiais de construção, financiam operações, entre outras atividades (CONSTRUBUSINESS, 2016).

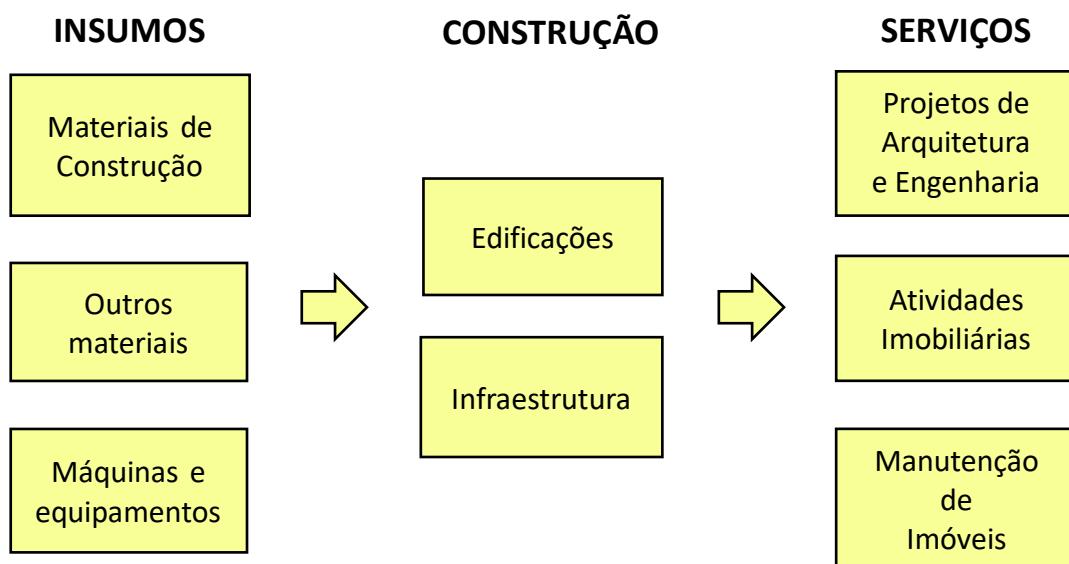


Figura 1: Cadeia Produtiva da Construção Civil
Fonte: Adaptado CONSTRUBUSINESS

O objetivo central da cadeia de suprimento, segundo Slack, Jones e Johnston (2018), é satisfazer o cliente, fornecendo produtos e serviços apropriados. Quando um cliente contrata um serviço de construção por exemplo, ele dispara uma ação ao longo de uma série de cadeias de suprimento na rede. Assim cada operação na cadeia deverá contribuir para qualquer que seja a combinação de qualidade, velocidade, confiabilidade, flexibilidade e custo que o usuário final necessite. Falhas individuais nas operações, em qualquer um desses objetivos, podem ser multiplicadas através da cadeia. Portanto, embora o desempenho de cada operação possa ser adequado, o desempenho da cadeia inteira pode ser fraco.

Assim como, atrasos e falhas no compartilhamento de informações, incerteza e flutuações na demanda, causam acúmulo de estoques ou paradas em serviços devido à

falta de materiais para a sua execução e podem afetar toda a cadeia produtiva.

O Congresso Brasileiro da Construção - CONSTRUBUSINESS, descreveu na sua 12^a edição o funcionamento da cadeia produtiva da construção civil (Figura 2) que será apresentado a seguir.



Figura 2: Cadeia Produtiva da Construção Civil
Fonte: CONSTRUBUSINESS (2016)

A produção é visualizada nos canteiros de obra de todo o país. Neles, os trabalhadores operam máquinas, equipamentos e ferramentas que montam, agregam e transformam diferentes materiais de construção. A indústria de materiais produz os insumos empregados nas obras: cimento e argamassas; concreto e artefatos de cimento e fibrocimento; vergalhões e produtos de metal; produtos asfálticos; perfis e esquadrias; tijolos, telhas e produtos cerâmicos; fios, cabos e materiais elétricos; tintas e vernizes; tubos, conexões e produtos de plástico; vidro; metais sanitários e válvulas; elevadores e escadas rolantes, etc.

Esses produtos industriais, por sua vez, empregam matérias-primas de outras indústrias, como a indústria da mineração. Exemplos disso são a produção de vergalhão, que emprega ferro-gusa produzido a partir do minério de ferro, e a produção de esquadrias de alumínio, feitas a partir de perfis que vêm do metal produzido a partir da bauxita. Vale observar que a maior parte das cadeias industriais que fabricam materiais de construção

é intensiva em energia – visto que empregam grandes volumes de gás natural ou de energia elétrica – ou é elevado o peso das despesas com energia no custo da transformação industrial (CONSTRUBUSINESS, 2016).

Parte dos materiais de construção é destinada aos sistemas industrializados, enquanto outra parcela é encaminhada ao comércio atacadista e varejista, responsável por direcionar os materiais à construção imobiliária e à construção pesada (infraestrutura), de acordo com suas demandas. Os sistemas industrializados consistem na pré-fabricação de componentes da obra divididos em módulos, cuja incorporação na construção se dá com técnica própria, compondo a construção industrial (CONSTRUBUSINESS, 2016).

O setor de construção se integra aos setores de serviços imobiliários e de manutenção e reformas. O setor imobiliário é responsável por comercializar as casas e os edifícios produzidos. Por sua vez, o setor de manutenção e reformas é responsável por expandir o ciclo de vida das edificações. Por fim, ocorrem incorporações, demolições e reconstruções. Permeando a cadeia nas suas diversas etapas, há necessidade de mão de obra em diversos níveis, bem como de serviços técnicos especializados, como engenharia, arquitetura, instalações e sistemas prediais. Analisando a cadeia da construção sob o ponto de vista da sustentabilidade é possível estabelecer os serviços técnicos especializados como o primeiro agente da cadeia, independentemente do estágio do ciclo de vida em que o empreendimento se encontra. A abordagem da sustentabilidade requer que toda atividade realizada na cadeia da construção seja precedida de um planejamento abrangente. A escolha do local do empreendimento, o tipo, a quantidade e a qualidade dos materiais a serem empregados, e o bem-estar dos usuários são variáveis que devem ser consideradas, mensuradas e validadas antes de se colocar em movimento qualquer outro elo da cadeia. Este trabalho é dos engenheiros, arquitetos, geólogos, biólogos, administradores, economistas, entre outros profissionais, que devem trabalhar em conjunto para garantir que qualquer iniciativa gere os melhores efeitos líquidos, isto é, o maior benefício com o menor custo e o menor desperdício possíveis (CONSTRUBUSINESS, 2016).

Há também um conjunto grande de empresas prestadoras de serviços na mineração, na indústria de materiais, no comércio e na construção. São empresas de serviços profissionais (advocacia, contabilidade, propaganda e marketing e consultoria, por exemplo), serviços logísticos, serviços financeiros (seguros e financiamentos) e serviços de apoio à atividade econômica (segurança, alimentação, tecnologia de informação, comunicações, etc.) (CONSTRUBUSINESS, 2016).

A produção da cadeia da construção também sustenta as atividades da indústria de máquinas e equipamentos, visto que todas as etapas produtivas empregam bens de capital para produzir seus produtos. São caminhões do transporte, caldeiras da indústria de materiais, computadores do comércio ou gruas das construtoras (CONSTRUBUSINESS, 2016).

As atividades de prestação de serviços compreendem incorporação, compra e venda de imóveis, aluguel de máquinas e equipamentos e serviços técnicos profissionais, como os de projetos de engenharia e arquitetura. Também estão incluídos os serviços de manutenção predial, como a conservação de elevadores e de outras máquinas e equipamentos prediais (CONSTRUBUSINESS, 2016).

No campo de atuação da construção civil, ao contrário de outros contextos industriais, cadeias de suprimentos de construção não estão sujeitos à horizontalidade mas, principalmente, apresentam interdependências reunidas, recíprocas e interdependência de uma organização maior, devido a necessidade de sincronizar uma série de fornecedores para cada canteiro de obras. A interdependência de operações entre diferentes atividades do projeto de construção civil faz com que diferentes fornecedores alimentem o mesmo projeto. No canteiro de obras, incertezas e adaptações contínuas resultam nessas interdependências recíprocas nas atividades realizadas. A questão fundamental é a sua capacidade de criação de valor e o teste final de valor é a forma como os clientes percebem e avaliam os resultados (VOLSKI, 2017).

A integração de todos os elos da cadeia produtiva se faz necessário, pois segundo Alves e Tommelein (2007), um bom relacionamento da empresa com seus fornecedores, garante o fornecimento ininterrupto de suprimentos para a produção. Essas parcerias são estabelecidas quando se atinge a confiança com determinado(s) fornecedor(es), podendo assim conseguir melhores preços de materiais para a produção.

A construção civil e suas cadeias produtivas desempenham um importante papel dentro da economia brasileira. Segundo dados da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo – FIESP (2020), no Observatório da Construção, o valor adicionado (ou PIB) da cadeia produtiva, conforme Gráfico 1, somou R\$ 197,9 bilhões no primeiro semestre de 2020, sendo que 60,5% estavam associados às atividades da construção civil, 9,8%, à indústria de materiais, máquinas e equipamentos para construção e 11,5%, às atividades de comercialização de materiais. Os serviços, que incluem as atividades dos escritórios de engenharia e arquitetura, das análises e ensaios de materiais, dos serviços de apoio à

construção e das atividades de manutenção condominial, responderam por 18,2% do PIB da cadeia produtiva da construção.

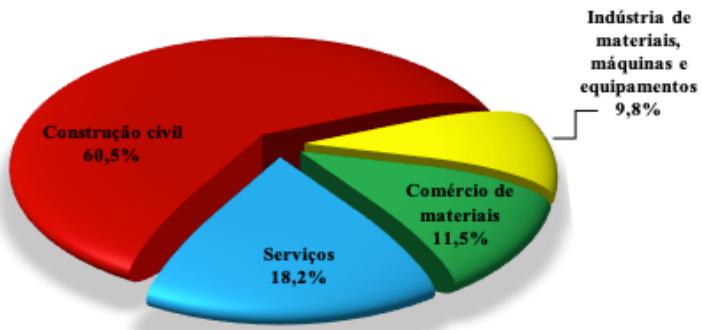


Gráfico 1: Composição da Cadeia Produtiva da Construção por participação (%) no PIB total da cadeia do 1º semestre de 2020

Fonte: Elaboração própria segundo dados da FIESP (2020)

Na comparação com o primeiro semestre de 2019 (Gráfico 2), houve queda real de 7,3% no PIB da cadeia produtiva da construção, decorrente dos impactos da covid-19. O PIB da indústria de materiais, máquinas e equipamentos de construção registrou queda real de 12,1% e o valor adicionado pelo comércio de materiais caiu 2,0%. As atividades construtoras, por outro lado, tiveram aumento real de PIB de 2,8%, o que indica um sinal de sustentação das atividades do setor durante a crise.

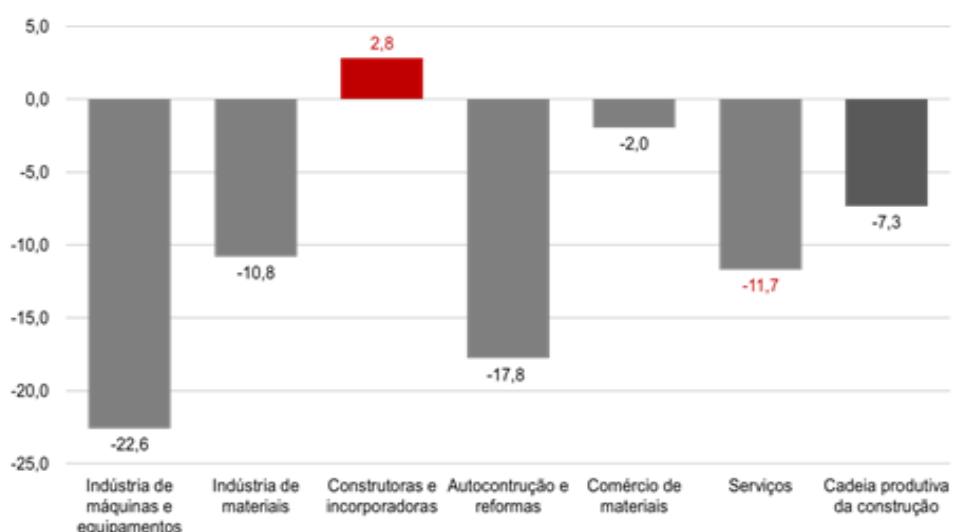


Gráfico 2: PIB na cadeia produtiva da construção - variação real acumulada entre 2019 e 2020 (JAN a JUN)

Fonte: FIESP (2020)

Desse modo, segundo Alves e Tommelein (2007), verifica-se que o gerenciamento adequado da cadeia de suprimentos da construção pode ter grande impacto em economias locais e nacionais, dado o elevado volume de negócios que movimenta.

Segundo a AMBAR (2020), a cadeia de suprimentos da construção civil, em geral, está sendo afetada pelos impactos da covid-19.

A situação global decorrente da pandemia vem causando um efeito avassalador nas grandes economias mundiais. Diante de sua extensão global, sem precedentes e sem previsão para término, a covid-19 traz, inevitavelmente: (I) aumento do custo da matéria-prima; (II) indisponibilidade de matéria-prima; (III) aumento de custo com locação de imóveis adicionais; (IV) aumento de custos com fornecedores; (V) improdutividade; consequências jamais previstas nessa amplitude (CBIC, 2021).

Estes impactos serão apresentados a seguir.

2.1.1 Fornecedor

O isolamento social devido a covid-19 provocou a paralisação da produção de materiais nas indústrias, e consequentemente levou a escassez da matéria-prima. Segundo o economista Jaime Vasconcellos, em Sincomavi (2021), de abril a maio de 2020 os fortes impactos socioeconômicos da doença e das restrições às atividades criaram um abrupto movimento de paralisação econômica, principalmente de investimentos, consumo e produção. Isso impactou o mercado de trabalho, gerou incertezas, prejuízos e difíceis perspectivas. Neste sentido a redução e a suspensão de contratos de trabalho, e até mesmo desligamentos de funcionários, se revelaram mais significativas. Passados os primeiros meses de impacto da pandemia, o que se viu ao varejo de materiais de construção foi uma forte e consolidada demanda ao setor, que dura até hoje.

“As atividades de construção foram classificadas pelos órgãos competentes como essenciais e, de forma geral, não precisaram ser paralisadas desde o início da pandemia (CBIC, 2021).” As pessoas confinadas em suas casas começaram a se dedicar a pequenas reformas. E com as obras já em andamento, provocou um aumento da demanda. O desequilíbrio entre oferta e demanda no setor de construção provocaram um aumento expressivo de preços dos materiais e a dilatação dos prazos de entregas, impactando tanto no valor das obras como nos cronogramas dos serviços, levando a uma crise generalizada em todo o setor de construção.

A escassez de material e de equipamentos é motivo de preocupação para o setor de construção civil, que necessita desses recursos para manter a sua produção. Segundo a coordenadora de Projetos de Construção da FGV/Ibre, de 659 empresas, 13,6% indicaram a falta de material como fator limitante, valor este considerado alto em relação a 2020, onde esse item foi assinalado por apenas 2% das empresas (Folha de S. Paulo, 2021).

Um estudo da Confederação Nacional da Indústria (CNI) mostrou que a escassez de insumos e matérias-primas nacionais para a produção atingiu 72% das indústrias de construção em fevereiro de 2021. As empresas também estão enfrentando dificuldades em conseguir matérias-primas importadas, independente de pagarem mais caro pelos produtos.

De acordo com a Folha de S. Paulo (2021), o desabastecimento é consequência de um descompasso na indústria da construção civil, que teve a produção comprometida principalmente nos primeiros meses da pandemia. Fábricas de cimento e de aço, por exemplo, tiveram de parar as máquinas, e as atividades ainda não retornaram ao patamar anterior à crise.

De acordo com o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 54,8% das empresas do setor de construção enfrentaram em agosto de 2020, alguma dificuldade para acessar insumos, matérias-primas ou mercadorias. O setor apontou maiores dificuldades em louças e sanitários, PVC, produtos de cobre, aço e cimento.

A quebra na cadeia produtiva prejudicou o setor, gerando dificuldades para as empresas de construção darem conta da demanda, tanto para pequenos reparos quanto para grandes empreendimentos.

O economista Jaime Vasconcellos, em Sincomavi (2021) afirma que neste cenário de demanda aquecida e de uma produção impactada pela pandemia, principalmente em 2020, quanto maior a dificuldade de reposição de mercadorias, mais caro fica o produto ao fim da cadeia, ainda mais se a matéria-prima for proveniente do mercado internacional, sujeita a oscilações do dólar e desafios de transporte.

Segundo o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil - SINAPI, divulgado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), a covid-19 afetou diretamente o setor da construção civil, que vem sofrendo com a alta generalizada de preços desde 2020, chegando a 2,46% em junho de 2021, maior variação no comparativo anual, conforme podemos observar na Tabela 1.

Tabela 1: Custo do m² da construção no Brasil (considerando a desoneração da folha de pagamento)

Mês	Total	Variação	
		Mês	12 meses
Dezembro/2021	R\$ 1.514,52/m ²	0,52%	18,65%
Novembro/2021	R\$ 1.506,76/m ²	1,07%	20,33%
Outubro/2021	R\$ 1.490,88/m ²	1,01%	21,22%
Setembro/2021	R\$ 1.475,96/m ²	0,88%	22,06%
Agosto/2021	R\$ 1.463,11/m ²	0,99%	22,74%
Julho/2021	R\$ 1.448,78/m ²	1,89%	22,60%
Junho/2021	R\$ 1.421,87/m ²	2,46%	20,92%
Maio/2021	R\$ 1.387,73/m ²	1,78%	18,18%
Abril/2021	R\$ 1.363,41/m ²	1,87%	16,31%
Março/2021	R\$ 1.338,35/m ²	1,45%	14,46%
Fevereiro/2021	R\$ 1.319,18/m ²	1,33%	13,22%
Janeiro/2021	R\$ 1.301,84/m ²	1,99%	12,01%
Dezembro/2020	R\$ 1.276,40/m ²	1,94%	10,16%

Fonte: IBGE (2021)

Segundo dados do IBGE, em dezembro de 2021 o custo do m² chegou a R\$1.514,52, com uma variação de 0,52% no mês, somando alta de 18,65% no acumulado em 12 meses. Comparado com o ano anterior, a taxa foi de 1,94% em dezembro de 2020.

As variações acumuladas encerradas em dezembro de 2021, do Sinapi (18,65%) e do INCC/FGV (14,03%) mostraram o incremento nos custos da construção por metro quadrado que passou de R\$ 1.506,76 em novembro para R\$ 1.514,52 em dezembro. Segundo o INCC, desse total de dezembro, R\$910,06 correspondem aos custos dos materiais e R\$604,46 correspondem ao custo da mão de obra.

A análise desagregada dos dois indicadores também demonstra o forte impacto no aumento dos custos com materiais de construção. Enquanto nos últimos 12 meses (de novembro de 2020 a novembro de 2021), o INCC/FGV Materiais e Equipamentos cresceu 22,98%, o Sinapi aponta na mesma direção, com alta de 20,33% (CBIC, 2021).

Dentre os principais fatores que desencadearam o aumento dos custos dos materiais de construção estão a escassez de matéria-prima, aumento de demanda e desvalorização da moeda nacional.

A desvalorização do real frente ao dólar, além de elevar o custo das importações, também fez com que as exportações de insumos brasileiros se tornassem mais atrativas. Assim, a partir do momento em que alguns fornecedores optam por exportar os seus

produtos, o mercado nacional, que teve um crescimento expressivo na demanda, ficou desabastecido (CBIC, 2021).

Conforme dados da FGV (2020), desde o segundo trimestre de 2020 a Construção Civil convive com aumentos excessivos nos seus custos com materiais de construção. De agosto a dezembro o INCC materiais e equipamentos registrou aumentos superiores a 1%, encerrando o ano de 2020 com uma inflação de 4,52%, acima do centro da meta para o ano. O Gráfico 3 mostra esses valores.

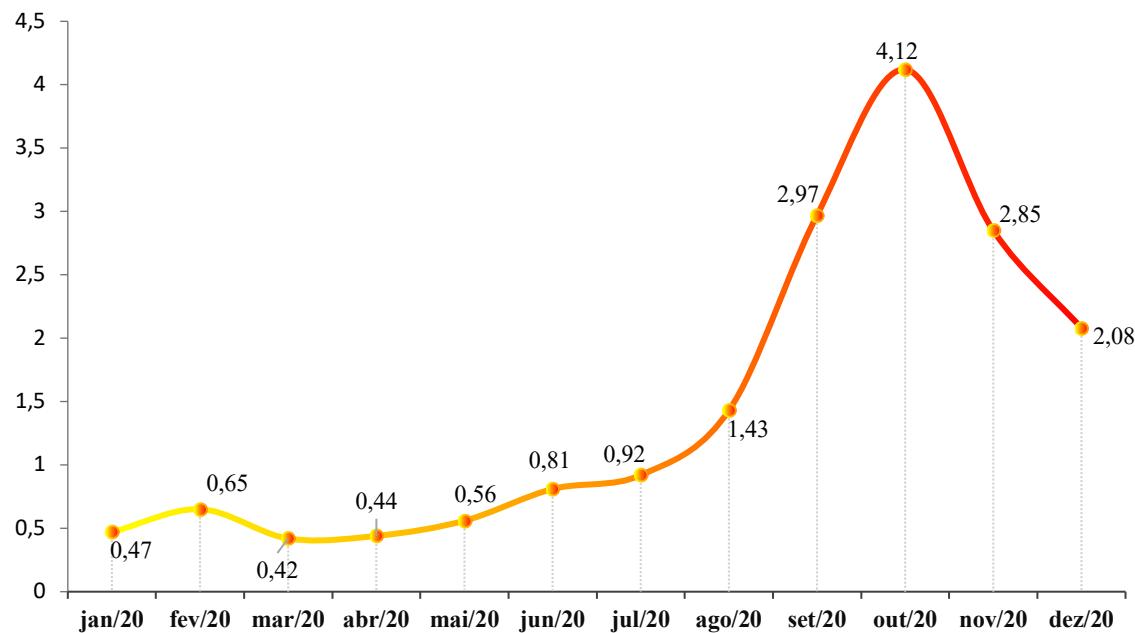


Gráfico 3: Evolução das variações mensais (%) do INCC Materiais e Equipamentos
Fonte: Elaboração própria conforme dados da FGV (2020)

O Gráfico 4 também mostra esse aumento dos materiais, equipamentos e serviços nas variações acumuladas em 12 meses em 2020. Observa-se que o Índice Nacional de Custo da Construção (INCC) acompanhou esse crescimento. Já as taxas de variações no acumulado em 12 meses referentes a mão de obra, comparadas com os primeiros meses da pandemia (março, abril, maio), que iniciou com 4,97% em março, tiveram uma queda, acumulando 2,54% em dezembro.

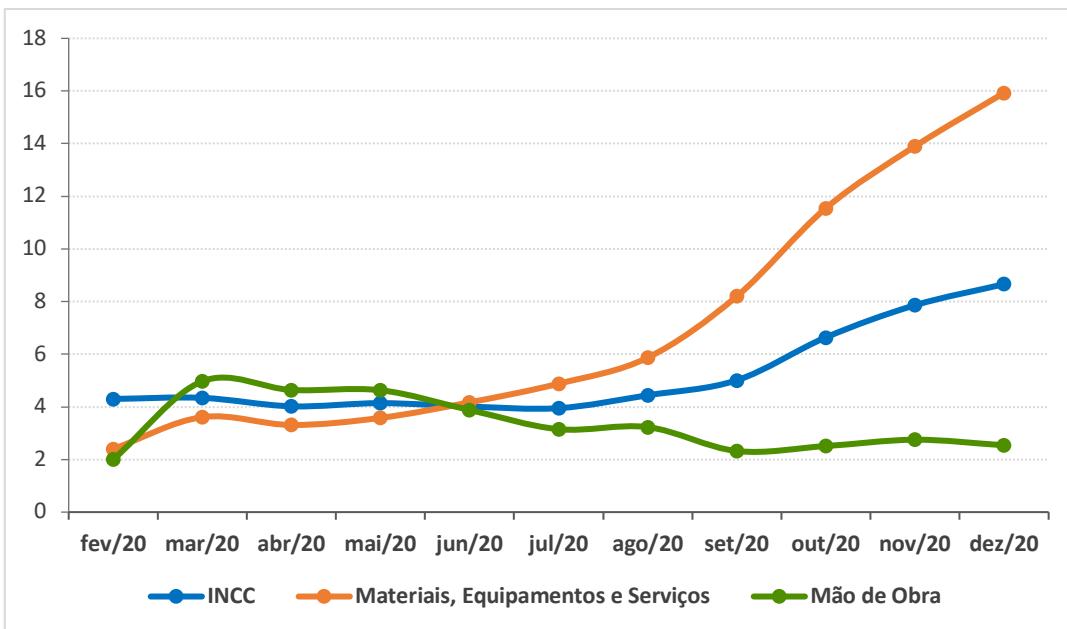


Gráfico 4: Variação (%) do INCC-M acumulado em 12 meses (2020)

Fonte: Elaboração própria conforme dados da FGV (2021)

A CBIC (2021) informa que o percentual de empresas da construção que enfrentam os problemas causados pela falta e o alto custo das matérias-primas, subiu de 39,2% para 50,8% entre o terceiro e o quarto trimestre de 2020. Este problema se disseminou ainda mais no primeiro trimestre de 2021, subindo de 50,8% no quarto trimestre de 2020 para 57,1% no primeiro trimestre de 2021.

Conforme dados da CNI (2021), na sondagem industrial de dezembro de 2021, mostrou que a preocupação com os insumos segue elevada entre as indústrias no quarto trimestre de 2021, destacando-se como principais problemas, além da falta ou alto custo da matéria-prima, a elevada carga tributária e a demanda interna insuficiente, conforme dados do Gráfico 5.



Gráfico 5: Principais problemas enfrentados pela indústria da construção no trimestre (%)

Fonte: CNI (2021)

A Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC (2021) destaca a explosão no preço de importantes insumos para a construção, como o petróleo e o aço, que desempenham um papel fundamental na formação dos custos da indústria da construção. Quando os preços do petróleo baixam, os produtos à base de petróleo, como impermeabilizantes, asfalto e materiais de cobertura, caem. Quando os preços do aço aumentam, o custo de barras, vigas, painéis metálicos e tubulações, por exemplo, disparam.

Segundo dados da FGV no levantamento do Custo Unitário Básico, divulgados pelo SindusCom-MG (Sindicato da Construção Civil) desde março de 2020, os preços dos fios de cobre, do aço e do cimento tiveram reajustes de 91,26%, 75% e 50,79%, respectivamente. Os materiais elétricos também passaram por grandes reajustes, com alta de 83%.

Dados do Índice de Preços ao Consumidor Amplo (-IPCA IBGE), conforme a Tabela 2 mostram que os materiais hidráulicos lideraram o avanço dos preços de junho de 2020 a maio de 2021, no país. Destaca-se também o avanço médio dos preços de tijolos (+27,7), revestimento de piso e parede (+23%), ferragens (+19,5%) e cimento (+17,7%). Na Região Metropolitana de São Paulo, aos subitens disponíveis para a avaliação, observa-se avanços relevantes dos preços aos consumidores no grupo de revestimentos de piso e parede (+17,5%) e nas tintas (+10,7%). Este foi um período marcado pela recuperação da demanda e consequentemente das receitas da indústria da construção e varejo de materiais de construção em geral.

Tabela 2 - Taxa do IPCA/IBGE ao item Reparos

Item e subitem	IPCA/IBGE - maio 2021	
	Variação acumulada em 12 meses (%)	
	Brasil	RMSp
Reparos	8,3	7,0
Ferragens	19,5	-
Material de eletricidade	10,8	-
Vidro	0,1	-
Tinta	10,3	10,7
Revestimento de piso e parede	23,0	17,5
Madeira e taco	9,4	-
Cimento	17,7	-
Tijolo	27,7	-
Material hidráulico	36,3	40,2
Mão de obra	-0,8	-0,8
Areia	12,7	-
Pedras	-2,6	-
Telha	19,7	-

Fonte: IBGE – Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo

O Gráfico 6 apresenta a variação dos preços de materiais, equipamentos, serviços e mão de obra ao longo de 2021, conforme dados da FGV, no Índice Nacional de Custo da Construção – INCC.

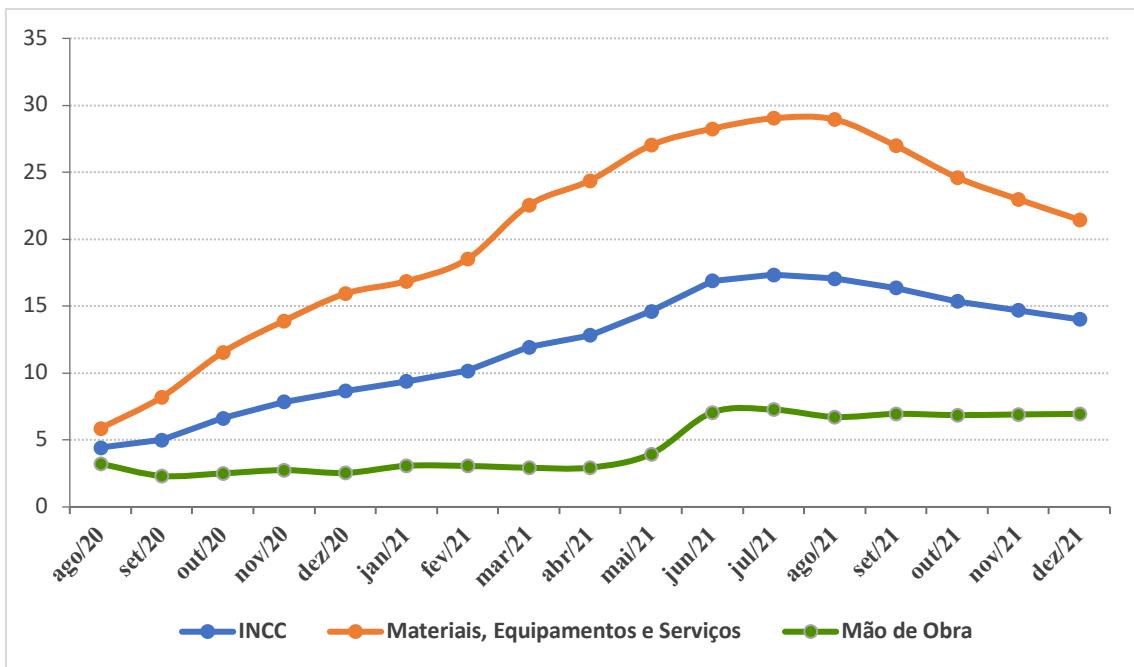


Gráfico 6: Variação do INCC-M acumulado em 12 meses (2020/2021)
Fonte: Elaboração própria conforme dados da FGV (2021)

Podemos observar que o INCC no acumulado em 12 meses de 2021 veio crescendo desde agosto de 2020, chegando a taxa máxima de 17,35% em julho, a maior variação para o período registrada até hoje, segundo a CBIC (2021). É necessário destacar que altas nesta proporção prejudicam o setor da construção, que vem contribuindo sistematicamente com o incremento das atividades econômicas do País. O aumento no custo da mão de obra e de materiais e equipamentos também ficam evidenciados no resultado acumulado em 12 meses encerrados em julho com 7,27% e 29,03%, respectivamente, a maior variação para o período até hoje.

Segundo o índice de faturamento dos materiais de construção calculado pela ABRAMAT, em junho de 2021 o faturamento total deflacionado destes materiais registrou um crescimento de 17,3% em relação a junho de 2020 (Figura 3). Para os materiais básicos, a revisão indicou crescimento de 14,9% em relação ao mesmo mês do ano passado e para os materiais de acabamento houve crescimento de 21,3% na mesma base de comparação. A partir de junho de 2020 a produção industrial já registrava certa recuperação, assim as taxas de variação passam a diminuir em relação às taxas altas dos meses anteriores. Em julho de 2021, o faturamento da indústria de materiais registrou queda de 1,0% em relação a junho, já ajustado sazonalmente. Na comparação com o mesmo mês de 2020, houve alta de 3,6%.

Com esse resultado, o faturamento da indústria de materiais chegou ao sétimo mês do ano de 2021 com alta de 21,4% na comparação com o acumulado do mesmo período de 2020, conforme podemos observar na Figura 3.

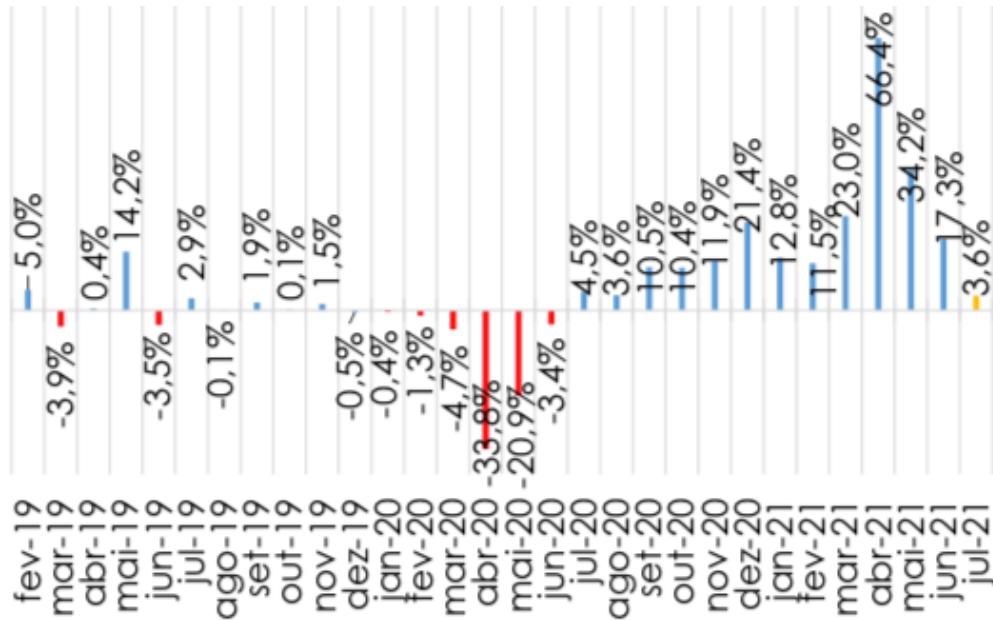


Figura 3: Faturamento deflacionado - variação % do mês de estudo / mesmo mês do ano anterior
Fonte: ABRAMAT (2021)

Segundo dados da FGV, o Índice Nacional de Custo da Construção – M (INCC-M) variou 0,30% em dezembro de 2021, percentual inferior ao apurado no mês anterior, quando o índice registrou taxa de 0,71%. Com este resultado, o índice acumula alta de 14,03% no ano, ante 8,66% em 2020. A taxa do índice relativo a materiais, equipamentos e serviços passou de 1,11% em novembro para 0,49% em dezembro. O índice referente à mão de obra variou 0,10% em dezembro, contra 0,28% em novembro, conforme dados da Tabela 3.

Tabela 3 - INCC-M dezembro de 2021

Discriminação	Índice Base ago/94=100	Variação Percentual			
		Novembro/21	Dezembro/2021	Acumulada	
		Ano	12 Meses		
INCC – TODOS OS ITENS	960,894	0,71	0,30	14,03	14,03
Materiais, Equipamentos e Serviços	825,511	1,11	0,49	21,45	21,45
Mão de Obra	1124,909	0,28	0,10	6,95	6,95

Fonte: FGV IBRE

No grupo materiais, equipamentos e serviços, a taxa correspondente a materiais e equipamentos variou 0,48% em dezembro, após subir 1,23% no mês anterior. Três dos quatro subgrupos componentes apresentaram decréscimo em suas taxas de variação, destacando-se “materiais para estrutura”, cuja taxa passou de 0,73% para -0,45%.

A variação relativa a serviços passou de 0,49% em novembro para 0,57% em dezembro. Neste grupo, vale destacar o avanço da taxa do item “refeição pronta no local de trabalho”, que passou de 0,49% para 1,97%.

A taxa de variação referente ao índice da mão de obra variou 0,10% em dezembro, ante 0,28% em novembro.

Tabela 4 - Variações dos percentuais segundo estágios

Discriminação	Variação Percentual			
	Novembro/2021	Dezembro/2021	Acumulada	
			Ano	12 Meses
INCC – M	0,71	0,30	14,03	14,03
MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E SERVIÇOS	1,11	0,49	21,45	21,45
Materiais e Equipamentos	1,23	0,48	24,37	24,37
Materiais para estrutura	0,73	-0,45	25,86	25,86
Material metálico	-0,08	-2,22	46,64	46,64
Material de madeira	1,27	0,63	25,60	25,60
Material à base de minerais não metálicos	1,14	0,44	15,16	15,16
Materiais para instalação	1,59	2,05	24,79	24,79
Instalação hidráulica	0,91	3,77	27,50	27,50
Instalação elétrica	2,73	-0,76	20,41	20,41
Materiais para acabamento	1,75	1,27	20,18	20,18
Produtos químicos	4,04	1,50	26,11	26,11
Revestimentos, louças e pisos	0,97	0,54	17,21	17,21
Esquadrias e ferragens	1,55	1,49	19,04	19,04
Material para pintura	2,29	0,96	19,48	19,48
Madeira para acabamento	1,73	1,73	26,49	26,49
Pedras ornamentais para construção	0,42	1,05	10,38	10,38
Equipamentos para transporte de pessoas	2,03	0,62	26,31	26,31
Serviços	0,49	0,57	8,61	8,61
Aluguéis e taxas	0,89	0,32	9,69	9,69
Serviços pessoais	0,30	1,21	6,74	6,74
Serviços técnicos	0,20	0,26	9,16	9,16
MÃO DE OBRA	0,28	0,10	6,95	6,95
Auxiliar	0,31	0,12	7,06	7,06
Técnico	0,29	0,08	7,03	7,03
Especializado	0,15	0,09	6,31	6,31

Fonte: FGV IBRE

Cinco capitais (Tabela 5) apresentaram decréscimo em suas taxas de variação: Salvador, Recife, Rio de Janeiro, Porto Alegre e São Paulo. Em contrapartida, Brasília e Belo Horizonte apresentaram acréscimo em suas taxas de variação.

Tabela 5 - Variações percentuais segundo municípios de 7 capitais

Município	Variação Percentual	
	Novembro/2021	Dezembro/2021
INCC - M	0,71	0,30
Salvador	0,44	0,11
Brasília	2,17	1,01
Belo Horizonte	0,30	-0,13
Recife	0,71	0,29
Rio de Janeiro	0,58	0,31
Porto Alegre	0,27	0,43
São Paulo	0,66	0,25

Fonte: FGV IBRE

A Tabela 6 apresenta os materiais de maiores influências positivas e negativas.

Tabela 6 - Maiores influências positivas e negativas

Discriminação	Variação Percentual	
	Novembro/2021	Dezembro/2021
MAIORES INFLUÊNCIAS POSITIVAS		
Tubos e conexões de PVC	0,58	4,80
Metais para instalações hidráulicas	1,30	2,54
Refeição pronta no local de trabalho	0,49	1,97
Esquadrias de alumínio	1,31	1,23
Ferragens para esquadrias	1,93	1,91
MAIORES INFLUÊNCIAS NEGATIVAS		
Vergalhões e arames de aço ao carbono	0,53	-2,79
Condutores elétricos	4,26	-3,02
Tubos e conexões de ferro e aço	-1,19	-1,16
Cimento Portland comum	0,34	-0,11
Compensados	1,16	-0,38

Fonte: FGV IBRE

De acordo com a Sinduscon-MG (2021), dados da FGV revelam que os vergalhões e arames de aço ao carbono, depois de apresentarem altas acentuadas nos últimos meses de 2021, em agosto ficaram relativamente estáveis (-0,75), chegando a -2,79 em dezembro. De toda forma, este insumo ainda acumula aumento expressivo. De agosto de 2020 a agosto de 2021, a elevação foi de 76,31%.

De acordo com a CBIC (2021), conforme Sondagem Nacional da Indústria da Construção, realizada pela CNI, com o apoio da CBIC, durante quatro trimestres consecutivos (ago/20 a jul/21) o aumento nos custos dos insumos foi o principal problema

enfrentado pelo setor, apontado por 55,5% dos empresários pesquisados no 2º trimestre de 2021.

Segundo a ABRAMAT, os meses de março, abril e maio de 2021 foram os de maior impacto da pandemia sobre a produção industrial, sendo assim a magnitude dos resultados apresentados neste trimestre se justifica pela base de comparação excepcionalmente reprimida desse mesmo período em 2020. Importante destacar que o setor depende de muitas externalidades para o seu crescimento sustentável. Como exemplos, destacamos a busca conjunta por todos os elos da cadeia da construção de medidas e ações que possam ajudar na redução de custos das matérias-primas, a efetiva retomada das obras de infraestrutura, além da necessidade de intensificar o ritmo da vacinação em todo país (REVENDA, 2021).

Segundo a Folha de S. Paulo (2021), em 2020 houve um crescimento de 23% no número de obras acima de R\$ 1 milhão feitas por construtoras em relação a 2019. A normalização do setor está atrelada à melhora da pandemia. Uma vez estabilizada a situação do país, haverá melhor organização da logística e da distribuição dos produtos.

2.1.2 Transporte Rodoviário de Materiais

O transporte é o principal componente do sistema logístico (FLEURY, 2000). É o elo de ligação entre fornecedores e clientes (empresa) na cadeia de suprimentos, permitindo que os materiais cheguem até as empresas consumidoras.

Segundo o IBGE (2019), a distribuição espacial da logística de transportes no território brasileiro revela uma predominância do modal rodoviário, bem como sua concentração na região Centro-sul com destaque para o estado de São Paulo. Mesmo com distribuição desigual pelo território nacional, a malha rodoviária tem vascularização e densidade muito superiores às dos outros modais de transporte e só não predomina na região amazônica, onde o transporte por vias fluviais tem grande importância, devido à densa rede hidrográfica natural.

Segundo a Associação Brasileira de Logística e Transporte de Carga (ABTC), a atividade transportadora corresponde a cerca de 65% de tudo o que circula no país e tem influência tanto no abastecimento de cidades quanto na circulação de tudo o que é produzido.

Em 2019, período pré-crise, o setor de transporte apresentou diminuição da frota circulante e redução de trabalhadores encerrando o ano de 2019 com 160,4 mil empregos a menos. Cerca de 57,3% das empresas de transporte operaram com capacidade ociosa em 2019. Foi nesse cenário de já baixa demanda, faturamento fraco, quadro de empregados reduzido, ociosidade, custos elevados e, consequentemente, baixo capital de giro que a pandemia da covid-19 atingiu o setor transportador brasileiro como um todo em 2020 (CNT, 2020).

Segundo a CNT (2020), nos primeiros meses da pandemia, o desaquecimento da atividade econômica devido ao fechamento de estabelecimentos comerciais e à paralisação de indústrias provocados pelo *lockdown*, reduziu drasticamente a demanda pelos serviços de transporte. E com a redução do número de funcionários trabalhando nas transportadoras devido ao isolamento social, levou ao desabastecimento das cidades.

Como podemos observar no Gráfico 7, o fluxo de veículos pesados, como caminhões, nas rodovias do Brasil teve uma redução de 1,1% em 2020 e em janeiro de 2021 superou em 4% a referência pré-crise.

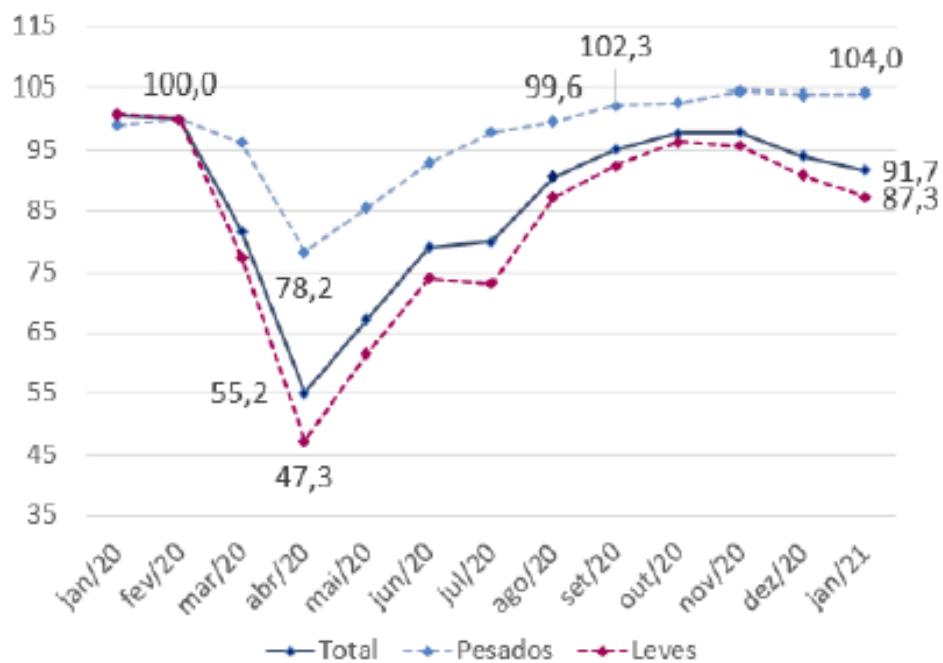


Gráfico 7: Evolução mensal do Índice ABCR de fluxo de veículos
Fonte: Elaboração CNT segundo dados da Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias

Levantamento da NTC&Logística (Associação Nacional do Transporte de Cargas e Logística) mostra que o volume de cargas movimentadas em março de 2020 (início da pandemia no Brasil), teve queda de 45,17% após cinco semanas de acompanhamento da crise que afeta o país. Os dados foram apurados desde o dia 16 de março de 2020 com empresas de vários tamanhos e segmentos de todo o Brasil ligadas à NTC&Logística (CNT, 2020).

A consequência disso foi o atraso nas entregas de materiais às empresas consumidoras, impactando diretamente as construtoras.

De acordo com a CBIC, em abril de 2020, 56% das empresas construtoras alegaram atrasos nos prazos de entrega de materiais. Os principais insumos da construção que apresentam esse problema foram: fechaduras, louças, cubas de aço inox, aquecedores, concreto, acessórios para janelas, bombas para saneamento, motores elétricos para equipamentos de saneamento, componentes elétricos para quadros de comando, aço, argamassas, ferro, vidro, e peças para manutenção de equipamentos. E para 10% das empresas, houve cancelamento de pedidos (em função da redução da produção), com destaque para produtos metalúrgicos.

Em julho de 2021 a Sinduscom-MG apontou os materiais que lideram o *ranking* em termos de maior prazo de entrega: aço, cabos elétricos, louças, metais, esquadrias de alumínio e tubos de PVC.

Segundo a análise da Confederação Nacional do Transporte – CNT, na 6ª rodada da Pesquisa de Impacto no Transporte, ainda não é possível prever quando terminarão os prejuízos causados pela Covid-19 às transportadoras e à economia. Em abril de 2021, mais da metade das empresas (53,4%) acreditaram não ser possível prever quando terminarão os prejuízos da pandemia para o setor de transporte. No ano de 2021, entre o segundo e o terceiro trimestre de 2021, o Brasil atingiu a pior fase da pandemia da Covid-19. Nesse contexto adverso, mais da metade das transportadoras (54,5%) avaliaram a situação das suas empresas como ruim. Outras 30,5% consideram o desempenho de suas empresas satisfatório, e apenas 12,4% avaliaram a situação como boa.

Reconhecido como ramo essencial neste momento de crise, o setor transportador clama por ações de manutenção das suas atividades e de apoio às suas operações. Escolhas difíceis terão de ser tomadas, mas reconhecer e fortalecer o transporte como garantidor da sustentabilidade da vida social e econômica vai permitir superar os impactos da covid-19 mais rapidamente. Afinal, o transporte move e promove o país (CNT,2020).

2.1.3 Empresas Construtoras

A construção civil é um setor industrial de grande potencial no cenário político e econômico do Brasil e um dos segmentos que mais gera empregos no Brasil. Somente em 2020, havia mais de 106 mil novas vagas. “Caracterizada pela movimentação de um conjunto de atividades encadeadas no seu processo produtivo, a indústria da construção tem forte impacto no desenvolvimento do país (CONSTRUBUSINESS, 1999, apud SANTOS e MOCCELLIN, 2001)”. Nesse sentido, as incertezas do atual cenário atrasam investimentos e diminuem a capacidade de recuperação da economia.

A atividade de construção é essencial, pois sem ela moradias não são entregues, leitos hospitalares não são disponibilizados, reforma e adaptação de estruturas para melhorar o funcionamento de serviços públicos essenciais não ocorrem. Com a paralisação das atividades de construção deixam de ser feitas as montagens de estruturas de segurança, unidades de saúde não são edificadas, ampliadas ou mesmo mantidas. Sem a manutenção de redes, realizada por meio da atividade de construção, pode haver o risco de desabastecimento de água, comprometer o tratamento de esgoto ou mesmo o levar ao colapso dos serviços de telecomunicações (CBIC, 2020).

Devido a essa gama de atividades, o setor provoca grande impacto em muitas outras cadeias produtivas e atividades econômicas do país. Subempreiteiros e terceirizados diversos, somados aos trabalhadores das indústrias de insumos compõem um grande número de trabalhadores que dependem da manutenção das atividades de construção para manter estabilidade ocupacional (BATISTA, NETTO e MEDEIROS, 2020).

Segundo a CBIC (2020), a paralisação de obras pode levar a prejuízos irreparáveis para a sociedade, e mesmo para as empresas, pela deterioração irreversível de bens, máquinas e equipamentos, que ficarão, como é característica da atividade, a céu aberto, sujeitos a intempéries da natureza.

Portanto, os impactos causados pela covid-19 aos fornecedores e ao transporte, ligados a escassez de materiais, aumento excessivo dos preços de materiais e equipamentos, assim como os atrasos nas entregas destes materiais, afetaram diretamente o setor de produção das empresas construtoras, comprometendo as obras em andamento. As consequências foram diversas e serão destacadas a seguir.

Segundo a CBIC (2020), a covid-19 é capaz de produzir disfuncionalidades de mercado que podem interferir na cadeia de suprimentos dos contratos de obra, dificultando sua operação e onerando a sua produção. Em pesquisa realizada para o Progresso de Empresas de Infraestrutura Social e Logística (Apeop) junto a 54 empresas construtoras com atuação no estado de São Paulo, revelaram que o atraso na entrega de materiais e até cancelamento de pedidos, somados a redução da jornada de trabalho e ao afastamento de trabalhadores (home office e grupos de risco), reduzindo a quantidade de funcionários para a realização das obras, teve como resultante o alongamento dos prazos inicialmente previstos nos contratos de obras públicas.

Medidas administrativas, como a suspensão da execução do contrato ou mesmo sua alteração, foram tipificadas pela Lei 8.666/93 como hipóteses a ensejar o reequilíbrio contratual, indenizações ao contratado ou a própria rescisão do contrato (CBIC, 2020).

A Apeop aponta como medidas extraordinárias que garantam a continuidade das obras: a dilatação dos prazos contratuais, o empenho avançado de recursos pelo prazo não inferior a 120 dias e o rigoroso pagamento em dia dos serviços executados.

Os atrasos freiam a produção e levam à desmobilização indesejada de mão de obra nos canteiros e à quebra inesperada de contratos, criam passivos entre empresas e o setor público, provocam perdas irrecuperáveis na economia e, sobretudo, adiam a entrega de obras, as quais, muitas vezes, são empreendimentos cruciais ao desenvolvimento econômico e social do país.

Para que as empresas de construção civil pudessem dar continuidade com as obras, novas medidas tiveram que ser adotadas e normas foram criadas com o objetivo de manter a segurança dos trabalhadores. As sugestões da Comissão de Obras Industriais e Corporativas, apresentadas pela CBIC (2020) no início da pandemia para estas empresas foram:

- Obras em fase de implantação: criar um comitê de gerenciamento de crise; refazer o planejamento da obra objetivando iniciar apenas a atividades inadiáveis, ou seja, aquelas que impactam diretamente no sucesso do projeto, reprogramando a mobilização para o segundo semestre de 2020; renegociar a contratações de insumos e maquinário.
- Caso a obra esteja em execução: criar um comitê de gerenciamento de crise; refazer o planejamento da obra priorizando as atividades do caminho crítico; ajustar as condições operacionais, alterando a modalidade de contratação; ajustar o cronograma

de obras, estabelecendo um contingente de funcionários necessários em canteiro apenas para executar as atividades do caminho crítico do empreendimento; alterar a política de uso do refeitório pelos funcionários, estabelecendo horários alternados; afastar por férias ou outra modalidade, os funcionários considerados do grupo de risco do novo coronavírus; reduzir o número de funcionários atuando no ambiente de trabalho; intensificar a adoção de medidas de assepsia dos funcionários, com orientação e controle das rotinas de higiene dos ambientes.

Um dos principais desafios enfrentados pela Construção Civil, o aumento nos preços de materiais contribuiu para reduzir o ritmo de atividades do setor, pois gerou instabilidade e incerteza perante os contratos. O Gráfico 8 mostra o nível de atividade neste setor ao longo do ano de 2020.

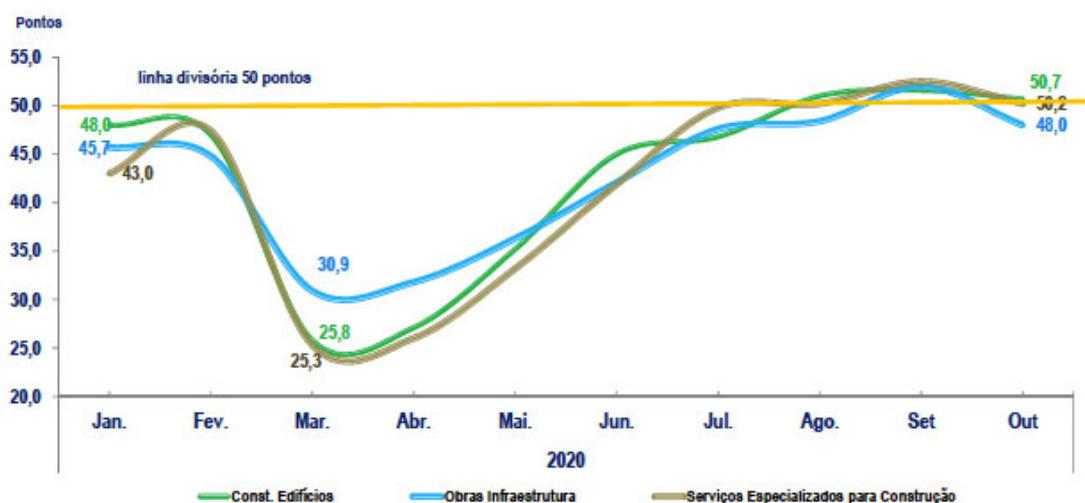


Gráfico 8: Evolução dos Índices de Nível de Atividade da Construção Civil em 2020
Fonte: CBIC (2020)

Observa-se que todos os segmentos do setor (construção de edifícios, obras de infraestrutura e serviços especializados para construção) registraram recuperação de suas atividades em relação ao auge da crise e a partir do início do terceiro trimestre de 2020 atingiram patamares mais elevados comparados com o início do ano.

Com preços inflados da matéria-prima e materiais de construção, somados aos custos adicionais de implantação dos protocolos de segurança, que não eram previstos à época da formação de preços dos projetos; os custos atuais acabaram destoando daqueles

acordados antes da pandemia, provocando um desequilíbrio econômico e financeiro dos contratos em andamento (CBIC, 2021).

O desabastecimento e alta dos preços dos materiais, segundo a CBIC (2021), levaram a redução do Produto Interno Bruto (PIB – soma de toda a riqueza produzida) das indústrias de construção civil, que chegou a ser negativo em 7% em 2020. De acordo com o presidente da CBIC, a estratégia do setor em 2021 para enfrentar a falta ou o custo de matéria-prima para os empresários da construção será “um choque de oferta por meio da importação de produtos”.

Além disso, novos investimentos imobiliários podem ser postergados, contribuindo para uma menor geração de emprego e renda e, com isso, fragilizando ainda mais o mercado de trabalho do país.

Para a CBIC (2021), a expectativa para 2021 era um crescimento de 4%, porém, segundo o Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo - Sinduscon-SP (2022), o PIB das empresas de construção civil cresceu 8% em 2021.

O setor da construção tem realizado esforços para manter o ritmo de suas atividades para continuar gerando emprego e renda no país. Entretanto, sem dúvidas, o aumento acentuado nos custos é um limitador que impede um avanço ainda maior em suas atividades. O percentual do PIB poderia ser ainda maior caso o setor não estivesse, desde o segundo semestre de 2020, sofrendo influência de elevações expressivas em seus custos com materiais (CBIC, 2021).

As dificuldades ainda são resultado das incertezas que a economia atravessou durante os primeiros meses da pandemia, quando muitas empresas cancelaram a compra de insumos. A rápida retomada da economia no segundo semestre de 2020 não pode ser acompanhada no mesmo ritmo por todas as empresas, o que gerou dificuldades nos diversos elos da cadeia (CBIC, 2021).

A CBIC apurou que, entre suas mais de 70 mil empresas associadas, em destaque as que atuam no segmento de obras industriais e corporativas, que o “custo COVID” tem sido absorvido unilateralmente, em sua maioria, pelas próprias empresas.

Com uma atividade tão robusta e impactante na economia brasileira, é certo que a construção civil pode ser a grande mola propulsora para a retomada do desenvolvimento nacional. Garantir o crescimento do setor significa dinamizar a geração de emprego e renda tão necessários e desejados (CBIC, 2021).

Segundo dados da CNI (2021), no documento mensal da sondagem da indústria da construção, o nível de atividade (48,5 pontos) após dois meses de crescimento,

registrou queda em novembro de 2021. Assim como, o número de empregados caiu para 49 pontos, abaixo da linha divisória de 50 pontos, conforme demonstrado nos Gráficos 9 e 10.

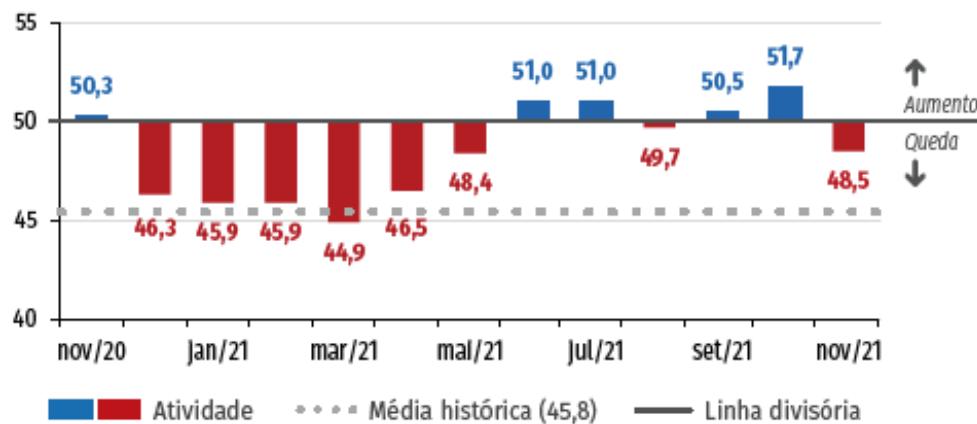


Gráfico 9: Evolução do nível de atividade (0 a 100 pontos)
Fonte: CNI (novembro/2021)

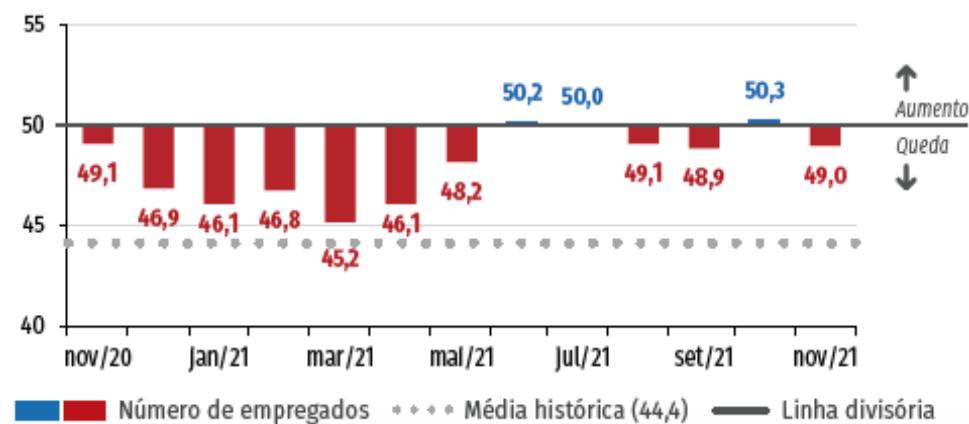
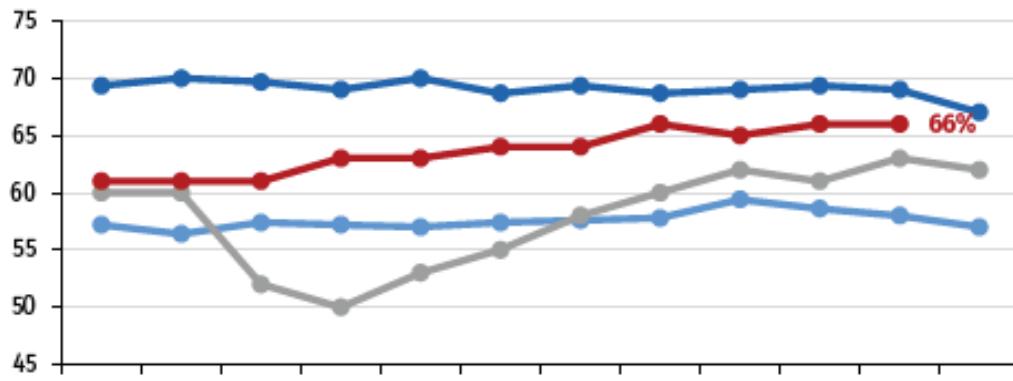


Gráfico 10: Evolução do número de empregados (0 a 100 pontos)
Fonte: CNI (novembro/2021)

No entanto, o setor de construção permanece com elevado nível de Utilização da Capacidade Operacional (UCO), que conforme o Gráfico 11 se manteve em 66%, patamar superior em relação aos últimos sete anos. Desde o início de 2021, o indicador tem apresentado tendência de alta e num patamar bem mais elevado comparado ao ano de 2020 (início da pandemia).



—●— Média 2012-14 —●— Média 2015-19 —●— 2020 —●— 2021



Gráfico 11: Evolução % da Utilização Média da Capacidade de Operação
Fonte: CNI (novembro/2021)

Segundo dados da CNI (2021), os empresários da Construção seguem com expectativas positivas. Em novembro de 2021 a expectativa do nível de atividade para os próximos seis meses avançou, assim como a expectativa de novos empreendimentos e serviços e do número de empregados. Apenas o índice de expectativa de compras de insumos e matérias-primas se manteve praticamente estável, com uma variação de -0,2 ponto em relação a novembro de 2021, caindo para 54,2 pontos. Estes dados estão demonstrados no Gráfico 12.

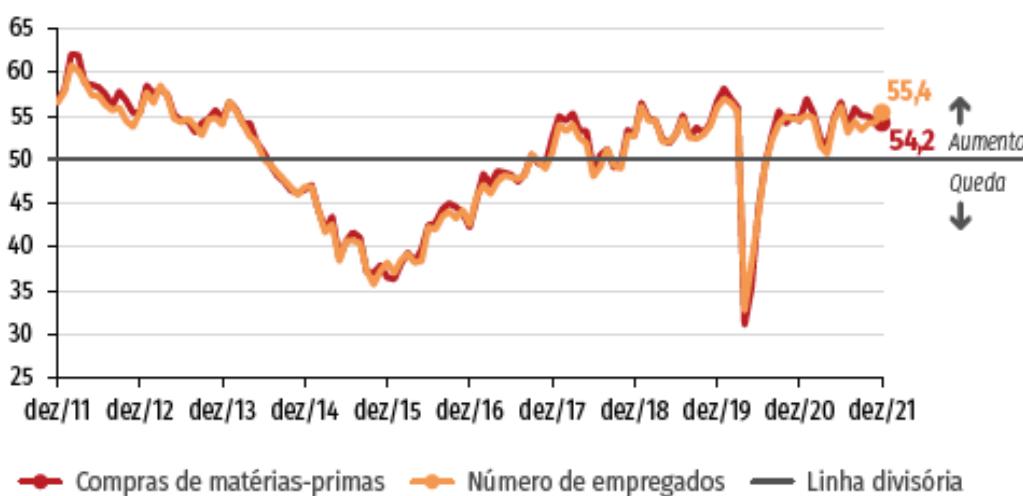
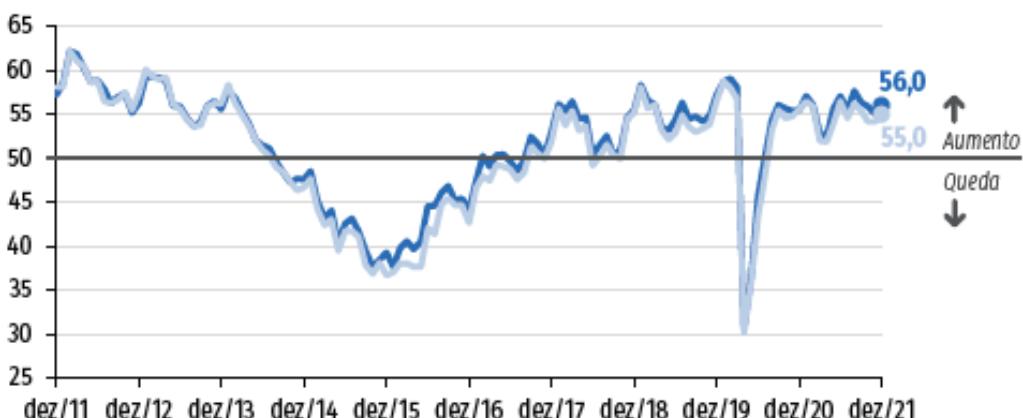


Gráfico 12: Índices de expectativa (0 a 100 pontos)

Fonte: CNI (novembro/2021)

Os estoques atingiram o nível planejado pela indústria em outubro e ultrapassaram o patamar em novembro, após momentos críticos de baixos estoques em 2020. Este resultado pode indicar menos gargalos para a indústria (CNI, 2021). Segundo a CNI (2021), em dezembro de 2021, os estoques diminuíram, mas o índice do nível de estoque efetivo (50,4) ainda se encontra praticamente no nível planejado pelas empresas, conforme podemos observar no Gráfico 13.

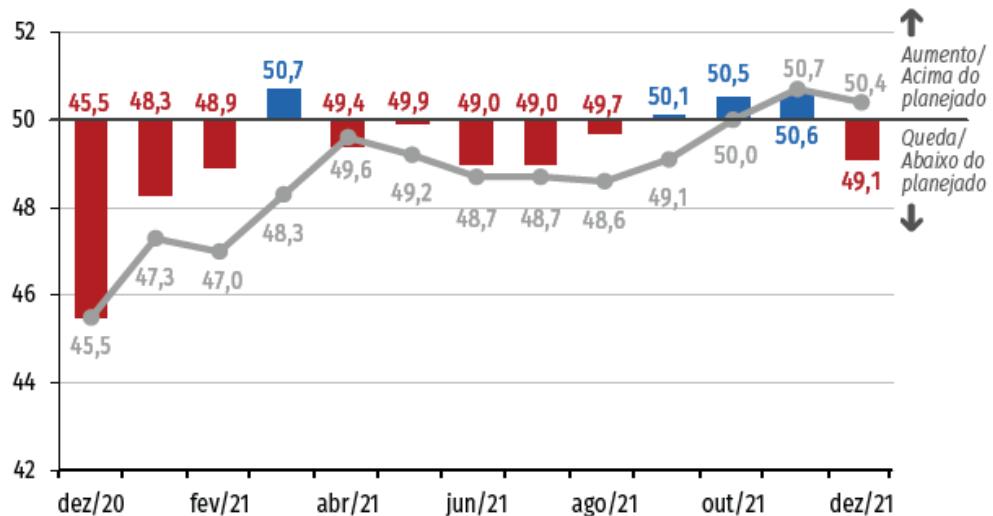


Gráfico 13: Evolução do nível de estoques e do estoque efetivo em relação ao planejado (0 a 100 pontos)
Fonte: CNI (dezembro/2021)

Segundo a ABRAMAT (2022), na nova edição do Termômetro da Indústria de Materiais de Construção, o mês de janeiro deste ano, registra uma queda do desempenho nas vendas ao mercado interno de materiais de construção e reforça a percepção do desaquecimento no mercado da construção e intenção de investir. O resultado negativo de janeiro comparado com os meses anteriores apontam que 35% das empresas consideraram desempenho bom, 40% resultado regular, 20% ruim e 5% muito ruim. As projeções para o mês de fevereiro indicam desempenho mais positivo. Estes dados podem ser observados no Gráfico 14.

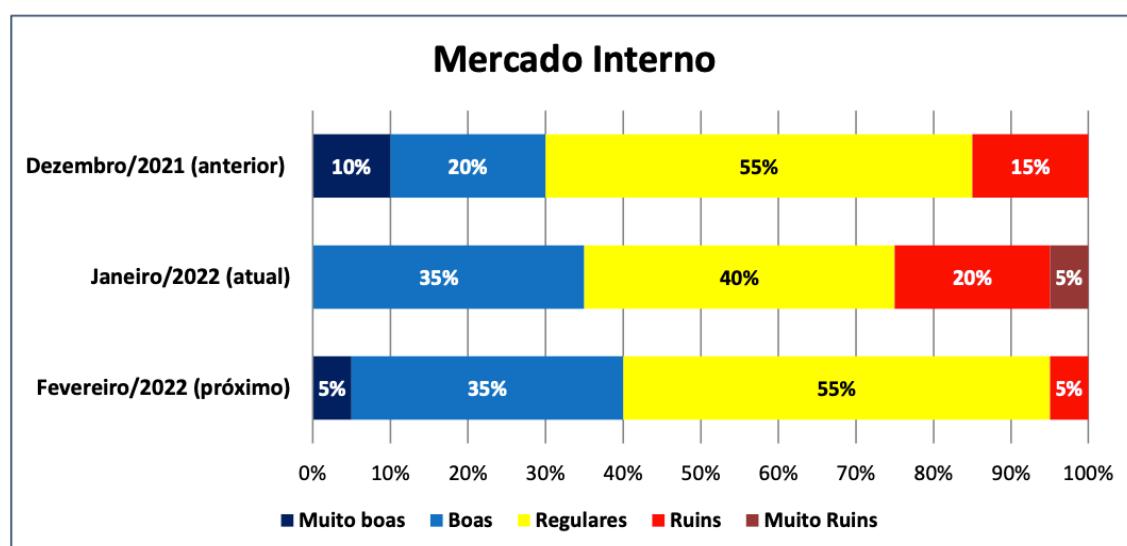


Gráfico 14: Desempenho de vendas no curto prazo
Fonte: ABRAMAT (janeiro/2022)

No final de 2021, em dezembro, o Índice de Confiança do Empresário Industrial (ICEI) avançou de 56 para 56,7 pontos, interrompendo uma sequência de três quedas, no qual entre setembro e novembro havia recuado 7,2 pontos (CNI, 2021).

No entanto, em janeiro de 2022, conforme o Gráfico 15, o ICEI recuou 0,7 ponto, chegando a 56 pontos. O recuo representa uma reversão do avanço de confiança que havia sido registrado ao fim do ano passado, de mesma magnitude. Acima da linha divisória dos 50 pontos, indica que a indústria segue confiante nesse início de 2022, porém mais fraca e menos disseminada que em dezembro. Desta forma, a indústria inicia o ano de 2022 com confiança menor que a de anos anteriores. Em janeiro de 2021, o ICEI registrava 60,9 pontos e em janeiro de 2020, havia alcançado 65,3 pontos. (CNI, 2022).

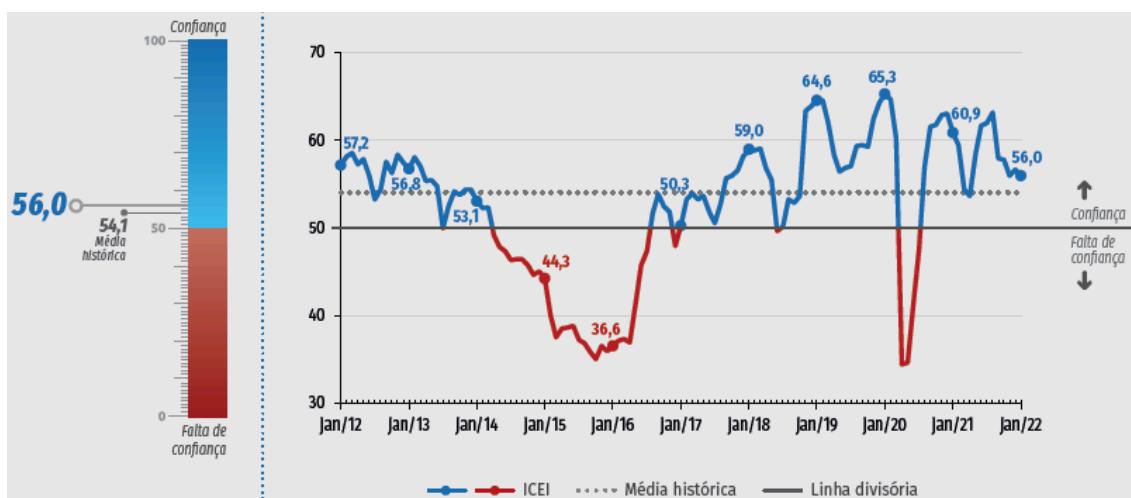


Gráfico 15: Índice de intenção de investimento (0 a 100 pontos)
Fonte: CNI (janeiro/2022)

De acordo com a CBIC (2021), algumas empresas indicam hesitação em investir em capacidades adicionais (o que poderia aliviar algumas das tensões da cadeia de suprimentos) porque não têm certeza de quanto tempo a demanda irá continuar. Por causa dessas incertezas da pandemia é provável que as interrupções da cadeia de suprimentos continuem a evoluir ao longo de 2022.

Segundo a CBIC (2021), apesar de quase dois anos de esforço, o setor da construção ainda assim, contabiliza um saldo muito positivo. As atividades do setor praticamente não paralisaram durante a pandemia e manteve assim a quase totalidade dos empregos, nos últimos meses podemos observar um número representativo de novas contratações e baixos níveis de contaminação. Porém, ao olhar internamente para as empresas, a situação

ainda é preocupante, visto que para manter os projetos em funcionamento as empresas tiveram que arcar com custos não previstos de várias naturezas, situação por demais agravada pelo desabastecimento de insumos e pelo aumento generalizado e expressivo em seus custos.

Para o presidente da ABRAMAT (2022), o sentimento da indústria nesse momento é de cautela, em função das muitas externalidades e incertezas, mas segue com um otimismo moderado.

2.2 Engenharia de Produção

Segundo Fleury (apud ABREPO, 2006), a Engenharia de Produção teve origem nos EUA, na virada do século XIX para o século XX, sob a ótica da racionalidade econômica aplicada aos sistemas de produção. Naquela época, o aumento do porte das empresas impôs desafios de natureza tecnológica e administrativa, exigindo uma capacitação maior para gestão da produção e dos negócios. Vários estudos começam a abordar a temática da busca da eficiência na produção. Nesse contexto, surgem dois grandes engenheiros, dando partida à transformação dos conhecimentos empíricos sobre a produção em conhecimentos formalmente estabelecidos: Frederick W. Taylor (1856-1915) e Henry Ford (1888-1947).

Taylor é conhecido como o precursor da Engenharia de Produção e a publicação da sua obra em 1911, “Princípios da Administração Científica” constitui um marco no surgimento da área de conhecimento denominada Industrial Engineering (ABEPRO, 2006). Segundo Gustavo (2021), Taylor começou como torneiro mecânico e desenvolveu sua carreira em uma empresa de siderurgia, considerada a indústria de ponta na época. “Em seus estudos, Taylor analisou em detalhe o trabalho dos operários nas fábricas, buscando identificar formas de aumentar a eficiência do trabalho humano e da própria organização da produção” (ABEPRO, 2006), evitando conforme Gustavo (2021), desperdícios de tempo, de recursos e esforços das pessoas. Seu método consistia em identificar uma atividade de produção, seu início, fim e atividades constituintes. Em seguida, dissecava as atividades em atividades elementares, medindo o tempo necessário para cada uma dessas atividades. Finalmente, remontava a atividade do início ao fim, de forma que o tempo total para a sua execução fosse minimizado. Essa simples ideia mudou

a lógica da organização industrial na época. Foram sendo estabelecidas então as bases para a construção de uma área de conhecimento chamada Engenharia Industrial (Industrial Engineering para os americanos) ou Engenharia de Produção (Production Engineering para os ingleses) (GUSTAVO, 2021).

Na mesma época, ainda segundo Gustavo (2021), após observar as linhas de “desmontagem” de bois abatidos, pendurados em ganchos que circulavam por diferentes estações de trabalho, Henry Ford inverte o processo, cria e introduz o conceito da linha de montagem na fabricação do veículo Ford - Modelo T, na fábrica Ford Motors em Detroit. “Essa introdução da linha de montagem revolucionou o modelo de produção existente, em virtude do grande aumento de produtividade que proporcionou” (ABEPRO, 2006).

Ford não foi o primeiro a produzir automóveis, mas foi o primeiro a fazê-lo em grande volumes e baixos preços, atendendo às expectativas dos consumidores. Ford também aplicou um outro conceito: a intercambialidade, isto é, uso de partes padronizadas e intercambiáveis (GUSTAVO, 2021).

Paralelamente aos estudos sobre organização industrial, desenvolvem-se também as técnicas de contabilidade e administração de custos. Dentre as técnicas criadas, destaca-se a análise econômica de investimentos, dando origem à Engenharia Econômica, e difusão do uso de indicadores de custos, giro de estoques, etc. Estas técnicas viabilizam a gestão eficaz de grandes corporações (ABEPRO, 2006).

Uma terceira influência no campo da Engenharia Industrial se dá já na segunda metade do século XX, com o nascimento da Pesquisa Operacional (Operations Research), área de conhecimento caracterizada pela aplicação do método científico na modelagem e otimização de problemas logísticos durante a Segunda Guerra Mundial (ABEPRO, 2006).

“Paralelamente e realimentando o desenvolvimento dos modelos e teoria da decisão, verifica-se o crescimento da informática que, gradualmente, é introduzida nas universidades e na administração de empresas” (ABEPRO, 2006).

Este conjunto de conhecimentos relativos à Organização da Produção, Economia e Administração de Empresas, Controle da Qualidade, Planejamento e Controle da Produção, Pesquisa Operacional e Processamento de Dados forma o núcleo básico da Engenharia Industrial clássica da década de 70 (ABEPRO, 2006).

Nos anos 80, os países industrializados observam o fenômeno da recuperação e desenvolvimento econômico no Japão, país arrasado ao término da Segunda Guerra

Mundial. Em particular, a indústria automobilística e de produtos eletro-eletrônicos superam em desempenho suas concorrentes norte-americanas, oferecendo produtos de melhor qualidade e menor custo dentro do próprio EUA. Esta revolução baseou-se na revisão de paradigmas ocidentais de gestão da produção. Dois conceitos fundamentais norteiam o modelo japonês de produção: i) Gestão da Qualidade Total (Total Quality Management - TQM) e ii) produção Just-in-time (JIT). O primeiro representa uma forte mudança cultural na forma de administrar a qualidade na produção e o segundo, um esforço no sentido de aumentar a flexibilidade dos sistemas de produção de forma a viabilizar a produção em pequenos lotes com baixos custos e alta produtividade. Evidentemente, estes conceitos foram incorporados ao campo da Engenharia de Produção (ABEPRO, 2006).

Ainda segundo Abepro (2006), nos EUA e Europa, a Engenharia Industrial expande o seu campo de atuação e passa a englobar desde o projeto do produto, dos processos de fabricação e das instalações, até os aspectos estratégicos como o planejamento de investimentos, análise de negócios, gestão da tecnologia, etc.

Nos anos 90, duas tendências se verificam. Uma consiste na integração dos diferentes elos de uma cadeia produtiva, buscando-se um planejamento cooperativo entre empresas, clientes e fornecedores, com vistas a oferecer produtos com alta qualidade, baixos custos e inovadores nos diferentes mercados mundiais. Esta filosofia, denominada "supply chain management", tornou-se operacional graças aos avanços na Tecnologia de Informação. Outra tendência, diz respeito à transposição dos conceitos originários da manufatura para empresas do setor de serviços (ABEPRO, 2006).

Francisco, diretor científico da Associação Brasileira de Engenharia de Produção, em Abepro (2006), afirma os seguintes marcos tecnológicos que determinaram o sistema sócio-técnico e, por conseguinte a Engenharia de Produção:

- A partir de meados do século XX: automação e informatização.
- Unidades lógicas nos equipamentos: máquinas passam a receber e executar instruções pré-programadas.
- Agrupamento de máquinas controladas por computadores e desenvolvimento de robôs industriais deu aos sistemas de produção condições para receber e transmitir informações on-line: sistemas de fabricação flexíveis.

- Mudança de economia industrial (fabricação) para economia de informação (conhecimento). Papel relevante dos setores de maior acumulação: alta tecnologia (micro e nano-eletrônica, microondas, fibras óticas, lasers, novos materiais, microbiologia, etc.).

“Pode-se caracterizar a Engenharia de Produção como sendo um estágio seguinte na evolução da Engenharia Industrial, cuja formação se volta para atuar principalmente no “chão de fábrica”, tendo uma formação gerencial apensada à formação tecnológica”, conforme afirma Vieira (2019) no site da UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina).

Abepro (2006) destaca os principais contribuintes para a Engenharia de Produção, conforme podemos observar na Figura 4.

Raízes Históricas...	
Contribuinte	Principal contribuição
Frederick Taylor	*Filosofia da administração científica, uso de treinamento, estudo do tempo e padrões
Henry Ford	*Produção em massa em linha de montagem
Harrington Emerson	*Melhoria da eficiência empresarial
F. W. Harris	*Primeiro modelo de lote econômico de compra (LEC)
Henry Gantt	*Uso de sistemas de programação
Walter Shewhart	*Controle estatístico de qualidade
Elton Mayo	*A atenção a fatores comportamentais
L. H. C. Tippett	*Amostragem do trabalho

Figura 4: Evolução na produção
Fonte: ABEPRO (2006)

Producir é mais que simplesmente utilizar conhecimento científico e tecnológico. É necessário integrar questões de naturezas diversas, atentando para critérios de qualidade, eficiência, custos, fatores humanos, fatores ambientais, etc. Segundo Gustavo (2021), não é apenas produzir no menor custo possível. O custo é uma variável que depende de produzir com o mínimo refugo, o mínimo de retrabalho, os menores impactos ambientais assumindo responsabilidades sociais, promovendo o desenvolvimento dos trabalhadores, física e mentalmente. Otimizar o custo a curto prazo é levar o crescimento sustentado da organização.

A Engenharia de Produção, ao voltar a sua ênfase para as dimensões do produto e do sistema produtivo, veicula-se com o projeto de produtos e sua viabilização, sistemas produtivos, planejamento da produção e distribuição (ABEPRO, 2006).

Segundo Gustavo (2021), os sistemas de produção não estão mais concentrados num local, mas dispersos pelo mundo: envolvem diferentes tipos de empresas em vários países, o que afeta a logística, a capacidade de coordenação, a flexibilidade e, ao mesmo tempo, a eficiência. Em parte, isto é consequência da evolução das tecnologias de informação.

Os problemas ambientais e os sistemas de regulação imprimem desafios à “produção limpa” ou ecologicamente correta.

A nanotecnologia, a biotecnologia e a responsabilidade social representam o futuro, e são os novos desafios.

Hoje se identifica uma base científica e tecnológica própria da Engenharia de Produção que a caracteriza como grande área. O conjunto de conhecimentos, que fazem parte da Engenharia de Produção, segundo ABEPRO (1998) são: engenharia do produto, projeto da fábrica, processos produtivos, engenharia de métodos e processos, planejamento e controle da produção, custos da produção, qualidade, organização e planejamento da manutenção, engenharia de confiabilidade, ergonomia, higiene e segurança do trabalho, logística e distribuição, e pesquisa operacional. Além disso, a Engenharia de Produção trabalha esses assuntos de forma integrada, considerando como cada um deles enquadra-se dentro do conjunto que compõe um sistema produtivo.

2.2.1 O Papel do Engenheiro de Produção Civil

ABEPRO já dizia em 1998 que o cenário das empresas se caracteriza pelo processo de internacionalização e globalização da economia, com graus crescentes de competitividade, no qual produtividade e qualidade sempre foram os elementos fundamentais da Engenharia de Produção. A sobrevivência e sucesso das empresas brasileiras passa pelo estudo e prática dos grandes temas ligados ao processo produtivo, objeto da Engenharia de Produção. Os avanços tecnológicos além de promoverem a superespecialização, estão exigindo profissionais com ampla habilitação nas técnicas e princípios da Engenharia de Produção. Esse contexto, tem alterado significativamente o

conteúdo e as habilidades esperadas da mão de obra em termos mundiais e essas mudanças tem se refletido fortemente na realidade e perspectivas profissionais do engenheiro de produção.

Compete ao engenheiro de produção conforme especificado pela ABEPRO (1998):

1. Ser capaz de dimensionar e integrar recursos físicos, humanos e financeiros a fim de produzir, com eficiência e ao menor custo, considerando a possibilidade de melhorias contínuas;
2. Ser capaz de utilizar ferramental matemático e estatístico para modelar sistemas de produção e auxiliar na tomada de decisões;
3. Ser capaz de projetar, implementar e aperfeiçoar sistemas, produtos e processos, levando em consideração os limites e as características das comunidades envolvidas;
4. Ser capaz de prever e analisar demandas, selecionar tecnologias e *know-how*, projetando produtos ou melhorando suas características e funcionalidade;
5. Ser capaz de incorporar conceitos e técnicas da qualidade em todo o sistema produtivo, tanto nos seus aspectos tecnológicos quanto organizacionais, aprimorando produtos e processos, e produzindo normas e procedimentos de controle e auditoria;
6. Ser capaz de prever a evolução dos cenários produtivos, percebendo a interação entre as organizações e os seus impactos sobre a competitividade;
7. Ser capaz de acompanhar os avanços tecnológicos, organizando-os e colocando-os a serviço da demanda das empresas e da sociedade;
8. Ser capaz de compreender a interrelação dos sistemas de produção com o meio ambiente, tanto no que se refere a utilização de recursos escassos quanto à disposição final de resíduos e rejeitos, atentando para a exigência de sustentabilidade;
9. Ser capaz de utilizar indicadores de desempenho, sistemas de custeio, bem como avaliar a viabilidade econômica e financeira de projetos;
10. Ser capaz de gerenciar e otimizar o fluxo de informação nas empresas utilizando tecnologias adequadas.

E suas habilidades são:

- Compromisso com a ética profissional;
- Iniciativa empreendedora;

- Disposição para auto-aprendizado e educação continuada;
- Comunicação oral e escrita;
- Leitura, interpretação e expressão por meios gráficos;
- Visão crítica de ordens de grandeza;
- Domínio de técnicas computacionais;
- Domínio de língua estrangeira;
- Conhecimento da legislação pertinente;
- Capacidade de trabalhar em equipes multidisciplinares;
- Capacidade de identificar, modelar e resolver problemas.
- Compreensão dos problemas administrativos, sócio-econômicos e do meio ambiente;
- Responsabilidade social e ambiental;
- “Pensar globalmente, agir localmente”.

O engenheiro de produção civil pode agregar em termos de eficiência e produtividade aos seus empreendimentos e pode trabalhar em diversos setores da empresa: no setor de operações (distribuição de produtos, controle de suprimentos, dentre outros); no planejamento estratégico, produtivo ou financeiro; no setor financeiro, controlando custos e fazendo análise de investimentos; na área logística, fazendo o planejamento e distribuição de produtos; e no setor de marketing.

É preciso demarcar a diferença que existe em relação ao engenheiro civil, pois apesar de muito próximas, existem diferenças significativas entre as duas atividades. Pode-se dizer que se complementam e uma é indispensável à outra nos canteiros de obras.

No Brasil, segundo a Faculdade de Engenharia Industrial (FEI), temos tanto a Engenharia de Produção “plena ou pura” como também as habilitações específicas ou ênfase de alguma outra modalidade da Engenharia. Embora o mais comum seja a combinação Produção - Mecânica, encontram-se alternativas como Produção - Química e Engenharia Civil de Produção, por exemplo.”

O engenheiro de produção civil possui as mesmas atribuições do engenheiro civil, conforme o artigo 7º da Resolução 218/73 do Confea. Entretanto, segundo o CREA-MG, o título profissional a ser concedido é o de engenheiro de produção civil.

Conforme o coordenador dos cursos de Engenharia de Produção (Civil, Elétrica e Mecânica) da UFSC, engenheiro Guilherme Ernani Vieira (apud ANVERSA, 2019), o engenheiro de produção civil é um profissional de perfil flexível e empreendedor, com

grande capacidade de atuação em diversos níveis de organização, como em construtoras, por exemplo, e está apto a desempenhar, além das funções técnicas da Engenharia Civil, também funções gerenciais e administrativas. Consideram os aspectos do negócio como um todo, ou seja, como montar, operar ou gerenciar uma empresa, nos seus aspectos humanos, sociais e econômicos.

Além disso, tem também uma visão orientada à melhoria contínua de processos, seja no projeto ou durante a sua execução. Isso decorre da compreensão de que todas as atividades pertencem a uma cadeia de etapas, até a obtenção do resultado final.

Essa visão mais ampla da atividade, afirma Anversa (2019), exige uma série de conhecimentos e habilidades adicionais, como:

- Saber lidar com a variabilidade, seus impactos e como controlá-la.
- Conhecimento da dimensão humana: conhecimentos de ergonomia e segurança do trabalho são balizadores para o projeto das condições de trabalho.
- Conhecimento dos impactos econômicos das decisões: análise de custos e avaliação de investimentos para balizar a tomada de decisão na escolha de novos métodos e práticas de trabalho.
- Sistemas de qualidade: conhecimento sobre a lógica que embasa a elaboração de sistemas de qualidade e como viabilizar o processo de certificação de uma empresa.

Além disso, todo engenheiro da área de produção deve ser um profissional versátil, em função do desenvolvimento constante de novas tecnologias e novos processos de produção. Outra característica importante neste profissional é a capacidade de adaptação rápida em diferentes funções, praticadas em ambientes altamente competitivos.

O engenheiro de produção civil é um profissional quase completo. Sendo assim, numa construtora, além dos projetos comuns da Engenharia Civil, ele pode exercer a função fundamental de conduzir os negócios. Isto porque é capaz de lidar com os diferentes elos da cadeia, desde os fornecedores até vendas e pós-vendas, estabelecendo os níveis e formas de relação com a clientela.

Pode assumir também todas as funções de planejamento e organização relacionadas aos aspectos internos do negócio: colaboradores, segurança, meio ambiente, logística interna, aspectos econômicos, financeiros e de investimentos, entre outros.

O engenheiro de produção civil desenvolve os projetos e ainda faz o planejamento para controlar a produtividade e a eficiência operacional da empresa. Ao mesmo tempo,

cria métodos de otimização do trabalho, propõe procedimentos de programação e controle de produção, entre outras iniciativas.

Desta forma, este profissional com uma carga tão ampla de conhecimentos pode acrescentar muito para o crescimento das construtoras.

2.2.2 Os Princípios da Engenharia de Produção

Compete à Engenharia de Produção o projeto, a implantação, a operação, a melhoria e a manutenção de sistemas produtivos integrados de bens e serviços, envolvendo homens, materiais, tecnologia, informação e energia. Compete ainda especificar, prever e avaliar os resultados obtidos destes sistemas para a sociedade e o meio ambiente, recorrendo a conhecimentos especializados da matemática, física, ciências humanas e sociais, conjuntamente com os princípios e métodos de análise e projeto da engenharia (International Institute of Industrial Engineering - IIIE - e Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO, 1998).

Segundo a Faculdade de Engenharia Industrial – FEI [s.d.], para exercer essas atividades, o engenheiro de produção, além de uma formação técnica qualificada, precisa ser capacitado a absorver e desenvolver novas tecnologias, estimulando sua atuação crítica e criativa na identificação e resolução de problemas, considerando seus aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais, com visão ética e humanística, em atendimento às demandas da sociedade. O profissional deve estar capacitado a resolver problemas relacionados a qualidade de produto e de processos, aos prazos de entrega, a custos envolvidos na produção, ao planejamento da capacidade produtiva, logística e suprimentos, definição dos níveis de estoques, etc.

A área da construção civil abrange todas as atividades de produção de obras, desde a criação do projeto, o planejamento, a execução e manutenção, a restauração em diferentes aspectos prediais, além de absorver também todo o continente relacionado à infraestrutura. Também fazem parte da construção, segundo a receita federal, a demolição, a reforma, a ampliação de edificação ou qualquer benfeitoria agregada ao solo ou subsolo (RIBEIRO, 2011 apud OLIVEIRA e GAVIOLI, 2021).

O que se propõe para esta pesquisa é uma adaptação dos princípios da Engenharia de Produção propostos pela ABEPRO, analisando estes princípios dentro do setor de produção, que traduz as etapas de produção das obras na construção civil.

• Projeto da Produção

Para Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009), projeto é um conjunto inter-relacionado de atividades com pontos de partida e de chegada definidos, que resulta em um produto único para uma alocação específica de recursos. Os principais objetivos de um projeto são: concluir no prazo ou antes dele; não estourar o orçamento; e obedecer às especificações para a satisfação do cliente.

Como exemplo, temos o projeto da produção que segundo Santos e Moccellin (2001), “é a etapa onde, através de políticas e estratégias produtivas de desenvolvimento do processo de trabalho e da organização e planejamento da produção, são definidas as atividades produtivas e sua sequência tecnológica de produção bem como sua base técnica”.

O projeto da produção tem a função de conectar o projeto do produto à produção, de modo que, anteriormente à obra, seja possível detectar falhas no projeto (do produto), principalmente no que diz respeito à racionalização do produto quanto a produção (MARTUCCI, 1990 apud SANTOS e MOCCELLIN, 2001).

Fabrício (1996 apud SANTOS e MOCCELLIN, 2001) destaca a importância do projeto da produção como uma etapa do ciclo de produção de edificações fundamental para que as empresas de construção civil consigam ampliar o domínio do processo de trabalho em canteiro, a partir do qual, através de uma política de desenvolvimento contínuo, se possa alcançar patamares de qualidade e produtividade mais elevados.

Segundo Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009), os projetos podem ser complexos e representar um desafio para a sua administração. As incertezas podem mudar o caráter dos projetos e exigir contramedidas em resposta. Ou seja, os projetos são temporários, porque o pessoal, os materiais e as instalações são organizados para terminá-los dentro de um período de tempo especificado; e depois são desmobilizados.

Os projetos são ferramentas úteis para melhoria dos processos e das cadeias de valor. Projetos bem-sucedidos começam com uma definição clara do escopo, dos objetivos e das tarefas, bem como o entendimento claro de sua organização e como o pessoal trabalhará em conjunto para concluir o projeto. Qualquer mudança no escopo de

um projeto inevitavelmente aumentam os custos e os atrasos. A engenharia precisa considerar as alternativas técnicas e assegurar que os projetos não criem especificações custosas ou que excedam as competências da empresa.

Fazem parte de um projeto da produção: a alocação do tempo (prazo para a execução do projeto), a alocação de recursos (materias, mão-de-obra, equipamentos). E segundo Martucci (1990 apud SANTOS e MOCCELLIN, 2001), na construção civil, também envolve: o planejamento da produção, identificando as tarefas específicas a serem realizadas e um cronograma para a sua realização; o projeto de canteiros de obras, o projeto de usinas e o gerenciamento da produção.

A alocação do tempo deve ser considerada como uma meta (prazo de finalização), no estágio inicial do plano de projeto.

Embora seja difícil especificar a alocação de recursos para um projeto nos estágios iniciais do planejamento, é importante para o gerenciamento dos projetos, e pode ser expressa como uma cifra em dólares ou o equivalente ao tempo total do pessoal. Uma declaração específica de recursos alocados torna possível ajustes no escopo do projeto à medida que ele progride.

Os compromissos entre custo e tempo e as incertezas do projeto são dois problemas importantes que os gerentes de projeto devem tratar, porém a disponibilidade de recursos é um fator essencial que conduz o custo e o desempenho para as datas de entrega prometidas.

- **Modelagem**

A modelagem é objeto de estudo de uma das grandes áreas da engenharia de produção: a pesquisa operacional.

O engenheiro deve ser capaz de criar modelos que subsidiem os processos de tomada de decisão sobre sistemas de produção, com o objetivo de gerar soluções ótimas, ou seja, promover melhorias.

Um modelo é a representação abstrata e simplificada do sistema, e é usado para resolver os problemas complexos que surgem nas empresas. Um sistema é um conjunto de componentes que interagem para atingir um determinado objetivo.

Um dos instrumentos de trabalho mais importantes do engenheiro de produção é a modelagem, ou seja, a construção de modelos que capturam as dimensões mais relevantes de um problema e geram insumos para as tomadas de decisões bem

fundamentadas. A capacidade de construir modelos formais, usando principalmente a matemática e a estatística, para o enfrentamento dos complexos problemas relacionados a sistemas de produção é o que caracteriza o engenheiro de produção.

- **Implantação**

A implantação de sistemas produtivos, segundo Slack, Jones e Johnston (2018), significa desenvolver competências que permitam à organização melhorar e aperfeiçoar suas metas e assegurar que as operações sejam atendidas. Para garantir que as operações sejam executadas corretamente e atendam aos objetivos da organização é necessário implantar estratégias de produção, ou seja, formular um conjunto de princípios gerais que orientarão a tomada de decisão.

As operações devem tentar, progressivamente, implementar, apoiar e impulsionar a estratégia.

- **Operação**

Operações são processos compostos por um conjunto de recursos de *inputs* (entradas) que são usados para transformar algo ou que se transformam em *outputs* (saídas) de serviços e produtos. A Figura 5 mostra o modelo geral do processo de transformação, que é a base de todas as operações (SLACK, JONES e JOHNSTON, 2018, p. 13).

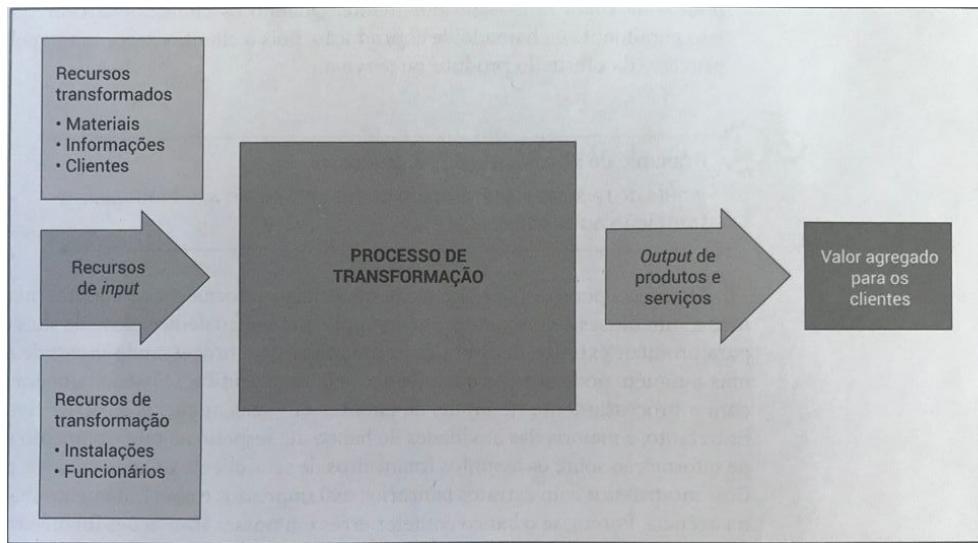


Figura 5: Processo de *input* - transformação – *output*

Fonte: SLACK, JONES e JOHNSTON (2018)

Todos os processos têm *inputs* de recursos transformados que podem ser materiais, informações ou clientes; e recursos de transformação que são as instalações (equipamentos, tecnologia, etc.) e pessoas. O *output* da maioria dos tipos de operações é um mix de produtos e serviços.

Cabe a administração de operações, segundo Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009), projetar, dirigir e controlar os processos que transformam insumos em serviços e produtos, tanto para os clientes internos quanto para os externos.

• Manutenção

Manutenção é como as organizações tentam evitar a falha ao cuidar de suas instalações físicas. É parte importante da maioria das atividades de produção, particularmente nas operações dominadas por suas instalações físicas, como centrais elétricas, refinarias petroquímicas, obras de construção, dentre outras (SLACK, JONES e JOHNSTON, 2018, p. 713).

A manutenção das instalações físicas do processo é fundamental para evitar ou reduzir a incidência de falhas técnicas de equipamentos e máquinas, que possam comprometer a produção. Segundo Slack, Jones e Johnston (2018, p.713), os benefícios da manutenção eficaz incluem maior segurança, maior confiabilidade, melhor qualidade (equipamento malconservado é mais provável de causar erros), custos operacionais menores (porque a tecnologia de processo regularmente mantida é mais eficiente), maior

vida útil da tecnologia de processo e “valor final” maior (porque instalações bem conservadas são, geralmente, mais fáceis de ser vendidas no mercado de segunda mão).

As atividades de manutenção de uma organização consistem em alguma combinação de três abordagens básicas para cuidar das instalações físicas:

- Manutenção corretiva - o trabalho de manutenção só é feito quando houver falha nas instalações. Desta forma, a empresa busca manter algumas peças sobressalentes e funcionários disponíveis para fazer quaisquer reparos quando necessários;
- Manutenção preventiva – tenta eliminar ou reduzir as chances de falha pela manutenção (limpeza, lubrificação, substituição e verificação) das instalações em intervalos previamente planejados. Exemplos: limpeza e lubrificação regular das máquinas, pintura periódica de um prédio, dentre outros;
- Manutenção baseada nas condições das instalações ou equipamentos – tenta desempenhar a manutenção apenas quando as instalações a exigirem. Parar a máquina para trocar um rolamento por exemplo, quando não é estritamente necessário, a deixaria fora de ação por longos períodos e reduziria sua utilização. Essa manutenção pode envolver monitoramento contínuo das vibrações ou de alguma outra característica da linha.

O equilíbrio entre a manutenção preventiva e a manutenção apenas se houver falha é geralmente estabelecido para minimizar o custo total de interrupção por falha. A manutenção preventiva infrequente custará pouco, mas resultará em alta probabilidade (e assim, custo) de manutenção por falha. Inversamente, a manutenção preventiva muito frequente custará caro, mas reduzirá o custo de ter que fornecer manutenção por falha (SLACK, JONES e JOHNSTON, 2018, p. 714).

- **Melhorias de Sistemas Produtivos Integrados de Bens e Serviços**

Todas as operações ainda que bem gerenciadas podem ser melhoradas. O melhoramento dos sistemas produtivos é uma das principais responsabilidades do gerente de produção. Segundo Slack, Jones e Johnston (2018), o melhoramento do desempenho é o objetivo final das operações e da gestão de processos. Melhorar o desempenho das operações tem impacto sobre o que qualquer organização deve fazer. Em algumas

situações, o melhoramento do desempenho requer uma mudança radical no modo como a operação funciona, como por exemplo, a introdução de uma máquina nova e mais eficiente. Em outras, requer um melhoramento contínuo ou incremental, ou seja, a partir de um processo, tecnologia, produto ou serviço que já existe, por exemplo, o uso de drones em canteiros de obra na construção civil para promover melhorias para controle, são capazes de monitorar e mapear grandes áreas em questão de minutos e com auxílio de programas específicos e dispositivos móveis, podem gerar relatórios detalhados do local. Isso permite que decisões sejam tomadas rapidamente, e modificadas com base nas informações que chegam em tempo real.

O melhoramento dos processos operacionais tem impacto diretamente na qualidade dos produtos ou serviços da empresa. E para Slack, Jones e Johnston (2018), quaisquer abordagens de melhoramento aspiram eliminar o desperdício, ou seja, qualquer atividade que não agrega valor, assim como atender às necessidades e expectativas dos clientes, desenvolver bons relacionamentos com fornecedores e contribuir para que as coisas sejam feitas corretamente envolvendo todas as pessoas da organização.

• **Prevenção de Resultados**

Pode-se prever um resultado segundo os riscos envolvidos, acidentes que podem ocorrer, prazos que precisarão ser estendidos devido a problemas internos ou externos, serviços que podem não ser possíveis de serem feitos conforme o planejado, dentre outros. Todas as decisões de produção devem refletir os interesses dos grupos de *stakeholders* (funcionários, fornecedores e clientes).

Para Slack, Jones e Johnston (2018), alguns riscos surgem de dentro da operação, às vezes por práticas incorretas (falhas humanas) na gestão da produção, como um controle de qualidade insuficiente, ou por falhas organizacionais e tecnológicas, e derivadas do projeto de produtos e serviços. Alguns riscos, vêm da rede de suprimento da operação, por exemplo, contar com fornecedores demasiadamente poderosos ou não confiáveis. Outros riscos vêm de forças ambientais generalizadas, como instabilidade política e desastres ambientais. Em face de tais riscos, uma operação deve ser resiliente, ou seja, identificar prováveis fontes de risco, impedir que ocorram falhas, minimizar seus efeitos e aprender a recuperar-se delas quando elas ocorrem. A resiliência é governada pela eficácia da prevenção, mitigação e recuperação da falha.

Esta pesquisa está direcionada aos sistemas de produção e terá foco na prevenção de riscos ligados a falhas e acidentes que podem ocorrer no local de trabalho e comprometer a produção.

Segundo Almeida *et al.*, 2008, os acidentes provovam perdas econômicas e sociais, afetam a produtividade coletiva e individual, causam ineficiência e retardam o avanço dos padrões de vida. A prevenção de acidentes permite desenvolver maneiras de eliminar a ocorrência desses eventos imprevistos e potencialmente danosos.

Embora os gerentes de produção geralmente tentem minimizar a probabilidade das falhas e de seus efeitos, o método de lidar com a falha dependerá da seriedade de suas consequências e da chance dela ocorrer. A gestão da qualidade se preocupa em identificar e reduzir os erros na criação e na entrega de produtos e serviços.

A prevenção é responsabilidade dos gerentes de produção e para fazer isso é necessário examinar sistematicamente os processos envolvidos e identificar pontos de falha (SLACK, JONES e JOHNSTON, 2018, p. 711).

• **Avaliação de Resultados**

O resultado depende do envolvimento de todas as pessoas da organização no alcance dos objetivos para gerar a satisfação dos clientes.

A avaliação dos resultados é realizada ao longo de todo o processo operacional até a finalização do serviço e entrega ao cliente. As medidas de controle e planejamento da produção são essenciais para o alcance dos resultados desejados. Estes resultados envolvem um conjunto de fatores relacionados a confiabilidade do fornecedor, competência dos funcionários e atendimento às necessidades do cliente.

Conforme Slack, Jones e Johnston (2018), o planejamento e controle da produção tentam conciliar as demandas do mercado com a habilidade dos recursos da operação para entregá-las. As atividades de controle fazem os ajustes que permitem que a operação atinja os objetivos estabelecidos no plano.

2.2.3 Desempenho da Produção

A gestão empresarial contribui muito para o sucesso de uma empresa hoje em dia e para se ter uma boa gestão depende do conhecimento que se tem sobre o desempenho da empresa e do impacto das decisões tomadas por seus gestores. A parte fundamental de um processo de gestão, segundo Caldeira (2017), é a disponibilidade da informação sobre as realizações da empresa em tempo útil para que o gestor possa tomar decisões mais rápidas e mais corretas. Informações como conhecer os resultados atingidos, confrontá-los com as metas previamente definidas, compará-los com os valores do setor, compreender a sua evolução ao longo do tempo e perceber a sua tendência, são fundamentais para a tomada de decisão.

Uma vez entendido o papel da função produção que consiste na produção de bens e serviços demandados pelos consumidores, é necessário formular um conjunto de princípios gerais que orientarão sua tomada de decisão. Essa é a estratégia de produção da empresa, que segundo Slack, Jones e Johnston (2018), diz respeito ao padrão de decisões e ações estratégicas que definem o papel, os objetivos e as atividades da produção.

Os objetivos definem o que a empresa busca alcançar e segundo Caldeira (2017) são o meio para comunicação das intenções estratégicas e operacionais da empresa, e devem ser capazes de esclarecer aos colaboradores sobre o que a empresa pretende conseguir num determinado aspecto e período de tempo.

Para que os objetivos possam ser alcançados são definidas metas, de forma que possam ser quantificados, eliminando a subjetividade.

Os efeitos positivos de uma operação bem conduzida incluem um foco no melhoramento, a criação de competências difíceis de imitar e uma compreensão dos processos que são os blocos de montagem de todas as operações. Os efeitos negativos de uma operação mal conduzida incluem falhas óbvias aos clientes e gastos para a organização. Uma falha na produção pode causar danos ao longo de toda cadeia produtiva, impactando em outros setores da empresa. Portanto para reduzir e evitar falhas na produção é importante trabalhar com indicadores de desempenho da produção. Nesse sentido, a administração da produção é fundamental para o sucesso de qualquer organização.

O desempenho da produção pode ser avaliado em diferentes níveis (Figura 6), desde o nível social, a longo prazo, até questões no nível operacional, sobre como melhorar a eficiência do dia a dia na empresa, ou como atender aos clientes (SLACK, JONES e JOHNSTON, 2018, p. 42).

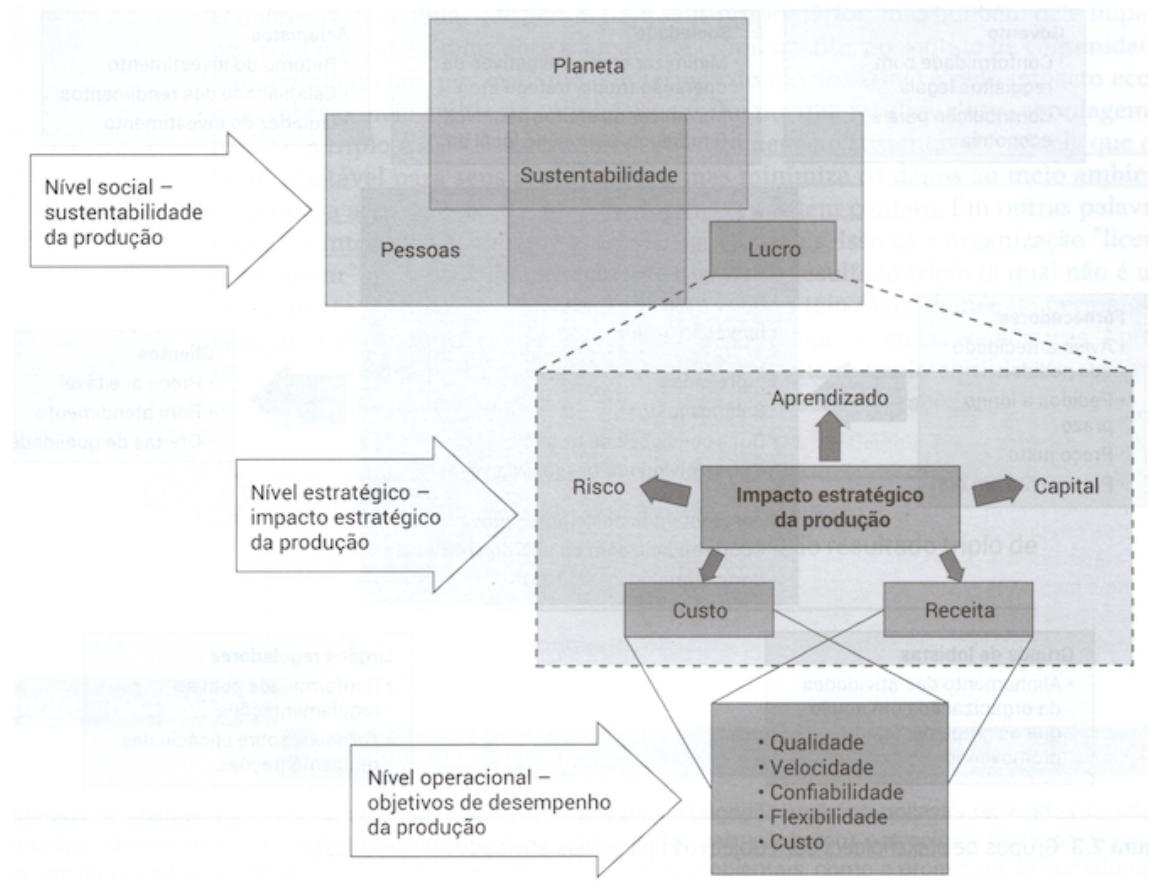


Figura 6: Níveis de Desempenho da Produção
Fonte: SLACK, JONES e JOHNSTON (2018)

No nível social, conforme Slack, Jones e Johnston (2018), o desempenho da produção é analisado em função da ideia do “resultado triplo” (*triple bottom line*) – pessoas, planeta e lucro. Todas as pessoas envolvidas na organização (funcionários, clientes, fornecedores, sociedade, acionistas) são conhecidas como *stakeholders*, e todas as decisões da produção devem refletir os interesses desses grupos. A resultante desse resultado triplo é a sustentabilidade da produção, através da responsabilidade social corporativa (RSC) que trata essencialmente de como a empresa leva em consideração seus impactos econômicos, sociais e ambientais no modo que opera, maximizando os benefícios e minimizando os aspectos negativos.

No nível estratégico espera-se que toda operação possa contribuir para a estratégia geral da organização, controlando custos, aumentando a receita, tornando o investimento mais eficaz, reduzindo riscos e aumentando as capacidades a longo prazo.

No nível operacional o desempenho da produção é analisado em função de cinco objetivos de desempenho da produção: qualidade, velocidade, confiabilidade, flexibilidade e custo. Slack, Jones e Johnston (2018) definem cada um deles:

- Qualidade

É o atendimento consistente às expectativas dos clientes, ou seja, fazer as coisas certo conforme o tipo de operação. A qualidade leva a redução de custos e aumenta a confiabilidade, pois quanto menores os erros cometidos em cada processo da operação, menor o tempo gasto para corrigi-los e consequentemente menor o custo. A percepção do cliente sobre produtos e serviços de alta qualidade significa sua satisfação.

- Velocidade

Significa o tempo decorrido desde a solicitação do cliente até o momento do recebimento do produto ou serviço. A resposta rápida ao cliente depende da rapidez na tomada de decisão e da movimentação rápida de materiais e informações dentro da operação. A velocidade reduz estoques, pois quanto mais tempo os itens levarem para se moverem através de um processo, mais tempo estarão esperando e mais elevados serão os níveis de estoque. A velocidade também reduz riscos, pois quanto mais longo o prazo de previsão das empresas, maior a probabilidade de errarem; e quanto mais rápido o tempo decorrido em um processo, mais a previsão poderá ser dispensada.

- Confiabilidade

Fazer o produto ou serviço conforme o tempo de entrega para os clientes. Os clientes internos julgarão o desempenho de cada um pela confiabilidade dos outros processos na entrega de material ou informação no tempo certo. A confiabilidade economiza tempo, pois uma única falha no suprimento devido a falta de material, leva a interrupção do serviço e parte significativa do tempo de operação é desperdiçada. A confiabilidade poupa dinheiro pois, o uso ineficaz do tempo resulta em custo extra.

- Flexibilidade

Habilidade em mudar a operação, seja no que ela faz, em como faz ou quando faz. A operação deve mudar de forma a proporcionar: flexibilidade de serviço/produto – habilidade de introduzir serviços e produtos novos ou modificados; flexibilidade de mix – habilidade de produzir mix de serviços e produtos; flexibilidade de volume – habilidade de produzir quantidades ou volumes diferentes de serviços e produtos no decorrer do tempo; flexibilidade de entrega – habilidade de mudar o tempo de entrega de seus serviços ou produtos. A flexibilidade internamente pode ajudar a agilizar o tempo de resposta, reduzir o tempo desperdiçado em transições e manter a confiabilidade, pois ajuda a manter a operação programada quando eventos inesperados interrompem os planos da operação.

- Custo

Custos baixos permitem às organizações reduzir o preço para obter maiores volumes ou, alternativamente, aumentar sua rentabilidade sobre os níveis de volume existentes. Todas as operações estão cada vez mais orientadas a reduzir o desperdício, seja de materiais, de tempo de trabalho ou de subutilização das instalações. O desempenho em custo é ajudado pelo bom desempenho em outros objetivos de desempenho.

Slack, Jones e Johnston (2018) afirmam que a curto prazo, as operações não podem atingir desempenho notável em todos os objetivos operacionais. Pode haver *trade-offs* entre os objetivos de desempenho, ou seja, a melhora na execução de um objetivo de desempenho pode ser atingida apenas pelo sacrifício do desempenho de outro. As empresas podem adotar duas abordagens: reposicionar os objetivos de desempenho pela compensação de melhorias em alguns objetivos para uma redução no desempenho de outros ou aumentar a eficácia da operação ao supercar os *trade-offs* de modo que as melhorias em um ou mais aspectos do desempenho possam ser atingidas sem qualquer redução no desempenho de outros.

Na indústria da construção a medição do desempenho é exclusiva e modificada a cada fase do projeto, ou seja, a cada novo projeto, as especificações se alteram. Comparando-se às demais indústrias, a medição de desempenho em obras de construção civil se concentram por projeto executado, devido às particularidades de produção,

pessoas e técnicas desse setor (PILATERIS; MCCABE, 2003 apud VOLSKI, 2017).

2.2.3.1 Indicadores de Desempenho da Produção

Segundo Slack, Jones e Johnston (2018, p. 66):

Depois de definido os três níveis de desempenho da produção, qualquer empresa precisará mensurar seus esforços. Essa é a mensuração do desempenho. É o processo de quantificar a ação [...] e assume-se que o desempenho da operação é derivado das ações tomadas por sua administração. [...] Sem mensuração do desempenho seria impossível exercer qualquer controle sobre uma operação de forma contínua, ou avaliar se alguma melhoria está sendo feita.

Francischini e Francischini (2017, p. 6) define que “Indicadores de desempenho são medidas que mostram a comparação do que foi realizado pela operação em relação a uma expectativa ou objetivo”.

Implementar um Sistema de Medição de Desempenho (SMD) em uma empresa é um Plano de Ação, e para que este funcione, segundo Francischini e Francischini (2017), é necessário implantar um sistema de informações que permita coletar os dados necessários, de forma que esse sistema gere benefícios que superem os custos. Para implementá-lo, talvez seja necessário contratar apontadores, adquirir coletores, instalar sensores, transmissores, receptores e equipamentos para armazenamento dos dados, além de treinar e supervisionar os operadores para que lidem corretamente com os dispositivos de coleta.

Os sistemas de produção geram as informações para indicadores de desempenho, essas informações devem ser confiáveis, pois conforme afirma Francischini e Francischini (2017, p. 14): “Informações erradas levam a decisões erradas. [...] se os dados coletados são ruins, o resultado que eles mostram está equivocado”.

O principal objetivo dos indicadores é mostrar claramente para os gestores e funcionários o que se espera deles na realização de funções dentro da empresa. E escolher se esses indicadores serão utilizados para atrair ou coagir é uma tarefa a ser definida pela alta administração, levando em conta suas vantagens e desvantagens. A resolução de problemas indicados por estes indicadores depende da atuação do gestor.

Segundo Caldeira (2017), num processo de monitorização de performance (desempenho), os indicadores são de fato o elemento mais crítico, cuja função é apurar os resultados e compará-los com as metas pré-estabelecidas e apurar o desvio e o respectivo nível de performance.

Slack, Jones e Johnston (2018) relatam que a mensuração do desempenho envolve três questões: quais fatores incluir como medidas de desempenho, quais são as medidas de desempenho mais importantes e quais medidas detalhadas usar.

Essas medições são agregadas em medições mistas que ajudam a desenhar um quadro do desempenho global da empresa. Todos os fatores em cada nível podem ser desmembrados em medições mais detalhadas, conforme Figura 7, que normalmente são monitoradas mais de perto e com mais frequência, e embora forneçam uma visão limitada do desempenho de uma operação, elas fornecem um quadro mais descritivo e completo do que deve ser e do que está ocorrendo dentro da operação. Na prática, a maioria das organizações optará por usar medições de desempenho de todos os três níveis.

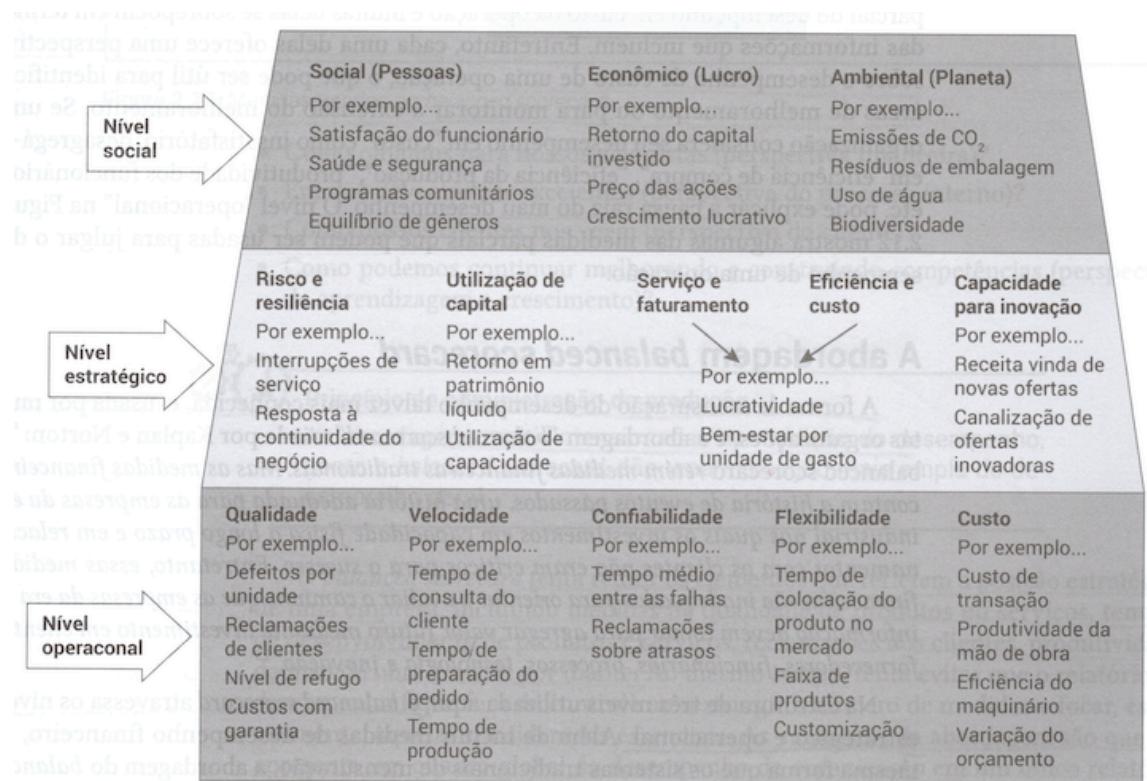


Figura 7: Medidas de desempenho nos três níveis da produção
 Fonte: SLACK, JONES e JOHNSTON (2018)

Para Slack, Jones e Johnston (2018, p. 68):

De modo geral, um equilíbrio é alcançado ao se assegurar que haja um vínculo claro entre a estratégia global da operação, os indicadores de desempenho mais importantes (ou KPIs – *Key Performance Indicators*) que refletem os objetivos estratégicos e o conjunto de medidas detalhadas que são usadas para “completar” cada indicador de desempenho-chave.

Conforme a Figura 8 de Francischini e Francischini (2017), primeiro são definidos os objetivos que a empresa pretende atingir, cada gestor do nível mais alto da hierarquia da empresa deve negociar como ajudará a alcançar aquele objetivo geral e estabelecerá seus objetivos específicos, priorizando quais efeitos mais importantes têm que produzir, e que devem ser interpretados em variáveis claramente definidas para então elaborar indicadores de desempenho que meçam o efeito desejado e que serão controlados por aquele gestor. Por exemplo, o objetivo melhorar a qualidade, pode ser interpretado como “reduzir o retrabalho” ou “reduzir o refugo” ou “reduzir o número de reclamações de clientes”. Ao escolher a interpretação mais importante, elabora-se o indicador capaz de mensurar a variável escolhida.

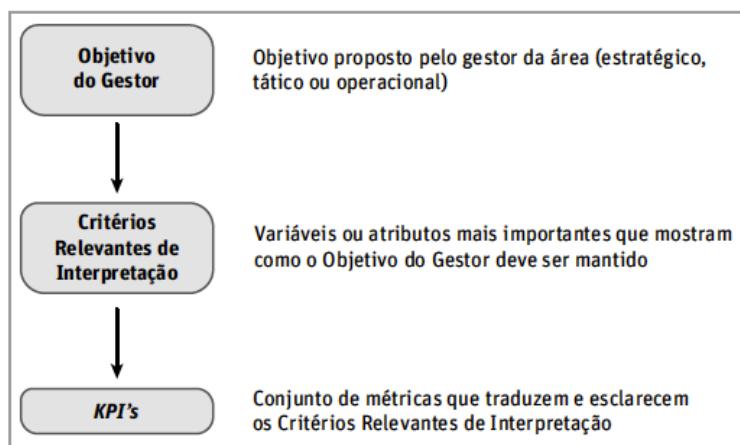


Figura 8: Etapas para definição de KPI's
Fonte: Francischini e Francischini (2017)

Segundo Slack, Jones e Johnston (2018), cada um dos cinco objetivos de desempenho são compostos de muitas medidas menores. Por exemplo, o custo de uma operação é derivado de fatores como a eficiência de compra da operação, a eficiência com que ela converte os materiais, a produtividade de seus funcionários, dentre outros. Cada uma dessas medidas oferece uma perspectiva sobre o desempenho de custo de uma operação que pode ser útil para identificar áreas de melhoramento ou para monitorar a extensão do melhoramento, e identificar a causa raiz do mau desempenho.

Um indicador precisa ser eficaz de forma a atingir o resultado final que se pretende e entregar o produto dentro do prazo, e precisa ser eficiente, ou seja, funcionar com os menores recursos possíveis.

A Figura 9 apresenta os benefícios mais comuns que um sistema de indicadores traz para a empresa, de acordo com Francischini e Francischini (2017).

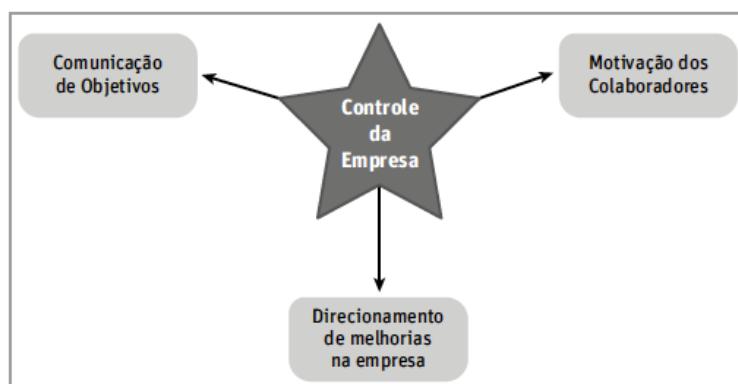


Figura 9: Benefícios de um Sistema de Indicadores

Fonte: Francischini e Francischini (2017)

Exercer a função controle da empresa envolve: coletar dados de uma variável previamente escolhida por meio de sensores; analisar os dados e detectar desvios em relação a um valor ideal ou planejado; e colocar uma ação corretiva que diminua o gap (ou seja, quando o valor atual de um indicador de desempenho não atingiu sua meta) ou desvio em relação ao valor ideal. Se a ação corretiva não for colocada, a função de detecção dos indicadores de desempenho é inibida e não produz nenhum resultado para a empresa.

Expor os objetivos traduzidos por indicadores de desempenho, ajuda na clareza e precisão da comunicação, pois valores numéricos são mais diretos e não necessitam de interpretação.

A motivação dos funcionários, ajuda a tirá-los da “zona de conforto” atual em direção a outro estado desejado pela empresa na implementação de seu planejamento estratégico. Exemplo: Remuneração por cumprimento de metas, ou meritocracia, motivam os funcionários a trabalhar mais e melhor. Uma das aplicações mais utilizadas em indicadores de desempenho consiste em orientar a remuneração variável dos colaboradores, como por exemplo a Participação em Lucros e Resultados. No entanto podem ocorrer desvios nos procedimentos de trabalho, como negligência com a qualidade do produto ou serviço no intuito de elevar a produção e consequentemente aumentar a remuneração variável.

O direcionamento de melhorias de processos ajuda a estabelecer metas mais altas na empresa.

Os gestores além de monitorar ação corretiva e preventiva, devem fazer uma revisão ou revalidação e ajustes necessários em 100 % dos processos periodicamente, analisando os indicadores elaborados. Segundo Francischini e Francischini (2017, p. 13) “Ao analisar os valores da série temporal de um determinado indicador, o gestor consegue ao menos verificar se há uma tendência de aumento ou redução do desempenho”.

Caldeira (2017) identifica 15 características que tornam um indicador num bom instrumento de gestão:

- ✓ Pertinência dos indicadores para a gestão – o indicador deve apresentar um resultado desejado ou útil para a empresa;
- ✓ Credibilidade do resultado – os dados devem ser coletados de fontes confiáveis ou que tenham um processo de registro protegido de eventuais erros, evitando bugs e o comprometimento dos indicadores;
- ✓ Esforço aceitável para o apuramento do resultado – o custo de obtenção da informação para a gestão não pode ser superior ao próprio valor da informação. Indicadores mais simples são mais do que suficientes para apoiar a tomada de decisão;
- ✓ Simplicidade de interpretação – compreensão dos dados, correta e rápida interpretação dos resultados é fundamental para a tomada de decisão;
- ✓ Simplicidade do algoritmo de cálculo – quanto mais simples for o algoritmo do indicador, mais rápido e seguro será o processo de apuramento do resultado;
- ✓ Fonte de dados dentro de casa – os dados que alimentam o algoritmo devem estar em suportes ou bases de dados de acesso fácil, dentro da organização, independente de terceiros;
- ✓ Cálculo automático – indicadores alimentados automaticamente, evitando a intervenção humana, credibiliza e torna mais ágil o processo de monitorização;
- ✓ Possibilidade de auditar as fontes de dados com eficácia – a possibilidade dos dados poderem ser auditados e identificados os erros, permitem a verificação da sua qualidade e faz com que os responsáveis sejam mais cautelosos no seu tratamento;

- ✓ Alinhado com a frequência de monitorização – os indicadores devem ser capazes de apresentar os seus resultados com frequência igual ou superior à necessária para a monitorização estabelecida na empresa;
- ✓ Possibilidade de calcular em momentos extraordinários – nem sempre é possível ter indicadores que possam dar resultados a qualquer momento. Existem muitas vezes limitações de técnicas ao seu cálculo. No entanto, deve-se procurar encontrar soluções que possam eliminar ou minimizar esse efeito. As soluções podem passar por apresentar outros indicadores com capacidade de expressar a informação de forma semelhante;
- ✓ Protegido de efeitos externos – é necessário identificar e compreender os efeitos externos que podem alterar/esconder a verdadeira dimensão do desempenho interno da empresa; eliminar ou reduzir o efeito desses fatores, através da implementação de condições ou da apresentação de outros indicadores com capacidade de explicar esses fatores;
- ✓ Não gera efeitos perversos – é importante que os indicadores estejam protegidos de forma a não gerar efeitos negativos, como por exemplo na eficácia, eficiência ou qualidade, na área em que se está a medir ou em outras áreas da organização, e implementar medidas para os minimizar/eliminar;
- ✓ Possibilidade de *Benchmarking* – a comparação de desempenhos entre atividades, projetos, unidades de negócio, organizações, dentre outros, é sempre útil, pois além de induzir a competição, promove substancialmente a melhoria contínua. Portanto, deve-se procurar uniformizar os indicadores utilizados dentro da empresa, utilizando por exemplo escalas de medição comparáveis entre si;
- ✓ Atualizado – os indicadores devem ser rapidamente substituídos por outros, quando se tornam obsoletos ou quando surgem novas prioridades, atividades ou projetos na empresa;
- ✓ Possibilidade de ter uma meta – a existência de uma meta é importante para que se possa perceber a distância que as realizações estão dos valores ideais. Os indicadores devem ter metas anuais e intercalares, em função da frequência de monitorização estabelecida pela empresa.

Existem milhares de indicadores que podem ser utilizados na gestão de todas as áreas da empresa. O importante é saber escolher quais são os mais importantes – *Key*

Performance Indicators (KPIs) – e aplicá-los, adaptando-os à realidade das nossas empresas e às necessidades de informação (CALDEIRA, 2017, p. 5). Quanto menor o número de indicadores, mais focada será a atividade do gestor. Sugere-se no máximo nove indicadores para gestores em cargo de diretoria; para gestores e cargos gerenciais recomenda-se um máximo de sete indicadores, e para cargos operacionais, como supervisores e líderes, não mais que cinco indicadores (FRANCISCHINI e FRANCISCHINI, 2017, p. 6 e 8).

Os indicadores devem ser simples e objetivos, de forma que os colaboradores do nível operacional não tenham dificuldade de aplicá-los às suas atividades rotineiras.

Não existe uma limitação ou uma regra de quais indicadores podem ser utilizados, mas é tarefa dos gestores descobrir quais os indicadores que podem contribuir para os objetivos da empresa. Por exemplo, na construção civil esses indicadores precisam atender ao prazo e custo, traçando o melhor cenário para executar a obra em menos tempo e consequentemente com o menor custo.

2.3 Lógica Fuzzy

O desejo de resolver problemas cada vez mais complexos tem produzido o desenvolvimento dos computadores. E a necessidade de máquinas cada vez mais eficientes e capazes tem, por sua vez, impulsionado o desenvolvimento da Inteligência Artificial (LUGER & STUBBLEFIELD, 1997 apud ORTEGA, 2001).

Segundo ORTEGA (2001), a Inteligência Artificial avança evoluindo as máquinas, tornando-as mais capazes e propondo soluções cada vez mais realistas a problemas antes somente possíveis ao cérebro humano.

A Tecnologia da Informação avança acompanhando esta evolução e auxiliando os demais setores da empresa nas tomadas de decisões. A lógica fuzzy contribui para este processo na medida em que pode ser aplicada à problemas operacionais, dado o tipo de incerteza e complexidade dos eventos.

2.3.1 História, Definição e Aplicação

A teoria *fuzzy* foi apresentada em 1965 por Lofti A. Zadeh, professor do departamento de engenharia elétrica e ciências da computação da Universidade da Califórnia, quando ele trabalhava com problemas de classificações de conjuntos que não possuíam fronteiras bem definidas (LAW, 1996 apud ORTEGA, 2001), e foi introduzida nos meios científicos através da publicação do artigo *Fuzzy Sets* no *Jurnal Information and Control*, sendo vista hoje como elemento fundamental em diversos sistemas e considerada uma técnica de excelência no universo computacional, com enorme aceitação também na área de controle de processos (RIGNEL et al., 2011).

O artigo de Zadeh teve uma influência profunda no pensamento sobre incerteza porque desafiou não só a teoria da probabilidade como a única representação para a incerteza, mas também os próprios fundamentos sobre os quais a probabilidade baseou-se na teoria da lógica binária clássica (KLIR e YUAN, 1995 apud ROSS, 2010).

A teoria de possibilidades desenvolvida por Zadeh a partir de 1978 está intimamente ligada com a teoria dos conjuntos nebulosos. Segundo Sandri (1999), é mais fácil dizer que algum evento é possível do que provável. O fato destas teorias estarem ligadas é muito importante no sentido de que é possível se tratar tanto a imprecisão quanto a incerteza de um conjunto de informações em um único ambiente formal.

“A teoria dos conjuntos nebulosos, quando utilizada em um contexto lógico, como o de sistemas baseados em conhecimento, é conhecida como lógica nebulosa, lógica difusa ou lógica *fuzzy* (SANDRI, 1999)”.

Segundo Tanaka (1996), o surgimento da lógica *fuzzy* foi motivado pela necessidade de um método capaz de resolver problemas complexos, mais próximo do raciocínio humano. Esta lógica combina lógica multivalorada, teoria probabilística, inteligência artificial e redes neurais para que possa representar o pensamento humano, ou seja, liga a linguística e a inteligência humana.

Segundo Law (1996 apud ORTEGA, 2001), problemas em física e matemática trabalham com condições de certeza, podemos assim dizer que dado um conjunto A e um elemento x do conjunto universo U, conseguimos dizer se $x \in A$ ou se $x \notin A$. Esta é a teoria clássica desenvolvida por Aristóteles, na qual os conjuntos são denominados “*crisp*” e a pertinência de um dado elemento do universo em discurso refere-se ao fato de pertencer ou não pertencer ao referido conjunto, admitindo apenas valores como

verdadeiro ou falso. Zadeh baseou-se no fato de que qualquer conjunto clássico pode ser caracterizado por uma função: sua função característica definida a seguir.

$$\gamma_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x \in A \\ 0, & \text{se } x \notin A \end{cases}$$

No entanto, conforme os conceitos de Zadeh (1965), existem inúmeras situações em que a relação de pertinência não é bem definida e, nestes casos, não sabemos dizer se o elemento pertence ou não a um dado conjunto. Como exemplo, poderemos discordar quanto ao fato de o número 4,5 pertencer ou não ao conjunto dos números aproximadamente iguais a 5. Neste caso a resposta não é única e objetiva, pertencer ou não poderá depender do tipo de problema que estamos analisando.

Segundo Tanaka (1996), entre a certeza de ser e a certeza de não ser, existem infinitos graus de incerteza. Para flexibilizar a pertinência de elementos aos conjuntos, Zadeh criou a ideia de grau de pertinência. Dessa forma, um elemento pode pertencer parcialmente a um dado conjunto. Esta teoria é conhecida como teoria dos conjuntos nebulosos ou lógica *fuzzy*.

De modo figurativo, enquanto a lógica clássica enxerga apenas o preto e o branco, a lógica *fuzzy* é capaz de, além do preto e o branco, enxergar tons de cinza, como ilustrado na Figura 10 (MELO, 2009).

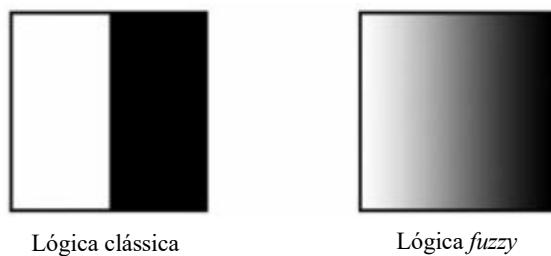


Figura 10: Comparação entre as lógicas clássica e fuzzy
Fonte: MELO (2009)

Conjuntos clássicos contêm objetos que satisfazem propriedades de associação e conjuntos difusos contêm objetos que satisfazem propriedades imprecisas de associação, ou seja, a associação de um objeto em um conjunto difuso pode ser aproximada (ROSS, 2010).

Sendo assim, como exemplo para definirmos um conjunto \mathbb{F} dos números “aproximadamente iguais” a 5, Zadeh (1965) propõe considerarmos uma função de pertinência que forneça o grau de pertinência dos diversos números ao conjunto considerado, onde $10 \in \mathbb{F}$ com grau 0,0 (correspondendo a não pertinência clássica), o 2 e o $8 \in \mathbb{F}$ com grau de pertinência 0,25, o 3 e o $7 \in \mathbb{F}$ com grau 0,5, os números 4 e $6 \in \mathbb{F}$ com grau 0,75 e o $5 \in \mathbb{F}$ com grau 1,0 (correspondendo a pertinência total). Esta extensão da função característica da lógica clássica para o intervalo $[0, 1]$ originou os conjuntos *fuzzy* e possibilitou, entre outras coisas, a utilização de variáveis linguísticas, permitindo a exploração do conhecimento humano no desenvolvimento de muitos sistemas (ORTEGA, 2001).

As informações sobre um determinado problema científico ou de engenharia podem ser incompletas, imprecisas, não confiáveis, vagas, contraditórias ou deficientes. Quando adquirimos mais informações sobre um problema, tornamo-nos cada vez menos incertos sobre sua formulação e solução (ROSS, 2010).

“A lógica *fuzzy* é uma ferramenta capaz de capturar informações vagas, em geral descritas em uma linguagem natural e convertê-las para um formato numérico, de fácil manipulação pelos computadores (TANAKA, 1996)”.

Os conjuntos nebulosos foram propostos para lidar com palavras e expressões que contenham incertezas. Segundo Ross (2010), a incerteza pode se manifestar de várias formas: pode ser difusa (pouco clara, imprecisa), vaga (não específico), ambígua (contraditória), na forma de ignorância (não saber algo) ou devido à variabilidade natural (conflitante, imprevisível).

A mente humana trabalha com conceitos subjetivos, que são incorporados em classes de objetos na teoria *fuzzy*, onde a pertinência ou não de um elemento a um conjunto dá-se de forma gradual (ZADEH, 1983). Quando se diz por exemplo que determinado indicador de desempenho, segundo os princípios da engenharia de produção é “*muito importante ou pouco importante*”, admite-se que os elementos destacados são termos *fuzzy*, por admitirem vagueza nas informações.

Segundo Tanaka (1996), a lógica nebulosa também pode ser definida como a lógica que suporta os modos de raciocínio que são aproximados, ao invés de exatos. Ela está baseada na teoria dos conjuntos nebulosos (*Fuzzy Set*) e difere dos sistemas lógicos tradicionais em suas características e detalhes. Nesta lógica, o raciocínio exato corresponde a um caso limite do raciocínio aproximado, sendo interpretado como um processo de composição nebulosa.

“A característica fundamental da lógica *fuzzy* é a possibilidade de quantificar as ambiguidades do pensamento humano, que não podem ser expressas por meio da lógica clássica (CRUZ, 2011 apud BANDEIRA, 2018)”. Segundo Ross (2010), sistemas difusos podem lidar com todos os tipos de informação, não apenas quantidades numéricas.

“Sistemas *fuzzy* são muito úteis em dois contextos gerais: em situações envolvendo sistemas altamente complexos cujos comportamentos não são bem compreendidos e em situações em que uma solução aproximada, mais rápida é necessária (ROSS, 2010)”.

O objetivo final da lógica *fuzzy* é formar a base teórica para raciocinar sobre proposições imprecisas; tal raciocínio tem sido referido como *raciocínio aproximado* (ZADEH, 1979).

Segundo Melo (2009) com o passar dos anos, a lógica *fuzzy* encontrou aplicações em uma infinidade de áreas, por meio das quais tem mostrado capacidade de adaptação e facilidade de interface com o ser humano. Tanaka (1996) destaca grandes aplicações nas seguintes áreas: sistemas especialistas, computação com palavras, raciocínio aproximado, linguagem natural, controle de processos, robótica, modelagem de sistemas parcialmente abertos, reconhecimento de padrões, processos de tomada de decisão. Yen, Langari e Zadeh (1994), destacam também aplicações em controle automático de máquinas e equipamentos, otimização de processos produtivos, dentre outros.

O uso crescente de aplicações baseadas na lógica *fuzzy* tem levado a um aumento do interesse nesta área, tanto em instituições acadêmicas quanto em empresas privadas.

2.3.2 Conjuntos *Fuzzy*

“Conjuntos *fuzzy* podem ser assumidos como uma ampliação dos conjuntos *crisp*. Enquanto os conjuntos *crisp* podem ser definidos por funções características, os conjuntos *fuzzy* podem ser caracterizados por funções de pertinência” (TANAKA, 1996), cujos valores variam entre 0 e 1, ou seja, existem graus de pertinência entre os elementos, em relação ao seu conjunto e ainda a construção de várias regras, que facilitam a modelagem dos problemas, tornando-os assim menos complexos (RIGNEL *et al.*, 2011).

Um conjunto *fuzzy* A, de um universo de discurso $X=\{x\}$, é definido pela seguinte função de pertinência μ_A :

$$\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1]$$

Segundo Tanaka (1996), o valor de $\mu_A(x)$ para o conjunto *fuzzy* é chamado de grau de pertinência de $x \in X$. Esse valor representa o grau com que x faz parte do conjunto *fuzzy* A.

Um valor de μ_A próximo de 1, indica um alto grau de pertinência de um elemento x em um conjunto *fuzzy* A. Se $\mu_A(x) = 1$, o elemento x pertence completamente ao conjunto *fuzzy* A. Se $\mu_A(x) = 0$, o elemento x não pertence ao conjunto *fuzzy* A. Se $0 < \mu_A(x) < 1$, o elemento x pertence parcialmente ao conjunto *fuzzy* A.

Um conjunto *fuzzy* pode ser representado como um conjunto de pares ordenados de um elemento genérico $\{x\}$, tal que $\mu_A : X \rightarrow M$ é uma função de X para o espaço M chamado de espaço de pertinência:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\}$$

Os conjuntos *fuzzy* podem ser divididos em expressões discretas, quando o universo é finito, conforme representado abaixo:

$$A = \mu_A(x_1)/(x_1) + \mu_A(x_2)/(x_2) + \dots + \mu_A(x_n)/(x_n) = \sum_{i=1}^N \mu_A(x_i)/(x_i)$$

E em expressões contínuas, quando o universo é infinito, conforme representado abaixo:

$$A = \int_X \mu_A(x_i)/x_i$$

Os conjuntos *fuzzy* fazem uso de símbolos da matemática, mas possuem significados diferentes. O símbolo / é chamado de separador. À direita do separador aparece o elemento do universo e no lado esquerdo o seu valor de pertinência no conjunto infinito. Cada elemento é conectado através do símbolo “+”. O símbolo \sum é usado para juntar termos em expressões discretas e o símbolo \int é usado como uma generalização de \sum para o mundo contínuo, e não tem nenhuma conexão com integral. No lado inferior

direito do símbolo \int coloca-se o nome do universo no qual o conjunto *fuzzy* está representado.

Segundo Ross (2010), o núcleo é definido pelo conjunto de todos os elementos x do universo X com grau de pertinência unitário ao conjunto A, de modo que:

$$Nu(A) = \{x \in X | \mu_A(x) = 1\}$$

O suporte é o conjunto de elementos de x do universo X que pertencem ao conjunto A e possuem graus de pertinência diferentes de zero, de modo que:

$$Supp(A) = \{x \in X | \mu_A(x) > 0\}$$

Os limites de uma função de pertinência para um conjunto difuso A corresponde aos elementos de x do universo que possuem graus de pertinência diferentes de zero, mas não unitário, de modo que $0 < \mu_A(x) < 1$. Esses elementos do universo são aqueles com algum grau de imprecisão ou apenas participação parcial no conjunto difuso A.

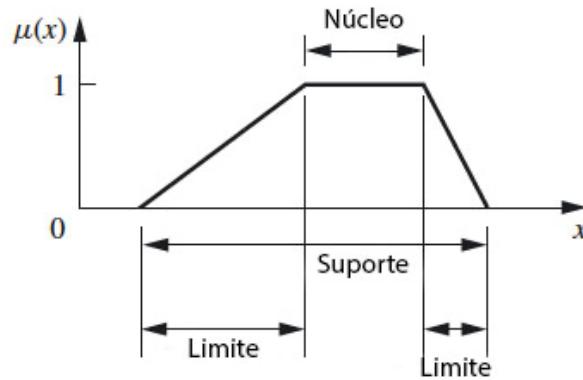


Figura 11: Núcleo, suporte e limite do conjunto *fuzzy*
Fonte: Adaptado de ROSS (2010)

O supremo corresponde ao maior valor da função de pertinência, ou seja, ao maior grau (altura) que um elemento de X pertence ao conjunto A, de modo que: $\sup_{x \in X} \mu_A(x) = h(A)$.

Um conjunto *fuzzy* é normal se o valor máximo do grau de pertinência for igual a 1, cuja função é definida por: $\max_{x \in X} \mu_A(x) = 1$. Um conjunto *fuzzy* se não for normal, é

dito como subnormal se $\max_{x \in X} \mu_A(x) < 1$. Um conjunto subnormal não-vazio pode ser normalizado ao dividir cada $\mu_A(x)$ por $\sup_{x \in X} \mu_A(x)$. Um conjunto *fuzzy* é vazio quando $\mu_A(x) \equiv 0$.

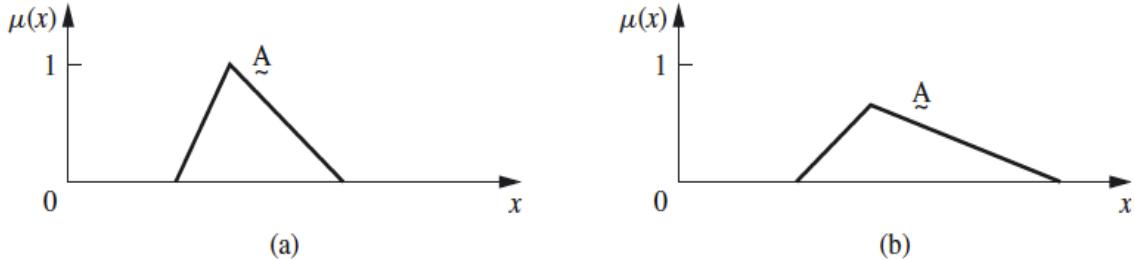


Figura 12: Representação gráfica conjunto *fuzzy* normal (a) e subnormal (b)
Fonte: ROSS (2010)

Segundo Grecco (2012), é importante trabalhar com conjuntos *fuzzy* normalizados, ou seja, que apresentem altura unitária, para podermos tratar grandezas homogêneas nos procedimentos de inferência nebulosa. Os conjuntos *fuzzy* utilizados nesta dissertação para construção dos indicadores de desempenho da produção foram normalizados.

Um conjunto *fuzzy* é convexo quando para quaisquer elementos x, y e z em um conjunto *fuzzy* A , a relação $x < y < z$ implica em:

$$\mu_A(y) \geq \min[\mu_A(x), \mu_A(z)]$$

A Figura 13 mostra um exemplo de conjunto *fuzzy* convexo e um conjunto *fuzzy* não convexo.

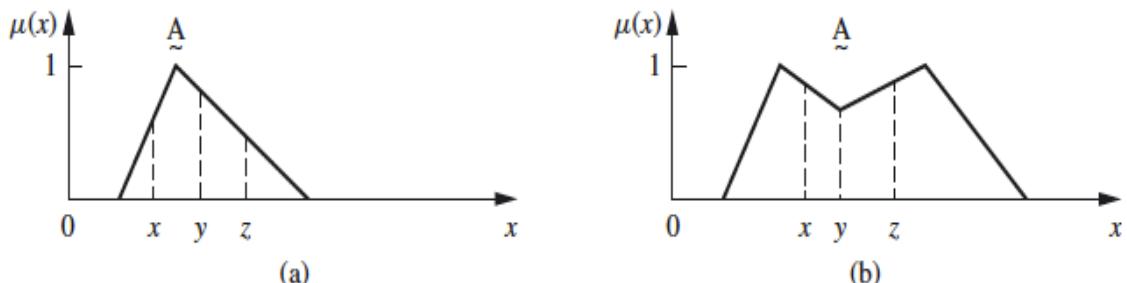


Figura 13: Conjunto *fuzzy* convexo (a) e não convexo (b)
Fonte: ROSS (2010)

O conjunto de corte- α (α -cut), representado na Figura 14 é o conjunto clássico A_α , contendo todos os elementos de X, que possuem graus de pertinência em A, maiores ou iguais do que o valor de α . Representado pela função:

$$A_\alpha = \{x \in X \mid \mu_A(x) \geq \alpha\}$$

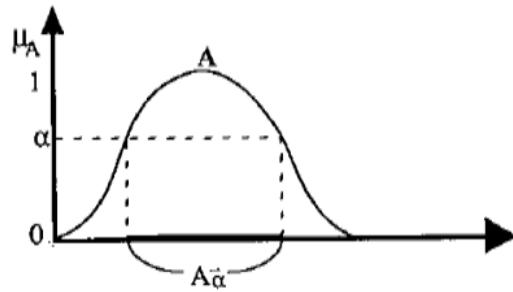


Figura 14: Representação gráfica α -cut
Fonte: TANAKA (1996)

O conjunto de corte α robusto (*strong* α -cut), cuja função está representada abaixo, inclui apenas os elementos com graus de pertinência maiores que α .

$$A_{\alpha+} = \{x \in X \mid \mu_A(x) > \alpha\}$$

A cardinalidade de um conjunto *crisp* corresponde ao número total de elementos pertencente ao conjunto. A cardinalidade de um conjunto *fuzzy* é uma expansão da cardinalidade de um conjunto *crisp*, e corresponde ao somatório dos graus de pertinência de todos os elementos de X em A.

$$|A| = \sum_{x \in X} \mu_A(x)$$

A cardinalidade relativa de um conjunto *fuzzy* é definida por:

$$\|A\| = \frac{|A|}{|X|}$$

onde $|A|$ é a cardinalidade de A e $|X|$ é a cardinalidade do universo X.

2.3.2.1 Operações em Conjuntos Fuzzy

Conforme dito anteriormente, os conjuntos *fuzzy*, segundo Zadeh (1965), são uma extensão dos conjuntos *crisp*, assim como as suas propriedades que na lógica clássica são possibilitadas pelos conectivos E, OU e NÃO. Segundo Ross (2010), na lógica *fuzzy*, funções que se qualificam como intersecções difusas e uniões difusas são geralmente referidas como *t-normas* e *t-conormas* ou *s-normas* respectivamente, e são assim chamadas porque foram originalmente introduzidas como *normas* triangulares e *conormas* triangulares, por Menger (1942) em seu estudo de espaços métricos estatísticos.

A união dos conjuntos *fuzzy* A e B é um conjunto *fuzzy* definido pela função de pertinência:

$$A \text{ ou } B: \mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x)$$

onde:

$$\mu_A(x) \vee \mu_B(x) = \max \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}$$

Para calcular a união $A \cup B$ comparamos cada elemento correspondente dos vetores A e B e substituímos pelo maior valor dos dois.

A interseção dos conjuntos *fuzzy* A e B é um conjunto *fuzzy* definido pela função de pertinência:

$$A \text{ e } B: \mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x)$$

onde:

$$\mu_A(x) \wedge \mu_B(x) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}$$

Para calcular a interseção $A \cap B$ substituímos pelo menor valor dos elementos correspondentes.

O complemento do conjunto *fuzzy* é definido pela função de pertinência:

$$\text{Não } A: \mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

Para calcular o complemento \bar{A} basta subtrair cada elemento de 1.

As Figuras 15, 16 e 17 mostram uma comparação da união, interseção e complemento de conjuntos *fuzzy* em relação aos conjuntos *crisp*.

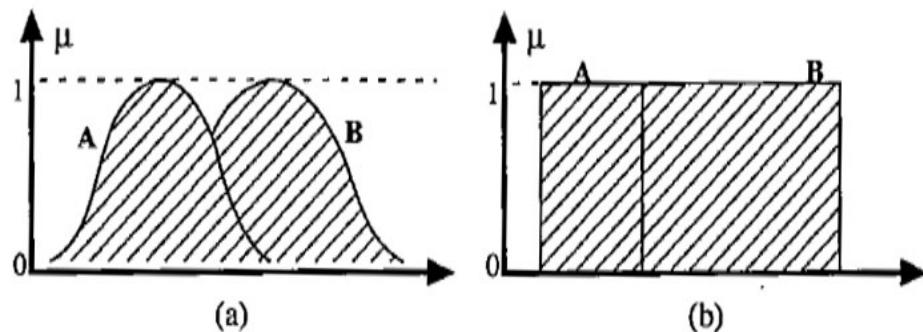


Figura 15: União (a) conjuntos *fuzzy* (b) conjuntos *crisp*
Fonte: TANAKA (1996)

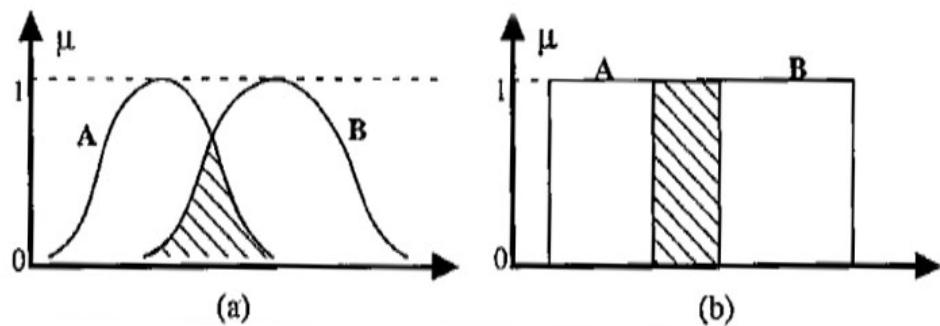


Figura 16: Interseção (a) conjuntos *fuzzy* (b) conjuntos *crisp*
Fonte: TANAKA (1996)

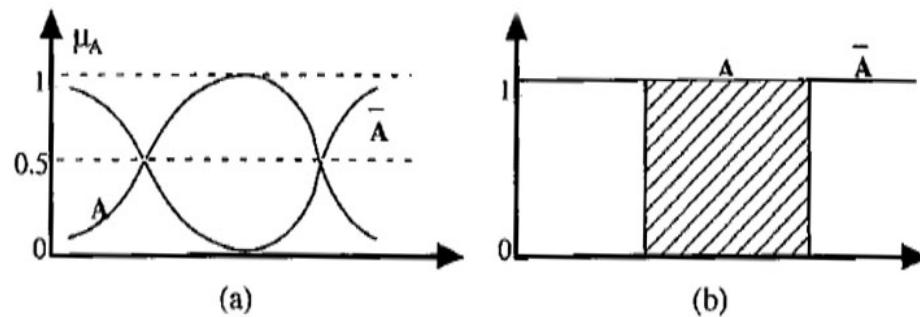


Figura 17: Complemento (a) conjuntos *fuzzy* (b) conjuntos *crisp*
Fonte: TANAKA (1996)

Segundo Grecco (2012), as operações de interseção e união são as mais utilizadas no processo de agregação em tomadas de decisão multicriterial. A ideia principal do processo de agregação é obter um grau de consenso entre informações disponíveis, calculando-se um valor final. Se estes dados forem extraídos de especialistas, obtém-se uma taxa de aceitação ou rejeição entre eles, ou seja, o grau de concordância entre as opiniões, tornando possível a elaboração de classificações das avaliações realizadas.

2.3.3 Números Fuzzy

Nos processos de avaliações de resultados, as respostas dos especialistas são geralmente imprecisas, implícitas e contêm muitas ambigüidades. Termos que admitem vaguença, como *muito, pouco, frequentemente, parcialmente, aproximadamente*, dentre outros, são definidos por Zadeh (1983) como quantificadores e podem ser manipulados através do uso da lógica *fuzzy*. Um quantificador *fuzzy* é um número *fuzzy*, ou seja, um conjunto *fuzzy* cuja função de pertinência assume valores no intervalo de unidade (ZADEH, 1983).

Um número *fuzzy* é expresso como um conjunto *fuzzy* que define um intervalo *fuzzy* no número real. Como o limite deste intervalo é ambíguo, o intervalo também é um conjunto difuso (PEDRYCZ, 1994 apud SANTOS, GRECCO, CARVALHO, 2020, p.741).

Um subconjunto *fuzzy* A é chamado de *número fuzzy* quando o conjunto universo no qual μ_A está definida, é o conjunto dos números \mathbb{R} e satisfaça às seguintes condições:

- A é um conjunto *fuzzy* convexo;
- Existe somente um x que satisfaz $\mu_A(x) = 1$;
- μ_A é contínua em um intervalo.

As funções de pertinência podem ter diferentes formas, dependendo do conceito que se deseja representar e do contexto em que serão utilizadas. Segundo Cruz (2011 apud BANDEIRA, 2018), as funções triangulares e trapezoidais são as mais empregadas devido à simplicidade de utilização.

Um número *fuzzy* é dito trapezoidal se sua função de pertinência é da forma:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{se } a \leq x \leq b \\ 1, & \text{se } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & \text{se } c \leq x \leq d \\ 0, & \text{se } x \geq d \end{cases}$$

Um conjunto difuso trapezoidal A pode ser representado pela notação (a,b,c,d) , tal que o suporte é dado por $Supp(A) = [a, d]$ e o núcleo é $Nu(A) = [b, c]$, conforme Figura 18. As funções são estritamente monotônicas crescente entre a e b e decrescente entre d e c .

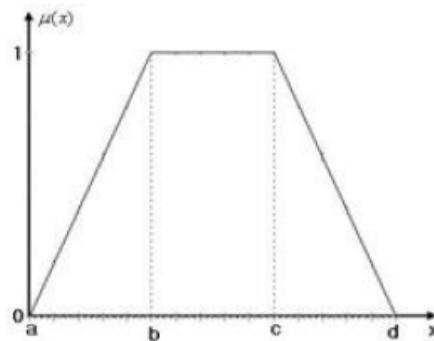


Figura 18: Função de pertinência trapezoidal
Fonte: GRECCO (2012)

Um número *fuzzy* é dito triangular se sua função de pertinência é da forma:

$$\mu_A(x) = f(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{se } a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{se } b \leq x \leq c \\ 0, & \text{se } x \geq c \end{cases}$$

Segundo Amendola (2005), as funções de pertinência triangulares (Figura 19) são caracterizadas por uma terna (a, b, c) , onde a e c determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência assume valores diferentes de zero, e b é o ponto onde a função de

pertinência é máxima. No eixo vertical encontram-se os valores de pertinência e no eixo horizontal os valores da variável que se quer estudar.

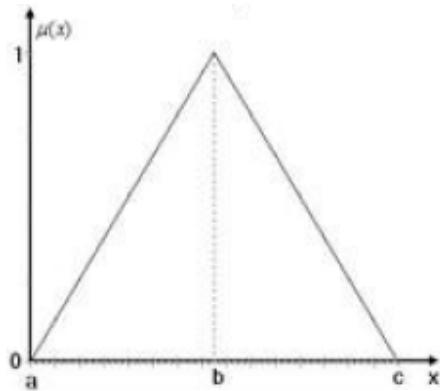


Figura 19: Função de pertinência triangular
Fonte: GRECCO (2012)

Com base no princípio da extensão proposto por Zadeh (1965), as operações algébricas de números *fuzzy* triangulares podem ser realizadas conforme mostrado a seguir:

1. Simetria

$$-(a, b, c) = (-c, -b, -a)$$

2. Adição \oplus

$$(a_1, b_1, c_1) \oplus (a_2, b_2, c_2) = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2)$$

3. Subtração (= Adição do simétrico)

$$(a_1, b_1, c_1) \oplus -(a_2, b_2, c_2) = (a_1 - c_2, b_1 - b_2, c_1 - a_2)$$

4. Multiplicação \otimes

$$k \otimes (a, b, c) = (ka, kb, kc)$$

$$(a_1, b_1, c_1) \otimes (a_2, b_2, c_2) \cong (a_1 a_2, b_1 b_2, c_1 c_2), \text{ com } a_1 \geq 0 \text{ e } a_2 \geq 0$$

5. Divisão \emptyset

$$(a_1, b_1, c_1) \emptyset (a_2, b_2, c_2) \cong (a_1/c_2, b_1/b_2, c_1/a_2), \text{ com } a_1 \geq 0 \text{ e } a_2 > 0$$

Grecco (2012) afirma que os números *fuzzy* triangulares, assim como suas operações algébricas são fáceis de manipular e interpretar.

2.3.4 Sistemas *Fuzzy*

Segundo Ross (2010), assim como uma função algébrica mapeia uma variável de entrada para uma variável de saída, um sistema difuso (Figura 20) mapeia um grupo de entrada para um grupo de saída; no último, esses grupos podem ser proposições linguísticas ou outras formas de informação difusa.



Figura 20: Estrutura de um sistema de inferência *fuzzy*
Fonte: CURRY (1999 apud BANDEIRA, 2018)

Sistemas *fuzzy* são sistemas que usam lógica difusa para raciocinar sobre os dados; capturam uma habilidade próxima do conhecimento do especialista, no qual a base do conhecimento consiste em regras e variáveis linguísticas e os processos do raciocínio *fuzzy* que estão descritos a seguir.

- ***Fuzzificação***

O primeiro passo na computação de um sistema *fuzzy* é o processo de *fuzzificação*, que consiste no processo de transformação do *input* em graus de pertinência (GOUDARD, 2001 apud BANDEIRA, 2018), onde a cada proposição é aplicada uma função para produzir um número de 0 a 1.

A *fuzzificação* é a conversão de uma quantidade precisa em uma quantidade difusa (ROSS, 2010), ou seja, as variáveis de entrada *crisp* selecionadas são definidas de acordo

com os termos linguísticos e são convertidas em variáveis linguísticas (CURY, 1999 apud BANDEIRA, 2018).

Silva e Maia (2004 apud BANDEIRA, 2018), destacam a flexibilidade no tratamento de variáveis qualitativas e/ou quantitativas como um dos principais benefícios da aplicação da lógica *fuzzy*.

Uma variável linguística difusa é, de forma informal, uma variável cujo valor é qualitativamente expresso por termos linguísticos (que fornece um conceito para a variável) e quantitativamente expressa por funções de pertinência, ou seja, por conjuntos difusos. Nesse sentido, é composta por uma parte simbólica e uma parte numérica. (MASSAD et al., 2008).

A lógica *fuzzy* utiliza *predicados fuzzy* (velho, raro, perigoso, etc), *quantificadores fuzzy* (muito, pouco, quase tudo, usualmente, etc) e *valores-verdade fuzzy* (totalmente verdadeiro, mais ou menos verdadeiro, muito falso, etc) (ZIMMERMAN, 1991).

A principal função de uma variável linguística é fornecer uma maneira sistemática de aproximação de fenômenos complexos ou mal definidos (GONÇALVEZ, 2007). Um exemplo disso é a temperatura de uma pessoa, que pode ser uma variável linguística assumindo termos linguísticos como baixa, média e alta, representados pelas funções de pertinência conforme a Figura 21.

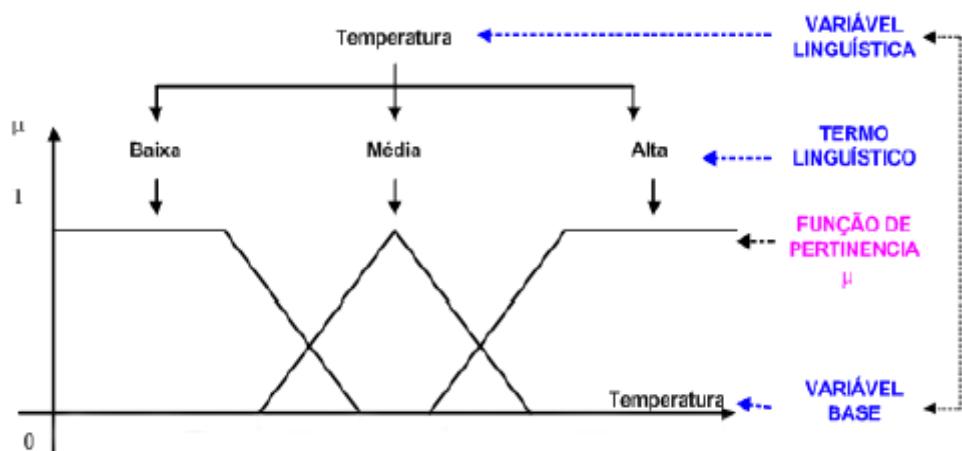


Figura 21: Funções de pertinência para a variável temperatura
Fonte: ARAUJO (2009)

Logo, valores de uma variável linguística podem ser sentenças em uma linguagem especificada, construída a partir de termos próprios (baixo, médio, alto), de conectivos

lógicos (negação não, conectivos e/ou), de modificadores (muito, pouco) e de delimitadores (como parênteses) (SANDRI, 1999).

Uma variável, segundo a lógica *fuzzy*, tem “n” estados, cada um com diferentes graus de associação ou de pertinência, gerando assim os conjuntos *fuzzy*, que não possuem limites bem definidos. (FILIPPO, 2008 apud BANDEIRA, 2018).

Os conjuntos *fuzzy* das variáveis de entrada se baseiam nos resultados da pesquisa computados para cada intervalo e para cada variável linguística.

A definição destes conjuntos é uma etapa crítica na construção de um sistema *fuzzy*, pois determina a correspondência entre as variáveis de entrada e os seus conceitos linguísticos correspondentes. (SOUZA, 2001; CRUZ, 2011 apud BANDEIRA, 2018)

• Inferência

Após a *fuzzificação* dos *inputs* (variáveis de entrada), prossegue-se com o processo de inferência. As regras de inferência *fuzzy* normalmente são expressas no formato “Se-Então” (antecedente-consequente) e combinam diferentes técnicas de implicação e de agregação, utilizando relações *fuzzy*. Uma das técnicas mais utilizadas é a chamada inferência max-min que correspondem à união “OU” e intersecção “E” (FILIPPO, 2008 apud BANDEIRA, 2018).

A base de regras *fuzzy* é um componente crítico no processo de *fuzzificação*, pois contém as informações que relacionam as condições de *input*, que pode ser um valor preciso (quando deriva de um processo de medição) ou um conjunto *fuzzy* (obtido por meio de questionários ou por opiniões de especialistas), com as respostas de *output* (CURY, 1999 apud BANDEIRA, 2018).

O resultado de uma inferência *fuzzy* é o vetor linguístico, que apresenta um grau de pertinência inferido para cada termo linguístico definido para a variável de saída, tornando, assim, o sistema pronto para o processo de *defuzzificação* (CURY, 1999 apud BANDEIRA, 2018).

• Defuzzificação

O processo de *defuzzificação* consiste na transformação do resultado *fuzzy* (vetor linguístico) produzido no processo de inferência *fuzzy* em um resultado escalar, que é útil quando se deseja comparar resultados entre várias opções ou simplesmente ordená-los. O

valor da variável linguística de saída pelas regras *fuzzy* será transformado em um valor *crisp*.

Segundo Ross (2010), a saída de um processo difuso pode ser a união de duas ou mais funções de pertinência *fuzzy* definidas no universo do discurso de uma variável de saída, conforme a Figura 22.

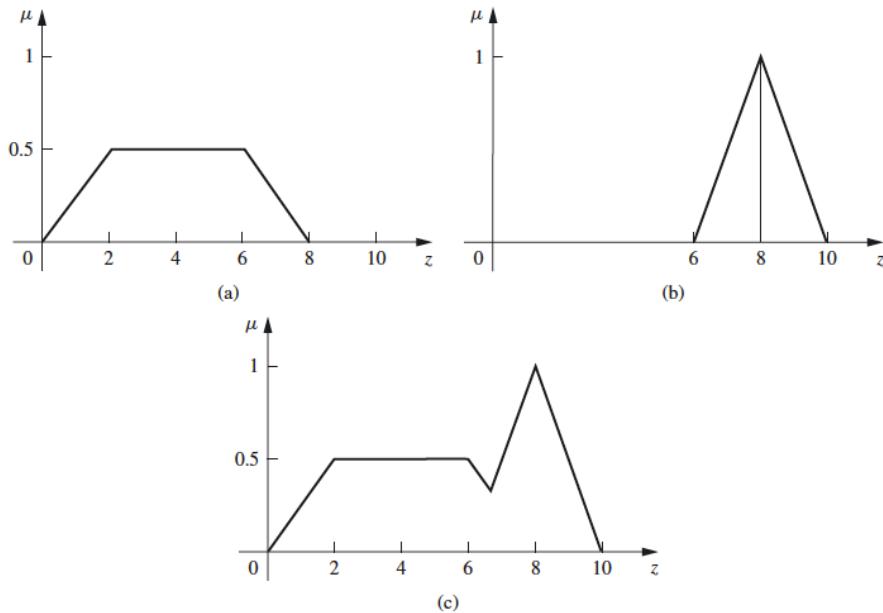


Figura 22: Primeira parte da saída *fuzzy* (a), segunda parte da saída *fuzzy* (b) e união de ambas partes (c)
Fonte: ROSS (2010)

O processo de saída difusa pode envolver muitas partes de saída (mais de duas) e a função de pertinência representando cada parte da saída pode ter formas diferentes de triângulos e trapézios.

“A seleção do método de *defuzzificação* está relacionada diretamente com as características do processo e o comportamento de controle necessário (SANDRI, 1999)”.

Os métodos de *defuzzificação* mais utilizados, segundo Ross (2010), são: valor máximo, média dos máximos, centro dos máximos e centróide.

- Valor Máximo: esse método produz como ação de inferência o valor numérico da saída, exposto na abscissa da função de pertinência, que corresponde ao maior grau de pertinência da variável linguística. Também conhecido como método de altura, segundo Ross (2010), onde z^* é o valor defuzzificado, mostrado graficamente na Figura 23.

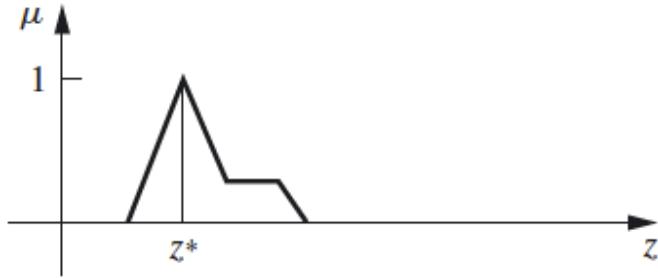


Figura 23: Método Valor Máximo
Fonte: ROSS (2010)

- Média dos Máximos: esse método (Figura 24) está intimamente relacionado ao primeiro método e produz um valor numérico de saída que corresponde ao ponto médio entre os valores que têm o maior grau de pertinência inferido pelas regras.

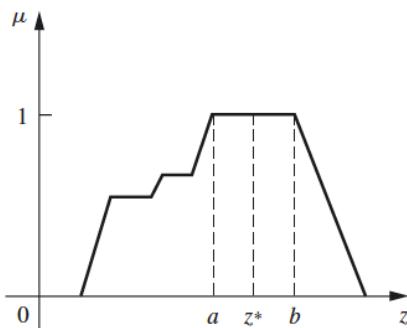


Figura 24: Método Média dos Máximos
Fonte: ROSS (2010)

- Centro dos Máximos ou método da Média Ponderada dos Máximos: esse método produz um valor de saída correspondente à média ponderada entre os valores máximos, expostos na abscissa da função de pertinência, da variável linguística de saída produzida pela inferência fuzzy, com os pesos representados pelos respectivos valores de pertinência. É frequentemente usado em aplicações fuzzy, uma vez que é um dos métodos mais eficientes do ponto de vista computacional. Uma vez que o método pode ser limitado a funções de pertinência simétricas, os valores a e b são os meios (centróides) de suas respectivas formas, conforme podemos observar na Figura 25.

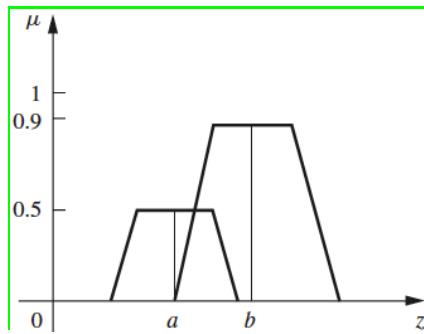


Figura 25: Método Centro dos Máximos
Fonte: ROSS (2010)

- Centro de Área, Centro de Gravidade ou Centróide: neste método (Figura 26) o valor numérico de saída corresponde ao valor da abscissa que divide pela metade a área da função de pertinência gerada pela combinação das partes consequente das regras. É o método mais usado e pode ser expresso pela Equação (YAGER, 1997 e ROSS, 2010):

$$Z^* = \frac{\sum \mu(z) \cdot z}{\sum \mu(z)}$$

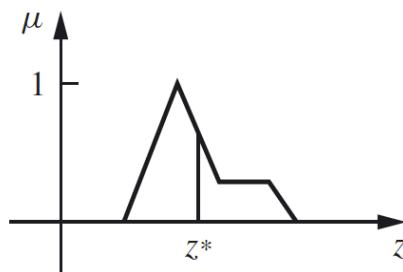


Figura 26: Método Centróide
Fonte: ROSS (2010)

2.3.5 Métodos Fuzzy de Decisão

Conforme Massad *et al.* (2008), modelos linguísticos podem ser entendidos como um mapeamento de um espaço de entrada *fuzzy* em um espaço de saída difuso. Cada regra difusa nos sistemas pode ser interpretada como uma relação *fuzzy*.

Segundo Yager (2000), a construção de modelos *fuzzy* geralmente é feita predominantemente por uma de duas abordagens diferentes. A primeira abordagem é baseada na escolha de especialistas para determinação das regras, onde através de um

diálogo são extraídas as regras de conhecimento do domínio. A segunda abordagem consiste em observações do sistema para obter as regras, usando dados de entrada/saída e algum tipo de técnica de agrupamento difuso.

A ausência de informações ou de experiências sobre o objeto avaliado, bem como o desinteresse ou a falta de concentração dos especialistas e avaliadores no processo de julgamento, podem levar a inconsistências nos resultados (DYER, 1992 apud PEDRYCZ, 1990). Portanto a qualidade dos resultados depende da qualidade da informação e do conhecimento dos especialistas sobre determinado assunto em questão.

Segundo Hsu e Chen (1996), na tomada de decisão multicritério em problemas de decisão de grupo geralmente surgem situações de conflito de opiniões entre os especialistas. Alguns trabalhos pesquisados (COSENZA, 1981; HSU e CHEN, 1996; YAGER, 2000), relatam a importância da seleção e da opinião de especialistas para coleta de dados. Portanto, encontrar uma função de consenso em grupo para agregar essas avaliações é fundamental para a tomada de decisão. Para isto, a teoria dos conjuntos *fuzzy* é uma ferramenta útil, pois lida com a subjetividade e imprecisão do julgamento humano, na qual muitas informações vagas podem ser modeladas por números *fuzzy* (\tilde{N}).

Para Massad *et al.* (2008), a escolha de um determinado método depende da semântica das regras, o tipo de modelo *fuzzy* e as características do fenômeno que está sendo modelado.

Vários métodos de agregação baseados na teoria dos conjuntos *fuzzy* foram propostos para determinar a melhor alternativa de decisão (COSENZA, 1981; FEDRIZZI e KACPRZYK, 1988; KACPRZYK, FEDRIZZI e NURMI, 1992; NURMI, 1981; TANINO, 1984 e 1990; HSU e CHEN, 1996).

Para esta pesquisa foi utilizado o método de agregação de opiniões individuais difusas sob a tomada de decisão em grupo proposto por Hsu e Chen (1996) por se adequar ao método proposto para a definição de um padrão de desempenho da produção, devido aos procedimentos de agregação, similaridade e concordância das opiniões dos especialistas.

Este método, segundo Hsu e Chen (1996), apresenta um procedimento para agregar as opiniões dos especialistas, onde primeiro é definido o índice de consenso de cada especialista para os outros especialistas usando uma medida de similaridade. Em seguida, as opiniões dos especialistas são agregadas usando o índice de consenso e a importância de cada especialista, chegando assim a um número *fuzzy*.

As opiniões dos especialistas são representadas por números *fuzzy* trapezoidais, assumindo uma intersecção comum em um conjunto de corte de nível- α , onde $\in (0,1]$. Esta é uma condição necessária para obter um resultado de agregação aceito por especialistas. Se as estimativas iniciais do k-ésimo especialista e o décimo especialista não têm interseção, então pode-se usar o Método delphi ou obter mais informações para ajustar as estimativas de cada especialista, a fim de obter uma intersecção comum no corte de nível- α .

Em seguida, é introduzida uma função de medida de similaridade para medir o grau de concordância entre as opiniões dos especialistas.

Depois de medidos todos os graus de concordância entre as opiniões dos especialistas, estas informações são postas em uma matriz de concordância. Considerase também a importância relativa dos especialistas. Com base no grau de concordância relativa e grau de importância de cada especialista, as opiniões dos especialistas são combinadas.

O método Hsu e Chen (1996) já foi utilizado em várias áreas do conhecimento por alguns pesquisadores (BELCHIOR, 1997; WAKAMATSU e CHENG, 2001; MORÉ, 2004; GRECCO *et al.*, 2009; SANTOS *et al.*, 2009; GRECCO, 2012, dentre outros).

CAPÍTULO 3: O MÉTODO DE AVALIAÇÃO

Este capítulo apresenta o desenvolvimento do método de avaliação do desempenho da produção em organizações do setor de construção civil. Os dados utilizados para o desenvolvimento deste trabalho foram obtidos por meio de pesquisas bibliográficas, apresentadas no capítulo 2. A estrutura do método de avaliação foi baseada na tese de Grecco (2012), onde foi desenvolvida uma adaptação desta estrutura conforme os princípios da Engenharia de Produção.

O método consiste em três etapas:

Etapa 1: Elaboração de uma estrutura de indicadores de desempenho da produção, com base nos princípios da Engenharia de Produção (Seção 3.1).

Etapa 2: Determinação de um padrão de desempenho da produção, utilizando a teoria dos conjuntos *fuzzy*. O padrão serviu como base de referência para a avaliação de um domínio organizacional (Seção 3.2).

Etapa 3: Avaliação do desempenho da produção em uma empresa construtora, tomando como referência o padrão definido (Seção 3.3).

3.1 Definição dos Indicadores de Desempenho

Para a definição dos indicadores de desempenho, foi feito um estudo bibliográfico dos principais indicadores utilizados em organizações, para medir o desempenho da produção. E a partir desta seleção, os indicadores foram alocados dentro de cada princípio da Engenharia de Produção, conforme suas definições, verificando com um engenheiro de produção civil a veracidade destas informações no contexto da construção civil, setor onde será feito posteriormente o estudo de caso. Esta análise junto ao engenheiro de produção civil foi fundamental para o entendimento das etapas de produção neste setor, pois conforme Seção 2.2.1 do capítulo anterior demonstra a importância deste profissional para a Engenharia de Produção.

No entanto, a estrutura de indicadores de desempenho da produção (Tabela 7) e a avaliação de cada indicador (Tabela 8), que será feita por meio de métricas subjetivas, foram desenvolvidas para servirem de referência para a avaliação do desempenho da produção de quaisquer domínios organizacionais que lidam com a produção de produto(s)

ou execução de serviço(s). Desta forma, espera-se que a organização seja capaz de avaliar e gerenciar o desempenho da sua produção.

A estrutura de indicadores de desempenho leva em consideração todas as fases da produção, desde o projeto até a avaliação de resultados com a entrega do produto/serviço ao cliente; onde serão obtidas informações sobre as atividades operacionais, insumos necessários para a produção (matéria-prima, mão de obra, maquinário), relacionamento com fornecedores e clientes, capacidade de adaptação das atividades devido a fatores internos/externos que possam comprometer a produção, dentre outras.

Tabela 7 - Estrutura proposta de indicadores de desempenho da produção

Princípios	Indicadores de Desempenho da Produção
Projeto da Produção	1.1 Arranjo Físico 1.2 Cobertura de Estoque 1.3 Recursos Humanos 1.4 Execução Física do Projeto 1.5 Alterações às Definições dos Projetos 1.6 Planejamento da Produção (Serviço)
Modelagem	2.1 Eficiência (Produtividade) 2.2 Rentabilidade
Implantação	3.1 Relatos das Adaptações 3.2 Incorporação das Adaptações 3.3 Inovação 3.4 Investimento em Qualificação 3.5 Conscientização dos Funcionários
Operação	4.1 Tempo Médio entre o Pedido de Material e a Entrega 4.2 Capacidade (Recursos Humanos) 4.3 Capacidade Instalada Usada (Equipamentos/Maquinário) 4.4 Produção 4.5 Custo Total de Produção 4.6 Índice de Flexibilidade
Manutenção	5.1 Tempo de Paragem da Produção para Reparações 5.2 Quebras de Produção devido a Ocorrências Inesperadas 5.3 Custo de Manutenção por Unidade Produzida 5.4 Manutenção Preventiva Relativa à Manutenção Total
Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços	6.1 Desperdício da Matéria-prima 6.2 Inconformidades detectadas na Aceitação dos Materiais 6.3 Turnover (Rotatividade) 6.4 Taxa de Absenteísmo 6.5 Avaliação e Apoio à Tomada de Decisão 6.6 Treinamentos de Resposta à Emergência 6.7 Trabalho em Equipe

Prevenção de riscos	7.1 Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) 7.2 Produção Sustentável 7.3 Incidência de Acidentes no Local de Trabalho 7.4 Identificação de Risco 7.5 Identificação de Medidas de Segurança 7.6 Percepção e Entendimento dos Erros
Avaliação de resultados	8.1 Produtos com Inconformidades 8.2 Normatização e Certificação 8.3 Confiabilidade e Competência dos Funcionários 8.4 Satisfação dos Colaboradores com os Resultados dos Projetos 8.5 Motivação e Satisfação dos Funcionários 8.6 Satisfação dos Clientes

Tabela 8 - Avaliação dos indicadores de desempenho da produção

Princípios	Avaliação
Projeto da Produção	<p>1.1 As instalações de equipamentos e maquinários estão posicionadas de forma a auxiliar os funcionários na execução de suas tarefas, fazendo com que os materiais e informações fluam corretamente ao longo dos processos.</p> <p>1.2 Existe um controle de estoque, garantindo a disponibilidade e atualização dos materiais para abastecimento da produção, mantendo uma quantidade de segurança com o menor custo possível.</p> <p>1.3 A quantidade de funcionários é suficiente para garantir a execução segura das tarefas e atender a demanda, garantindo que a pressão temporal não comprometa a segurança das atividades, e os mesmos estão distribuídos adequadamente ao longo dos processos.</p> <p>1.4 Existe um acompanhamento físico do projeto pelos gestores de modo a corrigir possíveis atrasos na execução do projeto.</p> <p>1.5 As definições dos projetos elaboradas coincidem com a realidade na hora da execução dos serviços, evitando alterações durante o processo.</p> <p>1.6 Os gestores fazem um planejamento, discriminando as etapas de cada serviço conforme o cronograma estipulado no projeto e buscando promover a otimização para aumentar a rentabilidade do produto final.</p>
Modelagem	<p>2.1 Para a produção de um determinado produto/serviço são utilizadas a menor quantidade possível de recursos de forma a reduzir custos.</p> <p>2.2 Os produtos ou serviços são rentáveis para a empresa de forma que o lucro obtido com a venda supere os investimentos envolvidos na produção.</p>
Implantação	<p>3.1 Os gestores são comprometidos na identificação de problemas decorrentes de fatores negativos (internos ou externos) e as adaptações durante a execução das atividades são comunicadas (relatadas).</p> <p>3.2 Os gestores possuem competência para resolução de problemas decorrentes de fatores negativos e promovem adaptações a serem incorporadas aos procedimentos.</p> <p>3.3 A empresa investe em tecnologias (máquinas, equipamentos, dispositivos e softwares), promovendo agilidade dos processos, redução de recursos utilizados e aumento do desempenho da produção.</p>

	<p>3.4 A empresa investe na qualificação de seus funcionários para o desempenho de suas funções e para o controle de situações novas ou imprevistas e tomada de decisões.</p> <p>3.5 Os funcionários são orientados a seguir as normas de segurança no exercício de suas funções e inspecionados para o uso correto dos EPIs.</p>
Operação	<p>4.1 Os fornecedores são confiáveis e comprometidos com os prazos de entrega dos materiais, evitando assim atrasos no recebimento dos mesmos.</p> <p>4.2 Os funcionários trabalham de forma a produzir o máximo possível em um menor tempo possível.</p> <p>4.3 Os equipamentos/maquinário instalados são usados em plena capacidade de produção de forma a atender os serviços, evitando desperdícios e atrasos nas entregas.</p> <p>4.4 Os serviços produzidos são atendidos conforme o tempo estipulado, de forma a contribuir para um aumento da produção.</p> <p>4.5 O custo dos insumos (matéria-prima), maquinário e mão-de-obra mensurados no projeto atendem ao custo planejado de forma a ser rentável para a produção.</p> <p>4.6 A empresa apresenta capacidade de atender as mudanças sem comprometer a produção, relacionadas a: substituição de equipamentos e peças, habilidade de conduzir vários processos ao mesmo tempo, mudança do mix de produtos, variação do volume de produção, habilidade de mudar o fluxo de processo e produzir uma ampla variedade de produção.</p>
Manutenção	<p>5.1 Os equipamentos e máquinas não apresentam problemas relacionados a sua vida útil e os funcionários da empresa são treinados para o manuseio correto desses equipamentos, evitando interrupções dos serviços para reparações.</p> <p>5.2 As instalações são eficazes e auxiliam na produção, assim como os funcionários são comprometidos com os objetivos de seus serviços, de forma a reduzir ou eliminar ocorrências inesperadas, como quebras de energia e avarias, que podem comprometer a produção.</p> <p>5.3 Existe um equilíbrio entre os custos de manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos, de forma a evitar custos excessivos à produção.</p> <p>5.4 Existe um programa de manutenção preventiva das instalações e equipamentos para evitar problemas que possam comprometer a produção e também evitar situações emergenciais que necessitem de intervenções corretivas, gerando mais custos para a produção.</p>
Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços	<p>6.1 Durante a execução do serviço não ocorrem desperdícios de matérias-primas e são identificadas melhorias que previnem a reincidência das perdas no processo produtivo da empresa.</p> <p>6.2 Os materiais recebidos devem estar de acordo com o pedido de encomenda, sem danos e avarias de forma a não prejudicar ou atrasar a produção.</p> <p>6.3 A empresa deve evitar a rotatividade (taxa de demissões) de funcionários, incentivando os mesmos, promovendo líderes competentes que possam contribuir para o sucesso da organização.</p> <p>6.4 Os funcionários são comprometidos com suas tarefas, evitando atrasos e faltas.</p> <p>6.5 Os gestores estão envolvidos na avaliação dos indicadores de desempenho da produção e melhorias dos processos envolvidos na produção de forma a auxiliar nas tomadas de decisões aplicando medidas corretivas e preventivas.</p> <p>6.6 A empresa oferece frequentemente cursos de treinamentos de resposta à emergência, adequados às atividades dos trabalhadores, de forma a capacitar seus funcionários na solução de problemas emergentes, decorrentes de fatores internos ou externos que possam afetar a produção.</p> <p>6.7 Os funcionários são incentivados a trabalharem em equipe, existindo um bom relacionamento entre os grupos de trabalho.</p>

Prevenção de riscos	<p>7.1 Os equipamentos de segurança do trabalho são guardados em locais devidamente apropriados e rotineiramente testados.</p> <p>7.2 As atividades operacionais são realizadas respeitando o entorno, de forma a não agredir o meio ambiente e são implementadas ações sustentáveis envolvendo tanto medidas como redução de custos de produção até a diminuição de resíduos lançados no meio ambiente.</p> <p>7.3 Existem procedimentos para identificação de mecanismos de degradação da instalação, e monitoramento das condições de segurança de componentes críticos e são aplicadas medidas preventivas durante as tarefas e rotinas que podem afetar a segurança, evitando assim possíveis acidentes no local de trabalho.</p> <p>7.4 As tarefas e situações rotineiras que podem afetar a segurança são identificadas.</p> <p>7.5 Existem medidas proativas no local para identificar novos riscos e melhorar a segurança.</p> <p>7.6 As chefias e os funcionários conseguem distinguir claramente os erros inevitáveis das violações inaceitáveis e identificar as medidas corretivas a serem aplicadas.</p>
Avaliação de resultados	<p>8.1 A empresa se compromete com a qualidade de seus serviços de produção, recrutando funcionários competentes de forma a evitar possíveis inconformidades (defeitos) após a finalização dos serviços.</p> <p>8.2 A empresa possui uma certificação de qualidade e os materiais entregues são fiscalizados conforme os padrões de qualidade antes de serem utilizados, assim como os serviços.</p> <p>8.3 Os funcionários estão capacitados a realizar as tarefas, onde são reconhecidas suas experiências operacionais e habilidades, e transmitem confiança desde a execução dos processos envolvidos no projeto até a finalização do serviço.</p> <p>8.4 Os resultados obtidos após o encerramento do projeto compensam os investimentos realizados para a execução dos serviços na produção e geram satisfação dos colaboradores envolvidos.</p> <p>8.5 Os funcionários se sentem motivados durante a execução de suas tarefas e satisfeitos com os resultados após o cumprimento das mesmas.</p> <p>8.6 O produto ou serviço prestado é realizado e entregue conforme o solicitado pelo cliente, segundo os padrões de qualidade e prazos estipulados.</p>

A seguir será apresentado o estudo bibliográfico com as definições de cada indicador de desempenho da produção que foram selecionados para o processo de avaliação, conforme mencionados nas Tabelas 7 e 8.

PROJETO DA PRODUÇÃO

- **Arranjo Físico**

O arranjo físico está relacionado ao posicionamento físico dos recursos transformadores de uma organização, ou seja: as instalações, equipamentos e pessoas que trabalham na empresa. E segundo Slack, Jones e Johnston (2018), também trata da

aparência física de uma operação em sentido mais amplo; controla a segurança, atratividade, flexibilidade e eficiência de uma operação; e determina o modo pelo qual os recursos transformados – materiais, informação e clientes – fluem pela operação. Mudanças no arranjo físico podem afetar o fluxo ao longo da operação, o que, por sua vez, pode afetar seus custos e a eficácia geral da operação.

O seu objetivo é permitir o melhor desempenho dos colaboradores e dos equipamentos, de forma que o trabalho flua de maneira simples e fácil. Um planejamento de arranjo físico mal feito pode afetar toda a capacidade e produtividade da organização, causando interrupções no processo, podendo ocorrer também falhas no estoque e atrasos nas entregas dos pedidos (MARQUES, 2019).

Slack, Jones e Johnston (2018) destaca o quanto o arranjo físico é importante e pode influenciar o desempenho da produção. Se o *layout* estiver errado, pode provocar padrões de fluxo muito longos ou confusos, filas de clientes, longos tempos de processo, operações inflexíveis, fluxos imprevisíveis, altos custos e resposta fraca para os que estiverem dentro da operação, sejam eles clientes ou funcionários. Além disso, o rearranjo físico radical pode interromper o funcionamento da produção, ocasionando insatisfação do cliente ou perdas de tempo na produção.

• Cobertura de Estoque

Segundo Slack, Jones e Johnston (2018), estoque é a acumulação dos recursos transformados de uma operação. Quase todas as operações mantêm algum tipo de estoque, a maioria geralmente de materiais, mas também de informação ou clientes. O estoque ocorre em operações porque o *timing* do suprimento nem sempre coincide com o *timing* da demanda. Umas das principais razões para a manutenção do estoque é: lidar com interrupções ocasionais e não esperadas no fornecimento ou na demanda (estoque de segurança), e lidar com os atrasos de transporte na rede de suprimento (estoque no canal de distribuição).

O estoque ocupa espaço (por exemplo, em armazém) e necessita ser gerenciado, guardado em condições apropriadas, segurado e fisicamente manuseado quando ocorrem transações. Se o estoque não for utilizado rapidamente, há risco crescente de danos, perda, deterioração ou obsolescência.

Segundo Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009), o desafio é não reduzir os estoques até o final para reduzir custos nem ter estoque de sobra para atender a todas as

demandas, mas ter a quantidade correta para alcançar as prioridades da empresa de modo mais eficaz. Esse tipo de eficiência pode ocorrer apenas se a quantidade certa de estoque estiver circulando através da cadeia de valor – por meio de fornecedores, da empresa, de armazéns ou centros de distribuição e clientes.

Portanto, é importante a empresa trabalhar com indicadores que mantenham um controle do estoque e garantam o abastecimento para a produção.

A “cobertura de estoque” é usada para fins de segurança e planejamento da empresa, pois os seus dados dizem respeito ao tempo que o estoque existente é capaz de atender a demanda de vendas.

A partir desse indicador, a empresa pode fazer o planejamento de reposição de estoque e também de possíveis investimentos. É mensurado calculando a quantidade de estoque que existe com a previsão de vendas, podendo ser apurado diariamente ou em um determinado período.

O relatório de necessidades de compra é bastante útil nesse processo para indicar as coberturas dos estoques de mercadorias que estão relacionados em vendas ou ainda que atingiram o estoque mínimo. E a partir de informações de vendas dos últimos meses pode-se fazer o cálculo das compras futuras de até três meses, sendo, portanto, mais assertivo.

- **Recursos Humanos (pessoas em produção)**

Este indicador avalia a quantidade de funcionários na produção, que são as pessoas responsáveis pela execução das tarefas e atendimento à demanda, contribuindo para a estratégia e objetivos da organização. Os aspectos dos recursos humanos são especialmente importantes na função produção, em que se encontra a maioria dos recursos humanos” (SLACK, JONES e JOHNSTON, 2018).

Segundo Slack, Jones e Johnston (2018), a forma como os recursos humanos são gerenciados tem impacto profundo sobre a eficácia de sua função operacional.

- **Execução Física do Projeto**

Este indicador pretende identificar se o projeto funciona na prática e a % de concretização do projeto. Permite perceber se um projeto está no início, no meio ou perto

do fim. Para que seja apurado, é necessário que para todas as tarefas estejam identificadas as cargas de duração.

Existir um atraso no início de um projeto não é tão grave como haver um atraso no fim de um projeto. No fim, significa que já se consumiu a maior parte dos recursos e é sempre mais difícil fazer mudanças, pois existe sempre menor margem para tomar decisões com vista à correção do atraso. A informação é transmitida pela área de projetos e deve ser apurada semanalmente/mensalmente, quanto maior o valor, melhor (CALDEIRA, 2017).

- **Alterações às definições dos projetos**

Este indicador pretende medir a qualidade do planeamento dos projetos. Quantas mais alterações tiverem os projetos maior será o início de planeamento frágil. Na maior parte dos casos, as alterações surgem pela atribuição de *timings* demasiados apertados para as tarefas, pela insuficiente orçamentação financeira das mesmas, ou também por antecipação devido a deteção de ameaças futuras ao projeto. A informação é transmitida pela área de projetos e deve ser apurada mensalmente, quanto menor o valor, melhor (CALDEIRA, 2017).

- **Planejamento da Produção (serviço)**

O planejamento é um instrumento de apoio à decisão, que permite soluções sempre mais eficientes, definindo e controlando programas para orientar a produção. O planejamento na construção civil tem um caráter dinâmico, trabalhando com informações e diretrizes, definindo políticas e estratégias. Associa-se o planejamento adequado à boa qualidade, produtividade e racionalização do processo (SANTOS e MOCCELLIN, 2001).

Conforme Martucci (1990 apud SANTOS e MOCCELLIN, 2001), fazem parte do planejamento da produção na construção civil:

- ✓ A elaboração da política de produção onde são estabelecidos os princípios básicos da organização do trabalho; da política do controle de qualidade, custos, suprimentos; dos medidores de produtividade; de recursos humanos; de

salários, etc., que serão introduzidos no processo produtivo e construtivo adotados.

- ✓ O estudo tecnológico do sistema construtivo onde são analisados e conferidos todos os detalhes produtivos, construtivos e técnicos, fornecidos pelo projeto do produto, tais como, compatibilização de projetos, detalhamentos, especificações técnicas, materiais e componentes; corrigindo-se eventuais incompatibilidades, antes da fase de execução ou produção no canteiro.
- ✓ A definição do fluxo tecnológico mostra a sequência técnica que uma obra pode ser executada, analisando as características tecnológicas do processo construtivo, no projeto do produto.
- ✓ A definição e caracterização dos processos de trabalho é a etapa mais importante do planejamento da produção, na qual se dá a concepção final de todos os processos de trabalho da obra.
- ✓ A trajetória da obra ou estratégia de desenvolvimento da obra define a sequência e a velocidade de execução que se deseja ou que seja politicamente mais interessante ou mais rentável, baseada na disponibilidade de recursos e na ocorrência de fatores externos.
- ✓ A programação de obra, onde são estabelecidos programas no nível de todos os processos de trabalho e no nível administrativo (suprimentos, alocação de máquinas e equipamentos, dimensionamento de mão-de-obra). Tem como objetivo elaborar, de forma integrada e equilibrada, previsões de comportamento da obra no que diz respeito a custos, prazos e recursos, definindo os procedimentos pelos quais estas previsões podem ser obedecidas.

MODELAGEM

- **Eficiência (Produtividade)**

Produtividade estará sempre ligada ao conceito de eficiência no processo de transformação de entradas e saídas, ou seja, quanto mais eficiente for um processo, mais produtivo este será. É a medida do índice de utilização de recursos por unidade de tempo ou esforço, normalmente medido em horas trabalhadas. Por exemplo, hh/metros cúbicos colocados de concreto, ou kg/m³ ou outra medida padronizada. (CBIC, 2021).

Para a ISO 9000 este indicador mede a relação entre os resultados obtidos no processo produtivo e os recursos empregados. Significa “fazer da melhor maneira utilizando a menor quantidade possível de recursos”. A eficiência tem foco no processo e nos recursos aplicados, visando reduzir custos. Por exemplo, um operário que consegue instalar 20 m² de piso em uma hora é mais produtivo (eficiente) que um que consegue instalar 17 m² de piso em uma hora.

Para Peter Drucker (apud FRANCISCHINI e FRANCISCHINI, 2017), significa “fazer certo a coisa”, ou seja, o que importa é que o meio utilizado para atingir o resultado esteja correto, não importando se o resultado é adequado ou não. E para D. Scott Sink (apud FRANCISCHINI e FRANCISCHINI, 2017), o importante é se os recursos estão sendo utilizados, não importando se o produto é correto ou necessário.

Segundo Slack, Jones e Johnston (2018), eficiência é a relação entre a produção real e um determinado padrão. Desse modo, a eficiência mede as perdas ou ganhos em um processo, aceitando resultados maiores que 1 (ou 100%).

- **Rentabilidade**

Este indicador mede a relação percentual entre o lucro e o investimento feito na empresa. Exemplo: Numa empresa onde foram investidos R\$ 500.000,00, com um lucro de R\$ 20.000,00. A rentabilidade foi de 4%.

Para a avaliação de investimentos, segundo Almeida *et al.* (2008), o engenheiro de produção deve utilizar métodos de Engenharia Econômica, que auxiliam o gerente a tomar decisões sobre a rentabilidade desse investimento. A maioria das decisões sobre investimentos em uma empresa envolve a consideração sobre várias possibilidades de pagamento em períodos diferentes de tempo. A melhor alternativa vai depender dos juros envolvidos.

IMPLANTAÇÃO

- **Relatos das Adaptações**

Segundo Grecco (2012), a capacidade de adaptação às variabilidades e complexidade do ambiente fazem parte da resiliência organizacional. Ser resiliente, segundo o cientista inglês Thomas Young, significa “voltar ao estado natural”. O foco da resiliência organizacional é a gestão e controle dessas variabilidades para manter a eficiência e a segurança dos sistemas produtivos. Assim, uma organização resiliente deve proporcionar meios para a gestão das adaptações, monitorando e aprendendo a partir de estratégias, identificando riscos e ameaças.

- **Incorporação das Adaptações**

Muitos fatores podem afetar o processo produtivo nas organizações. Estes fatores podem ser decorrentes de eventos internos, como por exemplo problemas técnicos, erros cometidos, etc; outros são decorrentes de eventos externos, como falta de material, atrasos nas entregas. Para lidar com estes problemas, torna-se necessário as empresas buscarem estratégias de adaptação e incorporá-las nos processos produtivos, treinando os funcionários para respostas rápidas na solução desses problemas. Segundo Wrethall e Merritt (2003 apud GRECCO, 2012), uma organização resiliente tem que “estar à frente” dos problemas de desempenho humano, ou seja, tem que estar preparada para responder.

- **Inovação**

Segundo Slack, Jones e Johnston (2018), a inovação diz respeito a novas ideias incorporadas a produtos ou serviços, que forneçam retorno para os clientes de uma organização. Para isso, empresas que compete com ofertas inovadoras devem ter competência para desenvolver novas tecnologias e traduzi-las em novos produtos (KRAJEWSKI, RITZMAN e MALHOTRA, 2009), promovendo assim a agilidade dos processos e redução de recursos utilizados.

Cada vez mais, espera-se que os gerentes de produção assumam parte mais ativa na inovação de produtos ou serviços.

“A inovação exige pesquisa e desenvolvimento significativos e a capacidade para colocar as novas ofertas no mercado rapidamente. Com serviços ou produtos inovadores, a empresa ‘pioneira’ muitas vezes consegue uma grande vantagem competitiva (KRAJEWSKI, RITZMAN e MALHOTRA, 2009, p. 47)”.

- **Investimento em Qualificação**

Equipes qualificadas traduzem-se em produtos e serviços de qualidade, ou seja, quanto maior a qualificação da sua equipe, melhores serão os produtos e serviços, refletindo-se na satisfação do cliente final.

Isso significa que, ao investir em treinamentos, está aplicando recursos para que sua empresa se torne mais competitiva.

Um profissional que recebe o treinamento adequado executa suas tarefas em menos tempo e com maior qualidade. A consequência é mais entregas dentro do mesmo período de expediente, isto é, maior produtividade. Essa mesma pessoa, quando corretamente orientada sobre os processos da empresa, consome menos recursos, como energia elétrica, insumos de escritório e matéria-prima, por exemplo. O resultado é a redução de custos de produção e aumento da lucratividade do negócio.

- **Conscientização dos Funcionários**

A conscientização dos funcionários no seguimento das normas internas de segurança é fundamental para o exercício de suas funções no ambiente de trabalho. Cabe aos gestores conscientizar sua equipe quanto ao uso dos equipamentos de segurança evitando assim possíveis acidentes que possam ocorrer durante a execução do serviço. Assim como, na operação de máquinas e equipamentos que exponham o operador ou terceiros a riscos, que segundo a NR-18, item 18.22.1, só pode ser feita por trabalhador qualificado e identificado por crachá. Os trabalhadores também devem ser treinados e instruídos para a utilização segura das ferramentas durante a execução do serviço no local de trabalho.

OPERAÇÃO

- **Tempo Médio entre o Pedido de Material e a Entrega**

A organização deve avaliar e selecionar fornecedores com base na sua capacidade em fornecer produtos de acordo com os requisitos da organização. Critérios para seleção, avaliação e re-evaliação devem ser estabelecidos.

Este indicador apresenta o tempo médio desde que é realizado o pedido do material com o fornecedor até o momento em que se realiza a entrega do material ao cliente. Permite avaliar o prazo de entrega do material e a confiabilidade do fornecedor. A partir dessa média pode ser calculada a quantidade necessária a se manter um estoque de segurança para atender a produção em caso de atrasos.

Quanto menor for o tempo médio da entrega, maior será a eficiência para a operação e melhor será visto o fornecedor pelos seus clientes (empresas). No setor de produção, é considerado um fator crítico, uma vez que a empresa considera fundamental poder ter acesso rapidamente aos materiais que adquirem (adaptado de CALDEIRA, 2017).

- **Capacidade (Recursos Humanos)**

Este indicador mede a capacidade de resposta de um processo através da relação entre saídas produzidas por unidade de tempo, ou seja, é a relação entre a quantidade que se pode produzir e o tempo para que isso ocorra. Por exemplo: A montadora X tem capacidade de produzir 200 carros por mês.

Segundo Francischini e Francischini (2017), o desperdício da mão-de-obra (horas/homem) leva a diminuição da capacidade de produção, causando ociosidade que pode ocorrer por paradas na produção, devido a falta de matéria-prima, falta de energia, quebra ou preparação de equipamentos, falta de ordens de serviço ou por falta de demanda.

Para a produção é fundamental que os funcionários da empresa trabalhem em plena capacidade, ou seja, de forma a produzir o máximo possível em um menor tempo possível.

“O objetivo do gestor de RH é que todas as horas-homem pagas disponibilizadas possam ser utilizadas na Produção. O objetivo do gestor da produção é que todas as horas-homem disponíveis sejam efetivamente trabalhadas pelos funcionários (FRANCISCHINI e FRANCISCHINI, 2017, p.38)”.

- **Capacidade Instalada Usada**

Corresponde ao limite máximo de produção (plena capacidade de produção). É a quantidade de unidades de produto/serviço que as máquinas e equipamentos/recursos humanos instalados são capazes de produzir. É fundamental que a empresa conheça este valor de modo a não aceitar encomendas que não possa cumprir dentro dos prazos acordados. A definição de objetivos relativos ao aumento da % da capacidade instalada é fundamental para aumentar a eficiência e a produtividade da produção. No entanto o seu valor depende da programação da produção. A informação é transmitida pela direção da produção e deve ser apurada semanalmente/mensalmente, quanto maior o valor, melhor (CALDEIRA, 2017).

- **Produção**

É um dos principais indicadores para as empresas. Indica aquilo que se está a produzir num determinado período de tempo. Pode ser calculada não apenas no seu total, mas também por linha de produção e por produto. O controle da produção torna-se mais eficaz quando a empresa define previamente um plano de produção e vai monitorizando com as realizações que vai efetuando. A informação é transmitida pela direção da produção e deve ser apurada diariamente/semanalmente, quanto maior o valor, melhor (CALDEIRA, 2017).

- **Custo Total de Produção**

Este índice revela dados como o custo dos insumos, das horas-máquina, das horas-homem, dos suprimentos e da depreciação dos equipamentos.

Tal valor pode ser monitorado por período, setor, linha de produção ou outros aspectos. Esse acompanhamento ajuda a identificar os custos operacionais e, portanto, identificar o lucro final após a venda.

• Índice de Flexibilidade

Segundo Grecco (2012), a capacidade de flexibilidade das organizações retrata a capacidade de adaptação das organizações aos problemas novos e complexos, buscando soluções sem comprometer a funcionalidade global. Alguns fatores contribuem para esse comportamento flexível, como por exemplo, a possibilidade dos trabalhadores de níveis operacionais tomarem decisões importantes sem a necessidade de esperar por instruções gerenciais. Assim, os trabalhadores possuem autonomia para resolver conflitos e responder a eventos não previstos.

A flexibilidade pode ser dosada com base nos níveis de adaptação que uma empresa obtém diante de mudanças e exigências geradas pelo mercado oscilante.

O índice de flexibilidade pode ter vários enfoques, como:

- ✓ de máquina: capacidade de substituição de equipamentos e peças sem interferir na produção;
- ✓ de processo: habilidade de conduzir vários processos ao mesmo tempo, mesmo que estes não estejam relacionados;
- ✓ de produto: poder de mudar o mix de produtos de maneira ágil e econômica;
- ✓ de volume: capacidade de variar o volume de produção de acordo com as demandas do mercado;
- ✓ de operação: habilidade de mudar o fluxo de processos sem comprometer a produção;
- ✓ de produção: poder de produzir uma ampla variedade de produtos.

Uma empresa que tem poder de flexibilidade está mais preparada para atender às mudanças do mercado e tem maior capacidade de adaptação, um grande diferencial de mercado que pode significar a diferença entre manter-se competitivo e estagnar nos negócios.

MANUTENÇÃO

- **Tempo de Paragem da Produção para Reparações (Mean time to repair)**

Permite avaliar o peso na paragem da produção devido às reparações de máquinas e equipamentos. Valores elevados neste indicador podem indicar problemas nos equipamentos produtivos devido a sua vida útil ou por mau uso dos mesmos por parte dos funcionários da empresa. Importa relacionar este indicador com a % da capacidade instalada utilizada, uma vez que as reparações têm maior probabilidade de serem necessárias quando os equipamentos são utilizados com maior intensidade, nomeadamente nos picos de produção. A informação é transmitida pela direção da produção e deve ser apurada mensalmente, quanto menor o valor, melhor (CALDEIRA, 2017).

- **Quebras de Produção devido a Ocorrências Inesperadas**

Identifica o número de vezes que a produção parou devido a ocorrências inesperadas, tais como quebras de energia e avarias. Conhecer o tipo de causa e a frequência com que surgem estas situações é fundamental na fase de programação da produção, caso contrário a empresa arrisca-se a ser demasiado ambiciosa na produção que deseja obter.

As causas podem ser várias e dependem do tipo de produção, identificar essas causas e a frequência que ocorrem é fundamental para a empresa tentar implementar medidas que as possam eliminar ou reduzir. A informação é transmitida pela direção da produção e deve ser apurada mensalmente/trimestralmente, quanto menor o valor, melhor (CALDEIRA, 2017).

- **Custo de Manutenção por Unidade Produzida**

Envolvem os custos da manutenção preventiva e corretiva. A antiguidade dos equipamentos pode começar a gerar custos excessivos ao nível de manutenção e as manutenções preventivas em excesso podem retirar margem à produção, deve-se então buscar um equilíbrio. É fundamental perceber a dimensão e a origem dos custos da produção, de forma a compreender a margem econômica dos produtos. A informação é

transmitida pela direção da produção e direção financeira, e deve ser apurada trimestralmente, quanto menor o valor, melhor (CALDEIRA, 2017).

- **Manutenção Preventiva Relativa à Manutenção Total**

Este indicador, segundo Caldeira (2017), mede o peso dos custos da manutenção preventiva (que não deve ser excessiva) relativamente aos custos totais de manutenção.

A Manutenção Produtiva Total tem por objetivo tornar as abordagens preventiva e preditiva mais vantajosas para as empresas, por meio da introdução de um planejamento adequado das atividades de manutenção, da manutenção autônoma (atividades de manutenção realizadas pelos operadores), do aumento da manutenabilidade dos equipamentos e da engenharia de manutenção (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2002 apud SILVA e CORDEIRO, 2010).

Quanto mais próximo o resultado do indicador estiver de 100%, melhor será para a empresa, uma vez que identifica uma situação de inexistência de manutenção corretiva, ou seja, a manutenção preventiva é eficaz e permite evitar as situações de surpresa das intervenções corretivas. A informação é transmitida pela direção da produção e direção financeira, e deve ser apurada mensalmente/trimestralmente, quanto maior o valor, melhor (CALDEIRA, 2017).

MELHORIAS DE SISTEMAS PRODUTIVOS

- **Desperdício da Matéria-prima**

Indica a percentagem de desperdício de matérias-primas num determinado período de tempo, por linha de produção ou por produto. Tem por objetivo final a identificação de medidas de melhorias que previnem a reincidência das perdas no processo produtivo da empresa. A redução dos desperdícios de matéria-prima permite aumentar a eficiência produtiva da empresa e diminuir as necessidades de espaço de armazenagem. A informação é transmitida pela direção da produção e deve ser apurada semanalmente/mensalmente, quanto menor o valor, melhor (CALDEIRA, 2017).

- **Inconformidade Detectadas na Aceitação dos Materiais**

Identifica o peso dos materiais aceitos pelo armazém que não estavam de acordo com o pedido de encomenda. No ato de recepção dos materiais, verifica-se a conformidade do documento de guia de remessa ou de transporte que acompanha os materiais, de forma a detectar as inconformidades. Este indicador avalia a qualidade da atividade na recepção de materiais. As inconformidades na recepção podem ser de vários tipos. Por exemplo, materiais não solicitados, quantidades de materiais diferentes dos encomendados, materiais com defeitos, etc. A informação é transmitida pelo armazém e deve ser apurada mensalmente, quanto menor o valor, melhor (adaptado de CALDEIRA, 2017).

- **Turnover**

Segundo Francischini e Francischini (2017), este indicador mostra o índice de rotatividade dos colaboradores em uma empresa, ou seja, basta dividir por dois a soma do número de demissões e do número de admissões no mês. Esse resultado, por sua vez, deve ser dividido pelo total de funcionários que estão cadastrados na empresa.

Empresas que apresentam uma grande taxa de turnover podem apresentar problemas de valorização da empresa por parte dos funcionários, problemas na liderança, ou até mesmo no clima organizacional. Essas questões internas podem afetar o atendimento do cliente.

- **Taxa de Absenteísmo**

É a expressão utilizada para designar as faltas ou ausências dos colaboradores no seu posto de trabalho. Ou seja, é o tempo trabalhável que, na prática, não foi utilizado, excluídos dos dias trabalháveis as férias, os feriados e os dias de descanso semanal. Pode ser de curtíssima duração (até 3 dias), de curta duração (até 30 dias) e de longa duração (mais de 30 dias). As principais causas são: doenças, acidentes de trabalho, faltas justificadas, atrasos, faltas injustificadas, suspensão disciplinar, greves internas, situações familiares (assistência inadiável, luto, casamento, etc.), serviço militar, formação, atividade de organismos representativos de trabalhadores (sindical, comissão de trabalhadores). A taxa de absenteísmo pode ainda ser segmentada em função das causas.

A informação é transmitida pelo departamento de pessoal e deve ser apurada mensalmente, quanto menor o valor, melhor (CALDEIRA, 2017).

Francischini e Francischini (2017) definem esse indicador como as horas perdidas de trabalho/horas totais em função das horas que deveriam ser trabalhadas.

- **Avaliação e Apoio à Tomada de Decisão**

Segundo Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009), os gerentes de operações tomam muitas decisões à medida que gerenciam processos e cadeias de valor. A tomada de decisões geralmente envolve: reconhecer o problema e defini-lo com clareza; coletar as informações necessárias para analisar as alternativas possíveis; escolher e implementar a alternativa mais factível. Em geral, depende de procedimentos formais, tais como:

- ✓ A análise do ponto de equilíbrio que ajuda o gerente a identificar quantas mudanças de volume ou demanda são necessárias antes que uma segunda alternativa se torne melhor que a primeira;
- ✓ A matriz de preferências que ajuda o gerente a lidar com vários critérios que não podem ser avaliados com uma única medição de mérito, como lucro total ou custo;
- ✓ A teoria da decisão que ajuda o gerente a escolher a melhor alternativa quando os resultados são incertos;
- ✓ A árvore de decisão que ajuda o gerente quando as decisões são tomadas em sequência; quando a melhor decisão de hoje depende das decisões e eventos de amanhã.

Fleury (1997 apud SILVA e CORDEIRO, 2010), destaca a importância da abordagem sociotécnica nos processos de tomada de decisão. São sistemas de trabalho em que os membros adquirem conhecimentos e evoluem com espaço para decisão que tende a aumentar de acordo com o aumento da capacidade do grupo na solução dos problemas, possuindo funções de manutenção e controle.

- **Treinamentos de Resposta à Emergência**

Segundo Electric Power Research Institute (1999 apud GRECCO, 2012), os treinamentos de resposta à emergência oferecidos aos trabalhadores fazem parte de uma organização preparada para enfrentar problemas de segurança. Uma organização deve “estar à frente” dos problemas de desempenho humano, ou seja, estar preparada para responder.

Estes treinamentos permitem que os trabalhadores adquiram conhecimento e habilidades necessárias para a realização de seu trabalho de forma segura, capacitando-os na identificação de riscos e de suas consequências, para que possam aplicar medidas efetivas, promovendo ações de controle. Segundo a NR-18, no item 18.28, nas empresas de construção civil, todos os empregados devem receber treinamentos admissional e periódico, visando garantir a execução de suas atividades com segurança. O treinamento admissional deve constar informações sobre as condições e meio ambiente de trabalho, riscos inerentes a sua função, uso adequado de EPI e informações sobre os Equipamentos de Proteção Coletiva – EPC, existentes no canteiro de obra.

- **Trabalho em Equipe**

Segundo Slack, Jones e Johnston (2018), a equipe de produção deve entender os princípios subjacentes que regem o funcionamento da produção e dos processos e ter uma compreensão completa dos objetivos, conceitos, ferramentas e técnicas de gerenciamento de operações.

A organização do trabalho baseado em equipe, está bastante ligada ao conceito de *empowerment* que significa dar aos funcionários a autoridade de mudar a forma de fazer o trabalho, assim como a forma que é desempenhado. Isso ocorre quando funcionários com habilidades normalmente justapostas desempenham coletivamente uma tarefa especificada e possuem alto grau de decisão sobre como de fato desempenhar a tarefa. Essa autonomia faz com que os próprios funcionários possam encontrar as melhores soluções para os problemas referentes ao seu setor de trabalho. Os grupos são descritos como equipes quando as virtudes do trabalho em conjunto estão sendo enfatizadas, e considera um conjunto compartilhado de objetivos e responsabilidades. A equipe controla as ações sobre alocação de tarefas entre seus membros, a programação do trabalho, a medição e melhoria da qualidade e, às vezes, a contratação de funcionários.

Segundo Machado e Desideri (2017), o trabalho em equipe, também chamado de grupos semi-autônomos, implica na redução de níveis hierárquicos e favorece a participação e a comunicação entre os funcionários, aumentando assim o grau de cooperação entre os grupos, a participação, axiliando processos de tomada de decisão.

As equipes de trabalho presentes no chão de fábrica podem ser divididas em: i) Equipes de resolução de problemas ou grupos enriquecidos não coincidentes com a equipe de trabalho e definidos e coordenados pelo staff, trabalhando com melhorias da área; ii) Equipes de resolução de problemas ou grupos enriquecidos coincidentes com a equipe de trabalho e coordenados pelo líder de equipe, trabalhando com melhorias da área/subárea; iii) Equipes autogerenciáveis ou grupos semiautônomos, coincidentes com a equipe de trabalho; e iv) Equipes interfuncionais (*cross-functional teams*) do tipo força-tarefa, contendo pessoas de diversos níveis hierárquicos dos diversos departamentos da produção, mas também de outras funções da empresa, como engenharia, marketing, e assistência técnica, abordando problemas de maior porte e que envolvem várias áreas da empresa (COHEN e BAILEY, 1997; MARX, 2010; SLACK; CHAMBERS e JOHNSTON, 2002 apud SILVA e CORDEIRO, 2010).

PREVENÇÃO DE RISCOS

- Equipamentos de Proteção Individual (EPIs)**

Segundo a NR-6, considera-se Equipamento de Proteção Individual – EPI, todo dispositivo ou produto, de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e saúde no trabalho.

A empresa é obrigada a fornecer aos empregados, gratuitamente, EPI adequado ao risco, em perfeito estado de conservação e funcionamento. Cabe ao empregador exigir seu uso; orientar e treinar o trabalhador sobre o uso adequado, guarda e conservação; substituir imediatamente, quando danificado ou extraviado; responsabilizar-se pela higienização e manutenção periódica; dentre outras.

- **Produção Sustentável**

Esse indicador envolve quatro dimensões: ambiental, econômica, social e institucional, e visa verificar a capacidade da empresa de operar sem afetar negativamente o entorno com o qual convive. Para Almeida *et al.* (2008), a produção sustentável significa atender as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de gerações futuras, para isto, os impactos ambientais e prejuízos decorrentes dos processos de produção e consumo precisam ser minimizados ou eliminados.

Implementar ações sustentáveis envolve tanto medidas como redução de custos de produção (dos produtos e serviços) até a diminuição de resíduos lançados no meio ambiente. Segundo Almeida *et al.* (2008), o lucro de um negócio pode ser maior a partir da economia gerada com a eliminação de desperdícios. Além disso, o negócio deve estar inserido de forma equilibrada no ecossistema, deve utilizar racionalmente os recursos naturais existentes e disponíveis, tem que ser independente de tecnologias de produção importadas e de monopólios de fornecimento, e pode ser mantido ao longo do tempo sem escassez de insumos e matérias-primas.

Almeida *et al.* (2008) também afirma, para que uma organização rume em direção à sustentabilidade ela deve:

- ✓ assumir um compromisso no âmbito de sua rede de relações (responsabilidade social corporativa);
- ✓ produzir produtos de melhor qualidade, com menor poluição e menor uso dos recursos naturais (ecoeficiência);
- ✓ analisar o ciclo de vida dos produtos, bem como os impactos ambientais resultantes das atividades de produção em toda a cadeia produtiva;
- ✓ formar parcerias empresariais tendo como objetivo a formação de complexos industriais sistêmicos, onde os resíduos sejam transformados em novos recursos;
- ✓ aderir aos sistemas de gestão certificáveis;
- ✓ aplicar continuamente estratégias ambientais aos processos e produtos, com o intuito de reduzir riscos ao meio ambiente e ao ser humano;
- ✓ desenvolver relatórios de sustentabilidade corporativa, otimizando o desempenho da empresa e facilitando o acesso ao capital (governança corporativa) (ALMEIDA *et al.*, 2008).

- **Incidência de Acidentes no Local de Trabalho**

Indica o nível de segurança no trabalho e a eficácia das medidas preventivas adotadas pela empresa.

Segundo o Decreto n.º 83.080 (1979 apud ALMEIDA, 2008):

“Art. 221. Acidente do trabalho é aquele que ocorre pelo exercício do trabalhador a serviço da empresa, provocando lesão corporal ou perturbação funcional que cause a morte, ou a perda ou redução, permanente ou temporária, da capacidade para o trabalho”.

Caldeira (2017), considera acidente de trabalho os “decorrentes das características da atividade profissional desempenhada” (acidentes de trabalho típicos) e os “ocorridos no percurso entre a residência e o local de trabalho e vice-versa” (acidentes de trabalho de trajeto). Esses acidentes de trabalho, na maioria das vezes, acontecem por culpa das empresas que não cumprem as normas de segurança e não agem preventivamente.

“Os acidentes provocam perdas econômicas e sociais, afetam a produtividade coletiva e individual e retardam o avanço dos padrões de vida (ALMEIDA *et al.*, 2008)”.

O número de acidentes diminui se a empresa identificar as potenciais situações de risco; investir em medidas de segurança; e adotar programas de prevenção, desenvolvendo maneiras de eliminar a ocorrência desses eventos imprevistos e potencialmente danosos.

“A informação é transmitida pelo departamento pessoal e deve ser apurada semanalmente/mensalmente, quanto menor o valor, melhor (CALDEIRA, 2017)”.

- **Identificação de Risco**

“Riscos incluem todos os aspectos de perdas accidentais que podem levar a desperdícios de ativos da organização, da sociedade e do meio ambiente. Esses ativos constituem pessoal, materiais, maquinário, produtos, recursos financeiros naturais (ALMEIDA *et al.*, 2008)”.

Segundo Slack, Jones e Johnston (2018), toda produção enfrentará risco e, ocasionalmente, terá falhas. A identificação destes riscos pelos gestores é fundamental para que possam ser evitadas falhas nos processos de produção ou situações que possam comprometer a segurança dos funcionários envolvidos na produção.

O sistema de gestão da saúde e segurança do trabalho deve ser orientado para a gestão dos riscos, devendo assegurar a identificação de perigos, a avaliação de riscos e o controle do riscos (ALMEIDA *et al.*, 2008)”.

- **Identificação de Medidas de Segurança**

Segundo Almeida *et al.* (2008), implantar e certificar um sistema de gestão de segurança e saúde ocupacional tem se configurado como questão estratégica para as organizações, o qual proporciona um conjunto de ferramentas que potenciam a melhoria da eficiência da gestão de riscos, relacionados com todas as atividades da organização. O gerenciamento da segurança e saúde ocupacional dos trabalhadores é componente imprescindível e complementar para se assegurar a qualidade total, com processos produtivos seguros e competitivos.

O engenheiro de produção no planejamento ou na gestão dos sistemas produtivos necessita dos conhecimentos da Higiene e Segurança do Trabalho, e muitas vezes responderá pela gestão da engenharia de segurança do trabalho na empresa.

Toda organização deve estabelecer medidas de segurança relacionadas à atividade do trabalhador, que auxiliem na prevenção de acidentes e eliminação de riscos que ameaçam a integridade física dos colaboradores.

- **Percepção e Entendimento dos Erros**

A percepção e o entendimento dos erros evitam possíveis falhas ou acidentes que podem ocorrer no processo produtivo.

Alguns erros são inevitáveis, ou seja, são cometidos conscientemente por parte do funcionário para cumprir com o objetivo ou exigências do processo produtivo. Exemplo: Entregar um relatório incompleto, para se cumprir com o prazo determinado. Outros erros, são considerados violações inaceitáveis, ou seja, aqueles erros cometidos por imprudência, falta de atenção ou intenciosamente por parte do funcionário.

Cabe aos gestores e funcionários da produção identificar estes erros no momento em que ocorrem para que possam ser aplicadas medidas corretivas, evitando assim perdas maiores ou até irreversíveis.

AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

- **Produtos com Inconformidades**

Este indicador identifica a percentagem de produtos com defeitos detectados após o processo de produção. Pretende avaliar a qualidade da produção final da empresa. A informação é transmitida pela direção da produção e de qualidade, e deve ser apurada semanalmente/mensalmente, quanto menor o valor, melhor (CALDEIRA, 2017).

- **Normatização e Certificação**

A necessidade das organizações assumirem compromissos por meio de certificação, seja por melhoria de desempenho da imagem, de vantagem competitiva, para transpor barreiras não tarifárias ou por pressão de clientes, tem sido considerada como processo irreversível (ALMEIDA *et al.*, 2008).

A organização deve assegurar que o produto adquirido confere com os requisitos especificados de aquisição. O tipo e extensão do controle aplicado ao fornecedor e ao produto adquirido devem depender do efeito do produto adquirido na realização subsequente do produto ou no produto final.

- **Confiabilidade e Competência dos Funcionários**

Este indicador mede o nível de competência dos funcionários na realização das tarefas, suas experiências operacionais e habilidades. Um funcionário competente transmite maior confiança no serviço.

- **Satisfação dos Colaboradores com os Resultados dos Projetos**

Este indicador pretende identificar o grau de satisfação dos colaboradores dos projetos. Entende-se por colaboradores todos os trabalhadores comprometidos com os objetivos da empresa, seja na execução de suas tarefas, bem como na busca de informações, auxílio, resolução de problemas, enfim, buscam alternativas para que possam fazer parte e colaborar na empresa. A informação é transmitida pela área de

projetos e deve ser apurada após o encerramento do projeto, quanto maior o valor, melhor (adaptado de CALDEIRA, 2017).

- **Motivação e Satisfação dos Funcionários**

A motivação está ligada à intensidade do esforço que um indivíduo faz para atingir um objetivo. Segundo Heckhausen e Heckhausen (2008, apud FRANCISCHINI e FRANCISCHINI, 2017), existem dois aspectos de motivação – a motivação intrínseca e a motivação extrínseca.

A motivação intrínseca é gerada a partir de necessidades e disposição da personalidade de um indivíduo, o que determina o grau de importância de um objetivo para ele, e o valor das consequências de uma ação. É vista como força de impulso que leva um indivíduo a procurar uma tensão interna.

A motivação extrínseca é o efeito sobre um indivíduo de eventos originados no ambiente que o circunda, para que ele se move em determinada direção em busca de obter recompensas ou evitar punições. A motivação como força de atração (para algo considerado como um bem) e repulsa (de algo considerado como um mal) leva em consideração as preferências individuais, dado que diferentes pessoas consideram diferentes objetivos como mais ou menos desejáveis.

- **Satisfação dos Clientes**

“Índices de satisfação do cliente são comumente aplicados para medir as divergências entre o serviço esperado e o serviço fornecido (FRANCISCHINI e FRANCISCHINI, 2017)”.

O nível de satisfação dos clientes relativos aos produtos e serviços de uma empresa sempre foi um dos indicadores mais desejados pelos gestores. É claramente um resultado que mede a qualidade do trabalho desenvolvido pela empresa. Através da análise do grau de satisfação e insatisfação, é possível explicar o nível de adesão dos clientes aos produtos/serviços da empresa, identificando os fatores que contribuem para o sucesso/insucesso deste indicador. Geralmente, este indicador é determinado através de inquéritos efetuados aos clientes que compraram um produto/serviço à empresa. A informação é transmitida pela área de direção de Marketing e deve ser apurada mensalmente/trimestralmente, quanto maior o valor, melhor (CALDEIRA, 2017).

3.2 Determinação do Padrão de Desempenho da Produção

Nesta etapa do método procura-se obter de especialistas do domínio organizacional, o grau de importância de cada indicador de cada princípio, de forma que o domínio apresente um padrão ideal de desempenho da produção. Isso significa dizer que o grau de importância atribuído a cada indicador pelo especialista, deve retratar como o domínio organizacional deveria ser.

A determinação do padrão de desempenho da produção é dividida em sete etapas que estão representadas na Figura 27 e descritas a seguir.

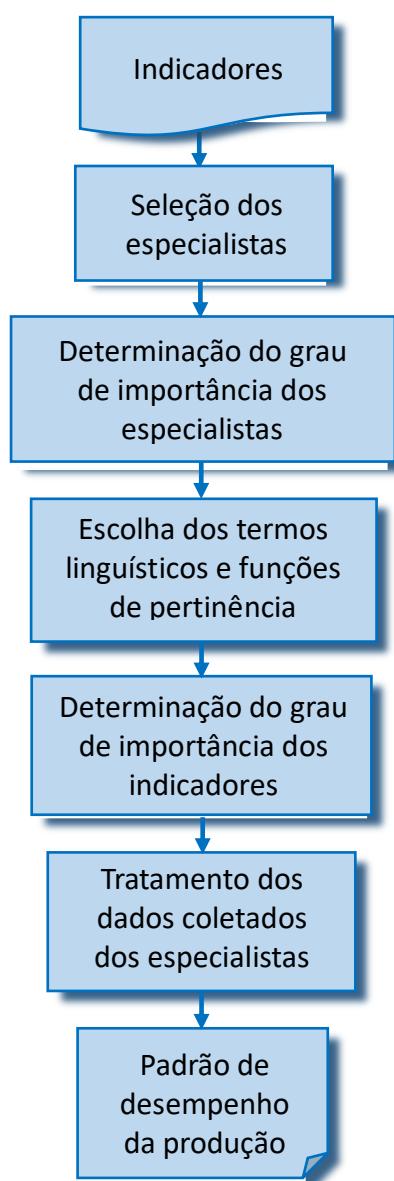


Figura 27: Etapas da segunda parte do método

- **ETAPA 1: Definição dos indicadores**

Esta etapa foi apresentada na Seção 3.1. Esses indicadores serão as variáveis linguísticas do método.

- **ETAPA 2: Seleção dos especialistas**

A teoria dos conjuntos *fuzzy* permite representar o conhecimento elicitado por meio de funções de pertinências. Um modelo *fuzzy* construído com a ajuda de especialistas aumenta sua precisão à medida que aumenta a quantidade de especialistas reconhecidos pelos seus conhecimentos, experiência e trabalhos na área de interesse (ISHIKAWA *et al.*, 1993).

Segundo Grecco (2012), a seleção dos especialistas é um fator crítico, pois a confiabilidade e qualidade dos resultados dependem da qualidade dos especialistas.

É de grande importância selecionar com acuidade os avaliadores, conduzir com destreza todo o processo de aquisição das opiniões dos especialistas, seja individualmente ou em reuniões próprias para a tomada de decisão (BELCHIOR, 1997).

A seleção dos especialistas envolve pessoas com conhecimento e experiência que estão ou já estiveram envolvidas na área de interesse da pesquisa. Estas pessoas contribuirão para o processo de avaliação dos indicadores.

- **ETAPA 3: Determinação do grau de importância dos especialistas**

“Um bom método de agregação de opiniões de vários especialistas deve considerar o grau de importância de cada especialista no procedimento de agregação (HSU e CHEN, 1996)”.

De acordo com Hsu e Chen (1996), em alguns casos, a importância dos especialistas é muito diferente, ou seja, uns são mais importantes do que outros, como o presidente ou gerente executivo de uma empresa, e alguns especialistas são mais experientes do que outros. Portanto deve-se considerar o peso de importância de cada especialista.

Para isto foi elaborado um questionário adaptado de Grecco (2012) e Belchior (1997) que tem como objetivo coletar informações dos especialistas, relacionadas a experiência profissional e acadêmica, e conhecimentos relacionados à produção e indicadores de desempenho. Estes dados servirão como base para identificar o grau de importância destes especialistas para a pesquisa. Cada questionário contém informações de um único especialista. Os respectivos graus de importância são definidos como um subconjunto $\mu_i(k) \in [0,1]$.

O grau de importância de cada especialista, GIE_i , que é seu grau de importância relativo em comparação aos outros especialistas, é definido por:

$$GIE_i = \frac{tQ_i}{\sum_{i=1}^n tQ_i} \quad (3.1)$$

Onde:

tQ_i = total de pontos do questionário para o especialista i .

- **ETAPA 4: Escolha dos termos linguísticos e das funções de pertinência para avaliação dos indicadores de desempenho da produção**

Cada indicador de desempenho da produção pode ser visto como uma variável linguística, que segundo a teoria *fuzzy*, está relacionada a um conjunto de termos linguísticos associados a funções de pertinência.

Segundo Massad et al. (2008), os termos linguísticos são a forma mais importante, quando não a única forma de quantificar/qualificar os dados e informações e estão associados a valores numéricos.

Portanto, cada indicador será uma composição de termos linguísticos obtidos em um processo de avaliação feito por meio do julgamento de especialistas. Assim sendo, também serão números *fuzzy*.

Os termos linguísticos definidos foram:

- **Muito importante (MI):** para os indicadores que são considerados muito importantes, ou seja, que têm grande influência para o desempenho da produção.
- **Importante (I):** para os indicadores que são considerados importantes, ou seja, que têm influência para o desempenho da produção.
- **Pouco importante (PI):** para os indicadores que são considerados pouco importantes, ou seja, que têm pouca influência para o desempenho da produção.
- **Não é importante (NI):** para os indicadores que não são considerados importantes, ou seja, que não têm influência para o desempenho da produção.

Estes termos linguísticos serão representados por números *fuzzy* triangulares, que denotarão o grau de importância de cada indicador considerado.

Pedrycz (1994) afirma que entre as várias formas de número *fuzzy*, a forma triangular é a mais popular e tratam muito bem informações com alto grau de incerteza e de indefinição

A Figura 28 apresenta as variáveis linguísticas, os termos linguísticos e os gráficos das suas funções de pertinência.

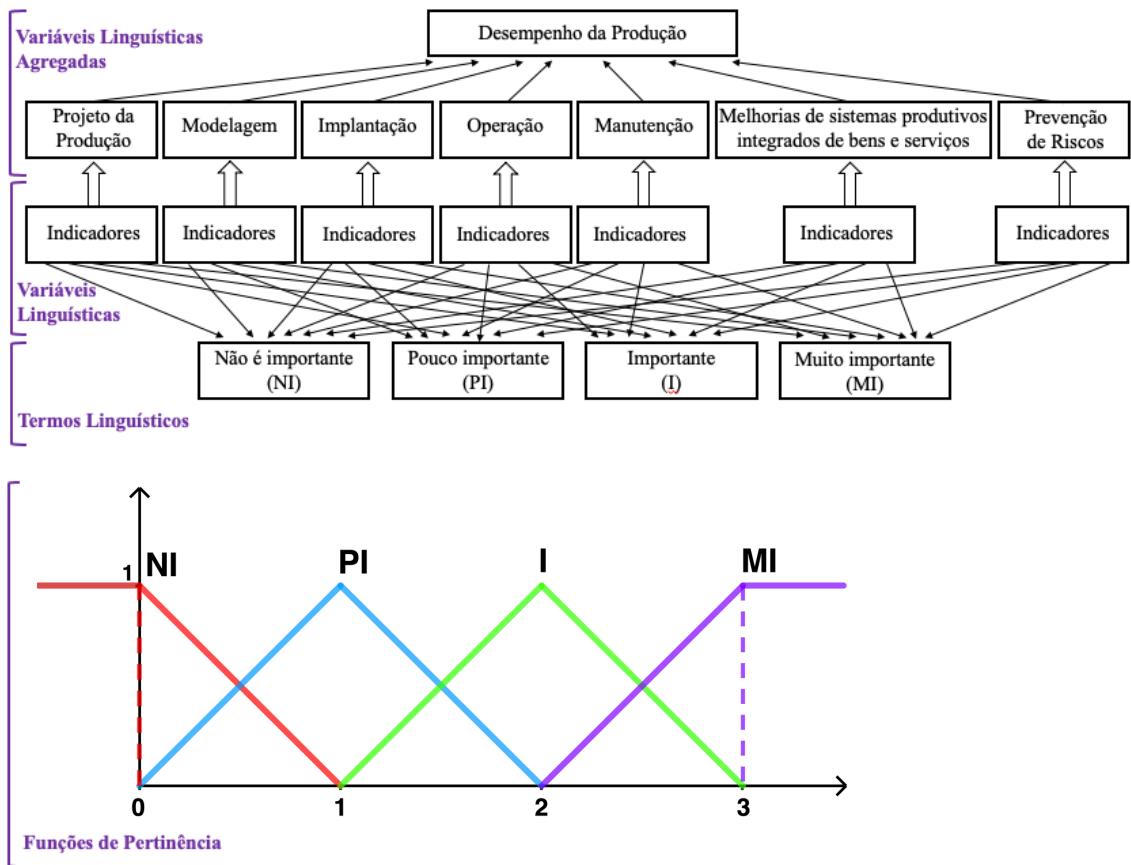


Figura 28: Variáveis linguísticas, termos linguísticos e gráficos das funções de pertinência
Fonte: GRECCO (2012)

A Tabela 9 apresenta os números *fuzzy* triangulares para os termos linguísticos

Tabela 9 - Números *fuzzy* para os termos linguísticos

Grau de importância	Simbologia	Termo linguístico	Número <i>fuzzy</i> triangular
0,00	NI	Não é importante	$N_1 = (0,00; 0,00; 1,00)$
1,00	PI	Pouco importante	$N_2 = (0,00; 1,00; 2,00)$
2,00	I	Importante	$N_3 = (1,00; 2,00; 3,00)$
3,00	MI	Muito importante	$N_4 = (2,00; 3,00; 3,00)$

Fonte: GRECCO (2012)

O conjunto de termos linguísticos possui as seguintes funções de pertinência adaptadas de Lee (1996 apud GRECCO, 2012):

$$N_1 = (0,0; 0,0; 1,0) \quad \mu_{N_1}(x) = \begin{cases} 1-x, & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & 1 \leq x \leq n \end{cases}$$

$$N_2 = (k-2; k-1; k) \quad \mu_{N_2}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq k-2 \\ x-(k-2), & k-2 \leq x \leq k-1 \\ k-x, & k-1 \leq x \leq k \\ 0, & k \leq x \leq n \end{cases}$$

$$N_n = (n-2; n-1; n-1) \quad \mu_{N_n}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq n-2 \\ x-(n-2), & n-2 \leq x \leq n-1 \end{cases}$$

- ETAPA 5: Determinação do grau de importância de cada indicador de desempenho da produção**

A determinação do grau de importância de cada indicador de desempenho da produção de cada princípio da engenharia de produção é obtido por meio do julgamento dos especialistas, que irão avaliar por meio do uso do conjunto de termos linguísticos, caracterizados pelos números *fuzzy* triangulares mostrados na Tabela 9.

É importante comunicar a cada especialista que esta avaliação será utilizada em um trabalho de pesquisa de mestrado que servirá como base para o estabelecimento de um padrão e não como uma avaliação de conhecimentos. Portanto, a qualidade da pesquisa depende do nível de transparência das opiniões fornecidas pelos especialistas.

- ETAPA 6: Tratamento dos dados coletados dos especialistas na avaliação de cada indicador de desempenho da produção**

Para o tratamento dos dados coletados dos especialistas, foi utilizado o método de agregação de similaridades proposto por Hsu e Chen (1996), no qual é feita uma combinação dos julgamentos individuais dos especialistas. Este método envolve seis etapas que estão descritas a seguir.

- **ETAPA 6.1: Cálculo do grau de concordância entre opiniões**

O cálculo do grau de concordância (GC) é feito combinando-se os julgamentos dos especialistas E_i e E_j , por meio da razão entre a área de interseção (AI) entre eles e a área de união (AU), de suas funções de pertinência. Quanto maior o grau de sobreposição, maior o grau de concordância.

$$GC_{ij} = \frac{AI}{AU} = \frac{\int_x (\min \{\mu_{Ni}(x), \mu_{Nj}(x)\}) dx}{\int_x (\max \{\mu_{Ni}(x), \mu_{Nj}(x)\}) dx} \quad (3.2)$$

As Tabelas 10 e 11 mostram, respectivamente, os valores das áreas de interseção e de união das opiniões *fuzzy*.

Os gráficos 16 e 17 mostram, respectivamente, a representação da área de interseção e de união de duas opiniões *fuzzy* (I e MI).

Tabela 10 - Valores das áreas de interseção das opiniões *fuzzy*

Opinião	NI	PI	I	MI
NI	0,5	0,25	0	0
PI	0,25	1	0,25	0
I	0	0,25	1	0,25
MI	0	0	0,25	0,5

Fonte: GRECCO (2012)

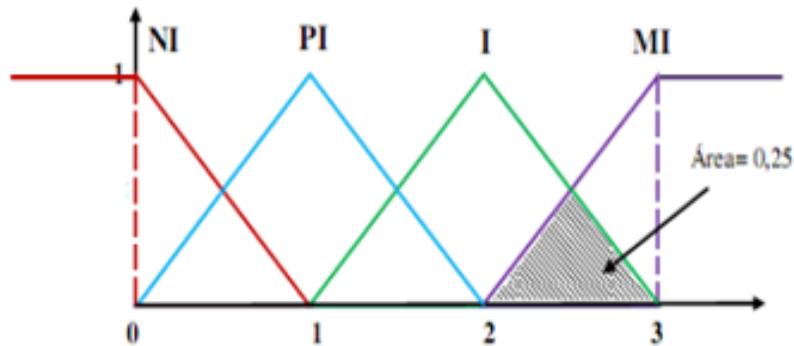


Gráfico 16: Área de interseção de duas opiniões *fuzzy* (I e MI)
Fonte: GRECCO (2012)

Tabela 11 - Valores das áreas de união das opiniões *fuzzy*

Opinião	NI	PI	I	MI
NI	0,5	1,25	1,5	1
PI	1,25	1	1,75	1,5
I	1,5	1,75	1	1,25
MI	1	1,5	1,25	0,5

Fonte: GRECCO (2012)

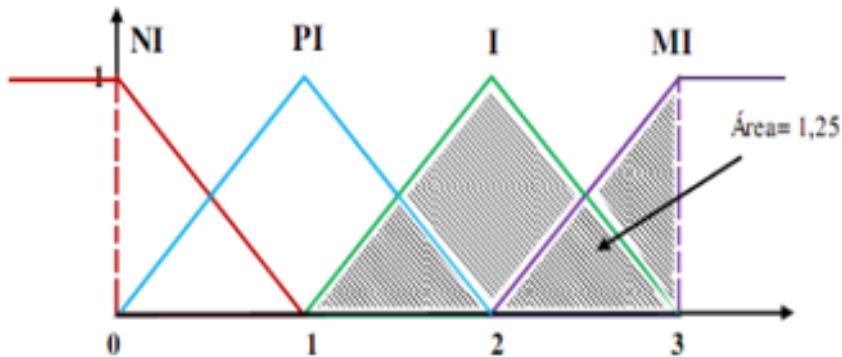


Gráfico 17: Área de união de duas opiniões *fuzzy* (I e MI)

Fonte: GRECCO (2012)

- **ETAPA 6.2: Construção da matriz de concordância**

Calculados todos os graus de concordância entre cada par de especialistas E_i e E_j , estes dados são colocados em uma matriz de concordância (MC), onde $GC_{ij} = (N_i, N_j)$, se $i \neq j$ e $GC_{ii} = 1$, se $i = j$.

$$MC = \begin{bmatrix} 1 & GC_{12} & \cdots & GC_{1j} & \cdots & GC_{1n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ GC_{i1} & GC_{i2} & \cdots & GC_{ij} & \cdots & GC_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ GC_{n1} & GC_{n2} & \cdots & GC_{nj} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

Segundo Hsu e Chen (1996), se dois especialistas têm estimativas consistentes, ou seja, opiniões semelhantes, o grau de concordância entre eles é um. Se as estimativas forem completamente diferentes, ou seja, as opiniões forem opostas, o grau de concordância é zero.

Sendo assim, se $GC_{ij} = 0$, significa dizer que não houve interseção entre a opinião do i -ésimo e o j -ésimo especialista. Quando tal condição surgir, os dois especialistas devem retomar a discussão ou obter novas informações e ajustar as suas opiniões para se chegar a uma interseção entre eles. Depois de obtidas novas informações, se persistir algum grau de concordância nulo de um dado especialista, estes valores na matriz terão grau de importância zero no resultado final do processo de agregação, ou seja, reduzirão o grau de importância desse especialista no julgamento final do indicador avaliado e será automaticamente desprezado pelo método.

- **ETAPA 6.3: Cálculo da concordância relativa**

O cálculo da concordância relativa de cada especialista CR_i é obtido pela média quadrática do grau de concordância entre eles, utilizando os dados da matriz de concordância (MC):

$$CR_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{j=1}^n (GC_{ij})^2} \quad (3.3)$$

- **ETAPA 6.4: Cálculo do grau de concordância relativa**

O cálculo do grau de concordância relativa de um especialista (GCR_k) em relação aos outros especialistas é obtido pela média ponderada da concordância relativa de cada especialista (CR_i):

$$GCR_k = \frac{CR_k}{\sum_{i=1}^n CR_i} \quad (3.4)$$

- **ETAPA 6.5: Cálculo do coeficiente de consenso dos especialistas**

O coeficiente de consenso de cada especialista (CCE_k), segundo Hsu e Chen (1996), é uma boa medida para avaliar o valor das estimativas de cada especialista. O cálculo é obtido utilizando os valores do grau de concordância relativa (GCR_k) e do grau de importância do especialista (GIE_k):

$$CCE_k = \frac{GCR_k \cdot GIE_k}{\sum_{i=1}^n (GCR_i \cdot GIE_i)} \quad (3.5)$$

- **ETAPA 6.6: Determinação do valor *fuzzy* de cada indicador de desempenho da produção**

O resultado da avaliação dos indicadores de desempenho da produção determinará o valor *fuzzy* de cada indicador relativo aos princípios da engenharia de produção que será dado por N , que também é um número *fuzzy* triangular.

$$N = \sum_{i=1}^n (CCE_i \cdot n_i) \quad (3.6)$$

Onde n_i é o número *fuzzy* triangular relativo aos termos linguísticos (NI, PI, I, MI) utilizados pelos especialistas na avaliação dos indicadores.

- **EATAPA 7: Estabelecimento do padrão de desempenho da produção**

Para estabelecer o padrão de desempenho da produção, ou seja, uma base de referência para a avaliação do desempenho da produção de um domínio organizacional, calcula-se o grau de importância de cada indicador que compõe cada princípio da engenharia de produção.

O grau de importância de cada indicador (GII_i) de cada princípio da engenharia de produção é obtido pela normalização dos valores *crisp* desses indicadores, conforme

equação abaixo. Para isto, deve-se determinar o valor de b_i de seu número *fuzzy* triangular, $N(a_i, b_i, c_i)$, correspondente. Este valor de b_i corresponde ao valor com grau de pertinência igual a 1. Este é o valor *crisp* do indicador.

$$GII_i = \frac{b_i}{\text{maior valor de } b} \quad (3.7)$$

Podemos observar na Tabela 12, um exemplo de estabelecimento de padrão para o princípio “Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços”. Este exemplo considera que o número *fuzzy* calculado na etapa anterior para o indicador “Inconformidades detectadas na aceitação dos materiais” possui o maior valor de b .

Tabela 12 - Exemplo de um estabelecimento de padrão para o princípio “Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços”

Melhorias de Sistemas Produtivos Integrados de Bens e Serviços	Número fuzzy			b_i	GII
	a	b	c		
1.1 Desperdício da Matéria-prima	a_1	b_1	c_1	b_1	b_1/b_2
1.2 Inconformidades Detectadas na Aceitação dos Materiais	a_2	b_2	c_2	b_2	1
1.3 Turnover (Rotatividade)	a_3	b_3	c_3	b_3	b_3/b_2
1.4 Taxa de Absenteísmo	a_4	b_4	c_4	b_4	b_4/b_2
1.5 Avaliação e Apoio à Tomada de Decisão	a_5	b_5	c_5	b_5	b_5/b_2
1.6 Treinamentos de Reposta à Emergência	a_6	b_6	c_6	b_6	b_6/b_2
1.7 Trabalho em Equipe	a_7	b_7	c_7	b_7	b_7/b_2

3.3 Avaliação do Desempenho da Produção

Para a avaliação do desempenho da produção, as pessoas da organização avaliada irão julgar o atendimento de cada indicador de cada princípio da engenharia de produção, considerando as condições em que o domínio organizacional se encontra durante o cenário da covid-19. Os resultados deste julgamento serão confrontados com o padrão (base de referência) já estabelecido e servirão para medir percentualmente o quanto o domínio avaliado atinge o padrão ideal estabelecido.

A terceira parte do método *fuzzy* é dividida em quatro etapas que estão representadas na Figura 29 e descritas a seguir.



Figura 29: Etapas da terceira parte do método

- **ETAPA 1: Escolha dos termos linguísticos e funções de pertinência**

Nesta etapa foram escolhidos como termos linguísticos: discordo totalmente (DT); discordo parcialmente (DP); não concordo, nem discordo (NCND); concordo parcialmente (CP) e concordo totalmente (CT).

Estes termos linguísticos são representados por números *fuzzy* triangulares, denotando assim o grau de atendimento de cada indicador considerado.

O Gráfico 18 e a Tabela 13 mostram os termos linguísticos representados por números *fuzzy* com suas funções de pertinência adaptadas de Lee (1996).

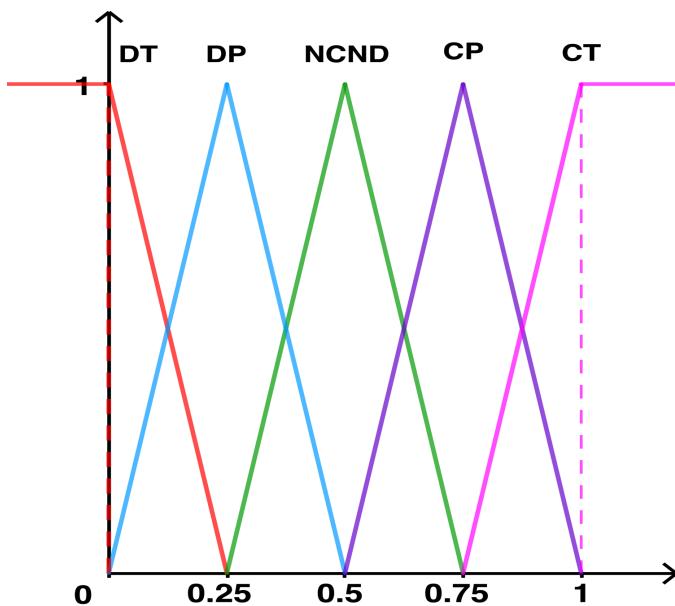


Gráfico 18: Funções de pertinência dos números *fuzzy* para os termos linguísticos na avaliação dos graus de atendimento dos indicadores

Tabela 13 - Números fuzzy para os termos linguísticos na avaliação dos graus de atendimentos dos indicadores

Grau de atendimento	Simbologia	Termo linguístico	Número <i>fuzzy</i> triangular
0,00	DT	Discordo totalmente	$N_1 = (0,00; 0,00; 0,25)$
0,25	DP	Discordo parcialmente	$N_2 = (0,00; 0,25; 0,50)$
0,50	NCND	Não concordo, nem discordo	$N_3 = (0,25; 0,50; 0,75)$
0,75	CP	Corcordo parcialmente	$N_4 = (0,50; 0,75; 1,00)$
1,00	CT	Concordo totalmente	$N_5 = (0,75; 1,00; 1,00)$

- **ETAPA 2: Julgamento dos indicadores no domínio organizacional**

Nesta etapa, as pessoas da organização irão julgar os indicadores utilizando os termos linguísticos (métricas subjetivas) definidos na etapa anterior. O resultado desse julgamento será o grau de concordância do atendimento de cada um dos indicadores relacionados aos princípios da engenharia de produção, avaliando os impactos da covid-19 no setor de produção da organização.

- **ETAPA 3: Tratamento dos dados coletados**

Cada termo linguístico será representado por um número *fuzzy* que será convertido em um formato numérico (grau de atendimento) que corresponde ao valor com grau de pertinência igual a 1.

- **ETAPA 4: *Defuzzificação***

O objetivo desta etapa é obter um valor numérico discreto que melhor representa os valores *fuzzy* inferidos da variável linguística de saída, ou seja, obter um grau de atendimento aos princípios da engenharia de produção do padrão de desempenho da produção, que significa um índice de desempenho da produção do domínio considerado.

Utilizando o método do centro de área (centróide) é calculado, para cada avaliação, o grau de atendimento do domínio organizacional aos princípios da engenharia de produção do padrão de desempenho da produção. Este método é representado pela seguinte equação:

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^k GII_j \cdot a_j}{\sum_{j=1}^k GII_j} \quad (3.8)$$

Onde:

A_i = grau de atendimento do domínio ao princípio i do padrão de desempenho da produção;

a_j = grau de atendimento do indicador j do princípio i no domínio organizacional;

GII_j = grau de importância do indicador j do princípio i , calculado por meio da equação acima.

Desta forma, poderemos avaliar o quanto o domínio organizacional atinge, percentualmente, ao padrão estabelecido. Esta avaliação permite monitorar e controlar o desempenho da produção ao estimar em que estágio de evolução estão os indicadores de cada princípio que influenciam no desempenho da produção.

CAPÍTULO 4: APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta a empresa onde foi realizado o estudo de caso para aplicação do método de avaliação proposto nesta dissertação. Os dados foram obtidos através de documentos, site da empresa e entrevista com o engenheiro de produção civil.

A pesquisa foi realizada no canteiro de obras de uma empresa de construção civil situada no Rio de Janeiro, onde foi analisado o desempenho da produção de uma obra de recuperação e reforço estrutural.

4.1 Empresa de Engenharia Civil

A empresa é responsável pelos serviços de Retrofit, recuperação, reforço estrutural, novas construções e restauração de patrimônio, atuando em território nacional nos segmentos de educação, saúde, hotelaria, corporativo, patrimônio cultural, entre outros.

A empresa atua no mercado com mais de 30 anos de experiência, participando efetivamente da implementação de projetos para agilizar a tomada de decisão e prover soluções rápidas e alternativas aos desafios. Desta forma, garante aos seus clientes a melhor obra, no menor prazo e a preços competitivos.

A Empresa tem agregado um desenvolvimento organizacional sólido e consistente, fortalecendo aspectos como planejamento, estratégia e gestão, e está comprometida com as melhores práticas de governança corporativa, com foco na inovação e na promoção do melhor desempenho em suas áreas de negócios.

A formação dentro da companhia é complementada pela contratação de um grupo seletivo de novos gestores. Do diálogo entre esses novos profissionais e as lideranças formadas internamente e com mais experiência na cultura organizacional, tem surgido uma empresa mais capacitada para valorizar competências e seu capital intelectual, transformando-os em produtos e serviços diferenciados para o mercado, ou seja, em um grande diferencial competitivo.

O aperfeiçoamento contínuo da sua equipe tornou-se prioridade para a empresa, que subsidia aos seus profissionais, cursos, participações em seminários e congressos voltados para suas áreas de atuação.

O amplo conjunto de ações forneceu estímulo, competência e suporte necessários para o bom desempenho da empresa nos últimos anos, permitindo a conclusão de mais um ciclo de crescimento.

4.1 Recuperação e Reforço Estrutural

O serviço de recuperação tem como objetivo realizar a manutenção de uma estrutura que apresenta a necessidade de intervenções, proporcionando um aumento da sua vida útil. Já o reforço estrutural tem como objetivo aumentar a capacidade da estrutura em receber um acréscimo de cargas, garantindo a segurança operacional na sua utilização. Como exemplos podemos citar, um acréscimo de pavimentos em uma casa ou edifício, necessidade de colocar equipamentos com pesos elevados em uma estrutura, dentre outros.

A empresa vem executando esse tipo de serviço utilizando técnicas de aumento de seções de pilares, vigas e lajes, com incorporação de armaduras, utilização de concreto de alta resistência, perfis e chapas metálicas soldadas e chumbadas na estrutura existente, aplicação de tecidos e laminados de fibra de carbono.

Devido a empresa possuir profissionais qualificados, equipamentos especializados e parcerias com fabricantes e fornecedores, consegue executar este tipo de serviço em um curto prazo com preços competitivos.

4.2 Estrutura e Implantação da Obra

O estudo realizado em uma das obras da empresa com prestação de serviço de Recuperação e Reforço Estrutural apresenta as seguintes etapas:

- retirada de revestimentos de concretos desagregados,
- recuperação da corrosão das amaduras,
- adições de armaduras de reforço,
- recomposição das peças estruturais com concreto de alta resistência.

Toda superfície de concreto que apresente baixa resistência mecânica é devidamente retirada nas operações de corte com ferramentas manuais ou pneumáticas, de maneira a formar a base ideal que permita a perfeita aderência entre o concreto velho e o novo de recomposição.

Em seguida, são feitos os tratamentos contra corrosão nas armaduras com lixamentos e aplicação de produtos anticorrosivos e adição de armaduras para reforço, dependendo da necessidade do projeto.

Finalizando o processo de recuperação estrutural, são aplicados concretos de alta resistência através de enchimento de formas ou jateamento direto nos pontos de recuperação, a fim de reconstituir as peças estruturais.

Nesses serviços operam serventes, carpinteiros, armadores, pedreiros e mestre de obra, supervisionados pela equipe de engenharia.

Desde o início da pandemia da covid-19, as obras ficaram prejudicadas devido aos fatores já citados no Capítulo 2. Os problemas mais comuns observados na obra avaliada que impactaram o setor de produção foram:

- Atraso dos materiais convencionais como madeira, cimento, areia, aço, dentre outros; e dos materiais específicos de recuperação e reforço estrutural, tais como, graute (concreto de alta resistência), argamassas tixotrópicas, adesivo estrutural a base de resina epóxi, chumbadores químicos, inibidores de corrosão, entre outros. Estes materiais específicos apresentam um impacto maior, pois o mercado fornecedor é reduzido;
- Aumento exacerbado do custo dos insumos;
- Redução do número de funcionários impactando no prazo de entrega da obra;
- Limitação do espaço no canteiro de obras devido ao distanciamento;
- Aumento do consumo de materiais de limpeza e EPI's, tais como máscaras, luvas, álcool gel;
- Investimentos em cursos e palestras de conscientização.

Diante deste cenário, a empresa teve que buscar novas adaptações na produção de suas obras, tais como:

- Protocolo de ações para manutenção da saúde e segurança no ambiente de trabalho, de acordo com procedimentos e normas do Ministério da Saúde e Segurança do Trabalho;
- Realizar pedidos de materiais com antecedência evitando assim atrasos na produção e consequentemente nos prazos de entrega da obra;
- Devido ao desequilíbrio econômico dos contratos houve a necessidade de renegociação dos valores contratuais de cada obra, incluindo os custos extras relacionados a pandemia.

CAPÍTULO 5: APLICAÇÃO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO

No capítulo anterior foi apresentado o estudo de caso feito em uma obra de recuperação e reforço estrutural de uma empresa de construção civil para a aplicação do método de avaliação. Neste capítulo é descrita a experiência completa de utilização do método no canteiro de obras.

5.1 Indicadores de Desempenho da Produção para o Canteiro de Obras

Conforme destacado no Capítulo 3, na Seção 3.1, a estrutura de indicadores e a avaliação do desempenho da produção apresentadas nas Tabelas 7 e 8, verificadas junto ao engenheiro de produção civil, são adequadas para a avaliação do desempenho do setor de produção na construção civil. Entretanto, alguns conceitos/palavras das avaliações dos indicadores foram adaptados ou acrescentados, de acordo com o contexto de trabalho no canteiro de obras.

A estrutura de indicadores de desempenho da produção no canteiro de obras e a avaliação de cada indicador para avaliação do desempenho da produção no canteiro de obras são apresentadas respectivamente nas Tabelas 14 e 15.

Tabela 14 - Indicadores de desempenho da produção no canteiro de obras

Princípios	Indicadores de Desempenho da Produção
Projeto da Produção	1.1 Arranjo Físico 1.2 Cobertura de Estoque 1.3 Recursos Humanos (pessoas em produção) 1.4 Execução Física do Projeto 1.5 Alterações às Definições dos Projetos 1.6 Planejamento da Produção (Serviço)
Modelagem	2.1 Eficiência (Produtividade) 2.2 Rentabilidade
Implantação	3.1 Relatos das Adaptações 3.2 Incorporação das Adaptações 3.3 Inovação 3.4 Investimento em Qualificação 3.5 Conscientização dos Funcionários
Operação	4.1 Tempo Médio entre o Pedido de Material e a Entrega 4.2 Capacidade (Recursos Humanos) 4.3 Capacidade Instalada Usada (Equipamentos/Maquinário) 4.4 Produção 4.5 Custo Total de Produção 4.6 Índice de Flexibilidade
Manutenção	5.1 Tempo de Paragem da Produção para Reparações 5.2 Quebras de Produção devido a Ocorrências Inesperadas 5.3 Custo de Manutenção por Unidade Produzida 5.4 Manutenção Preventiva Relativa à Manutenção Total
Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços	6.1 Desperdício da Matéria-prima 6.2 Inconformidades detectadas na Aceitação dos Materiais 6.3 Turnover (Rotatividade) 6.4 Taxa de Absenteísmo 6.5 Avaliação e Apoio à Tomada de Decisão 6.6 Treinamentos de Resposta à Emergência 6.7 Trabalho em Equipe
Prevenção de riscos	7.1 Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) 7.2 Produção Sustentável 7.3 Incidência de Acidentes no Local de Trabalho 7.4 Identificação de Risco 7.5 Identificação de Medidas de Segurança 7.6 Percepção e Entendimento dos Erros
Avaliação de resultados	8.1 Produtos com Inconformidades 8.2 Normatização e Certificação 8.3 Confiabilidade e Competência dos Funcionários 8.4 Satisfação dos Colaboradores com os Resultados dos Projetos 8.5 Motivação e Satisfação dos Funcionários 8.6 Satisfação dos Clientes

Tabela 15 - Avaliação dos indicadores de desempenho da produção no canteiro de obras

Princípios	Avaliação
Projeto da Produção	<p>1.1 As instalações de equipamentos e máquinas estão posicionadas de forma a auxiliar os funcionários na execução de suas tarefas, fazendo com que os materiais e informações fluam corretamente ao longo dos processos.</p> <p>1.2 Existe um controle de estoque, garantindo a disponibilidade e atualização dos materiais para abastecimento da produção, mantendo uma quantidade de segurança com o menor custo possível.</p> <p>1.3 A quantidade de funcionários é suficiente para garantir a execução segura das tarefas e atender a demanda, garantindo que a pressão temporal não comprometa a segurança das atividades, e os mesmos estão distribuídos adequadamente ao longo dos processos.</p> <p>1.4 Existe um acompanhamento físico do projeto pelos gestores de modo a corrigir possíveis atrasos na execução do projeto.</p> <p>1.5 As definições dos projetos elaboradas coincidem com a realidade na hora da execução dos serviços, evitando alterações durante o processo.</p> <p>1.6 Os gestores fazem um planejamento, discriminando as etapas de cada serviço conforme o cronograma estipulado no projeto e buscando promover a otimização para aumentar a rentabilidade do produto final.</p>
Modelagem	<p>2.1 Para a produção de um determinado serviço são utilizadas a menor quantidade possível de recursos de forma a reduzir custos.</p> <p>2.2 Os serviços são rentáveis para a empresa de forma que o lucro obtido com a entrega da obra supere os investimentos envolvidos na produção.</p>
Implantação	<p>3.1 Os gestores são comprometidos na identificação de problemas decorrentes de fatores negativos (internos ou externos) e as adaptações durante a execução das atividades são comunicadas (relatadas).</p> <p>3.2 Os gestores possuem competência para resolução de problemas decorrentes de fatores negativos e promovem adaptações a serem incorporadas aos procedimentos.</p> <p>3.3 A empresa investe em tecnologias (máquinas, equipamentos, dispositivos e softwares), promovendo agilidade dos processos, redução de recursos utilizados e aumento do desempenho da produção.</p> <p>3.4 A empresa investe na qualificação de seus funcionários para o desempenho de suas funções e para o controle de situações novas ou imprevistas e tomada de decisões.</p> <p>3.5 Os funcionários são orientados a seguir as normas de segurança no exercício de suas funções e inspecionados para o uso correto dos EPIs.</p>
Operação	<p>4.1 Os fornecedores são confiáveis e comprometidos com os prazos de entrega dos materiais, evitando assim atrasos no recebimento dos mesmos.</p> <p>4.2 Os funcionários trabalham de forma a produzir o máximo possível em um menor tempo possível.</p> <p>4.3 Os equipamentos/máquinas instalados são usados em plena capacidade de produção de forma a atender os serviços, evitando desperdícios e atrasos nas entregas.</p> <p>4.4 Os serviços produzidos são atendidos conforme o tempo estipulado, de forma a contribuir para um aumento da produção.</p> <p>4.5 O custo dos insumos (matéria-prima), maquinário e mão-de-obra mensurados no projeto atendem ao custo planejado de forma a ser rentável para a produção.</p> <p>4.6 A empresa apresenta capacidade de atender as mudanças sem comprometer a produção, relacionadas a: substituição de equipamentos e peças, habilidade de conduzir vários processos ao mesmo tempo, mudança do mix de produtos/serviços, variação do volume de produção, habilidade de mudar o fluxo de processo e produzir uma ampla variedade de produção.</p>

Manutenção	<p>5.1 Os equipamentos e máquinas não apresentam problemas relacionados a sua vida útil e os funcionários da empresa são treinados para o manuseio correto desses equipamentos, evitando interrupções dos serviços para reparações.</p> <p>5.2 As instalações são eficazes e auxiliam na produção, assim como os funcionários são comprometidos com os objetivos de seus serviços, de forma a reduzir ou eliminar ocorrências inesperadas, como quebras de energia e avarias, que podem comprometer a produção.</p> <p>5.3 Existe um equilíbrio entre os custos de manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos, de forma a evitar custos excessivos à produção.</p> <p>5.4 Existe um programa de manutenção preventiva das instalações e equipamentos para evitar problemas que possam comprometer a produção e também evitar situações emergenciais que necessitem de intervenções corretivas, gerando mais custos para a produção.</p>
Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços	<p>6.1 Durante a execução do serviço não ocorrem desperdícios de matérias-primas e são identificadas melhorias que previnem a reincidência das perdas no processo produtivo da empresa.</p> <p>6.2 Os materiais recebidos devem estar de acordo com o pedido de encomenda, sem danos e avarias de forma a não prejudicar ou atrasar a produção.</p> <p>6.3 A empresa deve evitar a rotatividade (taxa de demissões) de funcionários, incentivando os mesmos, promovendo líderes competentes que possam contribuir para o sucesso da organização.</p> <p>6.4 Os funcionários são comprometidos com suas tarefas, evitando atrasos e faltas.</p> <p>6.5 Os gestores estão envolvidos na avaliação dos indicadores de desempenho da produção e melhorias dos processos envolvidos na produção de forma a auxiliar nas tomadas de decisões aplicando medidas corretivas e preventivas.</p> <p>6.6 A empresa oferece frequentemente cursos de treinamentos de resposta à emergência, adequados às atividades dos trabalhadores, de forma a capacitar seus funcionários na solução de problemas emergentes, decorrentes de fatores internos ou externos que possam afetar a produção.</p> <p>6.7 Os funcionários são incentivados a trabalharem em equipe, existindo um bom relacionamento entre os grupos de trabalho.</p>
Prevenção de riscos	<p>7.1 Os equipamentos de segurança do trabalho são guardados em locais devidamente apropriados e rotineiramente testados.</p> <p>7.2 As atividades operacionais são realizadas respeitando o entorno, de forma a não agredir o meio ambiente e são implementadas ações sustentáveis envolvendo tanto medidas como redução de custos de produção até a diminuição de resíduos lançados no meio ambiente.</p> <p>7.3 Existem procedimentos para identificação de mecanismos de degradação da instalação, e monitoramento das condições de segurança de componentes críticos e são aplicadas medidas preventivas durante as tarefas e rotinas que podem afetar a segurança, evitando assim possíveis acidentes no local de trabalho.</p> <p>7.4 As tarefas e situações rotineiras que podem afetar a segurança são identificadas.</p> <p>7.5 Existem medidas proativas no local para identificar novos riscos e melhorar a segurança.</p> <p>7.6 As chefias e os funcionários conseguem distinguir claramente os erros inevitáveis das violações inaceitáveis e identificar as medidas corretivas a serem aplicadas.</p>
Avaliação de resultados	<p>8.1 A empresa se compromete com a qualidade de seus serviços de produção, recrutando funcionários competentes de forma a evitar possíveis inconformidades (defeitos) após a finalização dos serviços.</p> <p>8.2 A empresa possui uma certificação de qualidade e os materiais entregues são fiscalizados conforme os padrões de qualidade antes de serem utilizados, assim como os serviços.</p>

	<p>8.3 Os funcionários estão capacitados a realizar as tarefas, onde são reconhecidas suas experiências operacionais e habilidades, e transmitem confiança desde a execução dos processos envolvidos no projeto até a finalização do serviço.</p> <p>8.4 Os resultados obtidos após o encerramento do projeto compensam os investimentos realizados para a execução dos serviços na produção e geram satisfação dos colaboradores envolvidos.</p> <p>8.5 Os funcionários se sentem motivados durante a execução de suas tarefas e satisfeitos com os resultados após o cumprimento das mesmas.</p> <p>8.6 O serviço prestado é realizado e entregue conforme o solicitado pelo cliente, segundo os padrões de qualidade e prazos estipulados.</p>
--	---

5.2 Determinação do Padrão de Desempenho da Produção para o Canteiro de Obras

Nesta parte da aplicação do método, conforme descrito no Capítulo 3, são apresentadas as etapas realizadas para a determinação do padrão de desempenho da produção para o canteiro de obras.

- **ETAPA 1: Definição dos indicadores**

Estes indicadores apresentados na Seção 3.1 são as variáveis linguísticas do método.

- **ETAPA 2: Seleção dos especialistas**

Foram escolhidos 16 especialistas da área de engenharia, com conhecimentos e experiência em produção.

Especialista 1: Gestor de contratos/engenheiro civil, com experiência em obras de infraestrutura de grande porte, processos licitatórios, recuperação e reforço estrutural e obras públicas, tendo vivência na rotina gerencial de produção de obras, liderando equipes e aliando qualidade, prazo e segurança.

Especialista 2: Engenheiro civil sênior, gestor de grandes contratos em obras públicas de infraestrutura e comercial, com foco no resultado e qualidade dos empreendimentos.

Especialista 3: Gestora de projetos de engenharia submarina e liderança de equipe de engenheiros para tais projetos em empresa multinacional. Participação das etapas de proposta, aquisição, contratação, construção e finalização dos projetos de instalação submarina.

Especialista 4: Gestor de contratos de engenharia civil com experiência em grandes obras de infraestrutura, residencial e hospitalar. Coordenação de produção, buscando sempre redução de prazo e custo com foco em segurança.

Especialista 5: Gerente CIEX Distribuição, gestor do Centro de Inovação e Excelência em Distribuição Logística da BRF, liderando projetos de inovação e excelência operacional em todo o Brasil.

Especialista 6: Engenheiro civil atuando no setor de produção de unidades habitacionais em empresa de grande porte especializada em construções do Programa Casa Verde e Amarela, com experiência em obras de Infraestrutura de Portos e Aeroportos, tendo 10 anos de experiência e vivência na área liderando pessoas, conduzindo orçamentos e rotinas de planejamento/gestão de obras.

Especialista 7: Professor Titular de Instituição Federal de Ensino em cursos técnicos e de Engenharia de Produção, Mecânica, Elétrica e Eletrônica. Atuação como empresário em instalações industriais nas áreas de automação, fiscalização e desenvolvimento de projetos de engenharia. Gestor de núcleo de apoio tecnológico em projetos industriais, treinamento para projetistas da Petrobrás em tubulação, estrutura, equipamentos e cabeamento em 3D nas plataformas de petróleo.

Especialista 8: Professor de Instituição Federal de Ensino Superior e chefe de Departamento de Engenharia Civil. Atuou como empresário em projetos, fiscalização e execução de obras de pequeno, médio e grande porte em empresa de Construção Civil.

Especialista 9: Professora de Instituição Federal de Ensino Superior, chefe substituta do Curso Superior de Engenharia Civil, atuou em projetos, fiscalização e execução de obras de pequeno, médio e grande porte em empresa de Construção Civil.

Especialista 10: Professora (mestre) universitária/pesquisadora, engenheira de produção, com experiência em logística hospitalar, segurança do trabalho, empreendedorismo, processos de produção e de tomada de decisão tendo vivência na rotina de pesquisa científica, educação universitária de graduação em administração de

empresas, engenharia de produção e logística, e pós-graduação em gestão integrada da cadeia logística, em regime de ensino presencial, EAD e ensino remoto.

Especialista 11: Professor Titular de Instituição Federal de Ensino, pesquisador do Núcleo da Pesquisa em Planejamento e Gestão – NPPG/UFRJ, Presidente e atual Diretor do Conselho da Associação Brasileira dos Engenheiros Eletricistas, atuou como gerente de projetos na Internacional de Engenharia, foi conselheiro do CREA-RJ.

Especialista 12: Especialista de desenvolvimento de rede com experiência em gestão de contratos em engenharia elétrica, obras de infraestrutura de rede de distribuição em média e baixa tensão, processos de contratação de empresas parceiras, gestão de equipe multidisciplinar, grandes eventos esportivos, tendo vivência na rotina gerencial de produção de obras, gestão de indicadores de qualidade, foco em resultado, prazo e segurança.

Especialista 13: Engenheira de produção, especialista em gestão de processos, atuando há cinco anos em operações com foco em planejamento de demanda.

Especialista 14: Diretor com sólidos conhecimentos para atendimento às demandas logísticas e produtivas do mercado global.

Especialista 15: Gestor de projetos/engenheiro civil atuando no setor de produção, fiscalização e gerência na execução de serviços referentes à construção de obras de varejo, com experiência na elaboração de projetos estruturais e de recuperação, instalações prediais e arquitetônicas, elaboração de laudos técnicos de avaliação de desempenho e integridade de estruturais; tendo atuado também na construção de empreendimentos imobiliários, elaboração de mapas de concorrência para serviços de reforma, controle de qualidade e manutenção predial de edifícios públicos.

Especialista 16: Engenheira civil com experiência em obras residenciais de médio a grande porte, com vivência em gestão de contratos em obras, gestão de produção e processos de qualidade e segurança do trabalho.

Desta forma, definimos o conjunto de especialistas que avaliaram os indicadores de desempenho da produção como: $E = \{E_1, E_2, \dots, E_n\}$, onde $n = 16$.

- **ETAPA 3: Determinação do grau de importância dos especialistas**

Para esta etapa foi aplicado um questionário (Q), adaptado de Grecco (2012) e Belchior (1997) como instrumento de coleta de dados. Este questionário, apresentado no Apêndice 1, consiste em perguntas fechadas, com o propósito de diferenciar quantitativamente itens subjetivos.

O instrumento de coleta de dados é composto por 12 questões (q), cada qual com vários itens, elaboradas com o objetivo de obter um grau de importância de cada especialista, considerando os seus conhecimentos, produção científica, experiência e trabalho na área de produção. Estes graus de importância foram normalizados.

A Tabela 16 apresenta a apuração dos dados coletados dos especialistas. O total de pontos do questionário de cada especialista, tQi , é a soma dos graus de importância de cada questão (q) e o grau de importância de cada especialista, $GIEi$, foi calculado por meio da Equação 3.1.

Tabela 16 - Apuração dos dados coletados dos especialistas

<i>Ei</i>	<i>Q₁</i>	<i>Q₂</i>	<i>Q₃</i>	<i>Q₄</i>	<i>Q₅</i>	<i>Q₆</i>	<i>Q₇</i>	<i>Q₈</i>	<i>Q₉</i>	<i>Q₁₀</i>	<i>Q₁₁</i>	<i>Q₁₂</i>	<i>tQi</i>	<i>GIEi</i>
1	0,2	0,8	0	0,7	1	0,3	0,9	0,7	0,9	0,1	0,8	0,6	7,0	0,0559
2	0,6	0,8	0	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,6	9,1	0,0727
3	0,8	0,6	0,9	0,8	1	1	1	1	1	0,1	0,9	0,9	10,0	0,0795
4	0,2	0,8	0	0,8	1	0,3	1	0,7	0,9	0,1	0,8	0,5	7,1	0,0563
5	0,6	0,6	0	0,9	1	0	0	0,7	0,9	0	0	0,5	4,6	0,0366
6	0,6	0,8	0	0,6	0,5	0,3	0	0,5	0,6	0	0,5	0,2	4,6	0,0366
7	1	0,6	0,9	0,9	1	0,3	0,9	1	1	0,1	0,2	0,2	8,0	0,0639
8	1	0,8	1	0,9	1	0,7	1	1	1	0,4	1	1	10,8	0,0857
9	1	0,8	0,9	0,9	1	0,7	1	1	1	0,4	1	1	10,7	0,0849
10	0,8	1	1	0,9	1	1	1	0,9	1	0	0,8	1	10,4	0,0824
11	1	0,6	0,9	0,9	0,5	0,3	0,9	1	0,9	0	0,1	0,4	7,4	0,0591
12	0,2	0,6	0,5	0,8	1	0,7	1	0,7	0,9	0	0,4	0,9	7,7	0,0614
13	0,4	1	0,5	0,6	0	0	1	0,5	1	0,2	0,9	0,8	6,9	0,0545
14	0,8	1	0,9	1	1	0,7	0,9	0,7	0,9	0,2	0,8	0,9	9,8	0,0781
15	0,8	0,8	0	0,7	0	0	0	0,7	0,9	0,1	0,4	0,9	5,4	0,0426
16	0,6	0,8	0	0,6	0,9	0,3	0,5	0,7	0,9	0,1	0,4	0,4	6,2	0,0497
Total													125,7	1,0000

Sugere-se que a apuração dos dados coletados dos especialistas siga a escala de pesos apresentada no Apêndice I, e que o *escore total* de cada item (questão) seja normalizado, ou seja, deve ter seu valor no máximo igual a 1. Para as questões 10, 11 e 12, foi necessário normalizar o *escore total*. Os resultados da apuração de cada *item* estão apresentados na Tabela 17, e foram calculados pelo somatório de seus *subitens* (respostas) selecionados pelo especialista, E_i , que o avaliou, de acordo com escores previamente definidos para cada um desses *subitens*, que corresponde ao escore total. O escore final é calculado pela divisão do *escore total*, pelo valor máximo, que corresponde a soma de todos os *escores* atribuídos a cada subitem.

Tabela 17 - Apuração das questões 10, 11 e 12

Ei	Escore Total	Escore Final	Q₁₀	Escore Total	Escore Final	Q₁₁	Escore Total	Escore Final	Q₁₂
1	0,9	0,1385	0,1385	1,6	0,7619	0,7619	4,15	0,6288	0,6288
2	0,9	0,1385	0,1385	2,1	1	1	4	0,6061	0,6060
3	0,9	0,1385	0,1385	1,9	0,9048	0,9048	5,65	0,8561	0,8561
4	0,9	0,1385	0,1385	1,6	0,7619	0,7619	3,15	0,4773	0,4773
5	0	0	0	0	0	0	3,35	0,5076	0,5076
6	0	0	0	1,0	0,4762	0,4762	1,5	0,2273	0,2273
7	0,9	0,1385	0,1385	0,4	0,1905	0,1905	1	0,1515	0,1515
8	2,8	0,4231	0,4231	2,1	1	1	6,6	1	1
9	2,8	0,4231	0,4231	2,1	1	1	6,6	1	1
10	0	0	0	1,7	0,8095	0,8095	6,6	1	1
11	0	0	0	0,2	0,0952	0,0952	2,55	0,3864	0,3864
12	0	0	0	0,9	0,4286	0,4286	5,85	0,8864	0,8864
13	1,45	0,2231	0,2231	1,8	0,8571	0,8571	5,1	0,7727	0,7727
14	1,5	0,2308	0,2308	1,7	0,8095	0,8095	5,8	0,8788	0,8788
15	0,9	0,1385	0,1385	0,9	0,4286	0,4286	5,9	0,8939	0,8939
16	0,85	0,1308	0,1308	0,9	0,4286	0,4286	2,55	0,3864	0,3864

O Gráfico 19 apresenta os graus de importância dos especialistas.

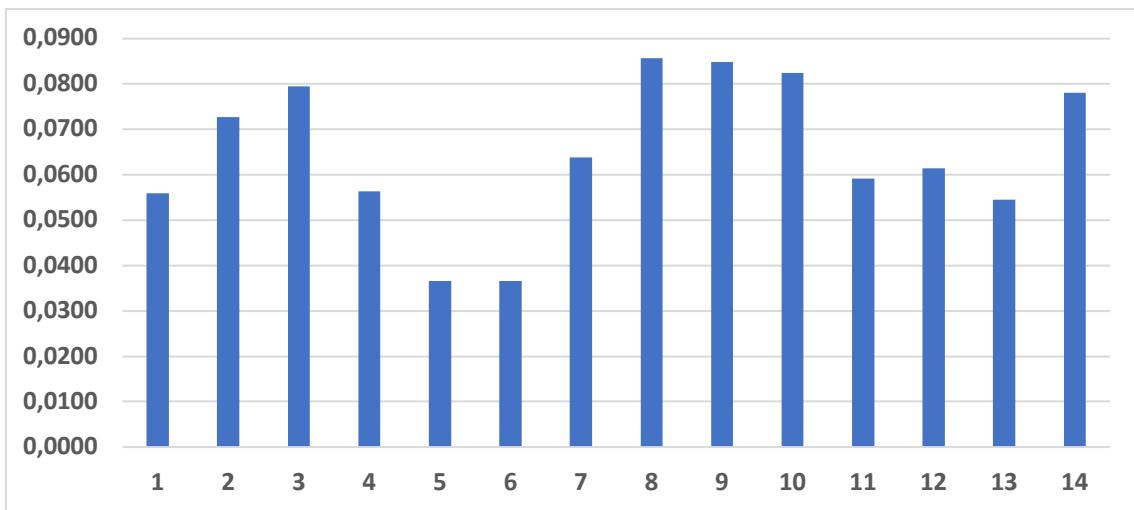


Gráfico 19: Graus de importância dos especialistas

Conforme podemos observar na Tabela 16 e no Gráfico 19, o especialista 8 é o que possui maior grau de importância (0,0857) e os especialistas 5 e 6 são os que possuem menor grau de importância (0,0366).

- **ETAPA 4: Escolha dos termos linguísticos e das funções de pertinência**

Nesta etapa foram utilizados os termos linguísticos e as funções de pertinências apresentadas na Figura 28 e na Tabela 9, no Capítulo 3.

- **ETAPA 5: Determinação do grau de importância de cada indicador de desempenho**

Para determinar o grau de importância dos indicadores de desempenho da produção para o canteiro de obras foi utilizada uma planilha (Apêndice 2). Esta planilha foi preenchida pelos especialistas, utilizando o conjunto de termos linguísticos, caracterizados pelos números *fuzzy* triangulares, mostrados na Tabela 9. Esta planilha foi comentada e explicada detalhadamente para cada especialista, a fim de evitar distorções e dúvidas no seu preenchimento.

- **ETAPA 6: Tratamento dos dados coletados dos especialistas na avaliação de cada indicador de desempenho**

Como exemplo, nesta etapa são apresentados os cálculos da avaliação do indicador “Inconformidades detectadas na aceitação dos materiais” do princípio “Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços”.

- **ETAPA 6.1: Cálculo do grau de concordância entre opiniões**

O cálculo do grau de concordância, GC_{ij} , entre os especialistas E_i e E_j , foi obtido por meio da Equação 3.2, ou seja, da razão entre a área de interseção das funções de pertinência correspondentes aos termos linguísticos (Tabela 19), utilizados no julgamento do indicador (opiniões), por esses especialistas (Tabela 18), e a área de união dessas mesmas funções de pertinência (Tabela 20).

Tabela 18 - Termos linguísticos usados pelos especialistas na avaliação do indicador "Inconformidades detectadas na aceitação de materiais" do princípio "Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços"

Especialista	Termos Linguísticos	Ñ	Área de Ñ
1	MI	2,0; 3,0; 3,0	0,50
2	I	1,0; 2,0; 3,0	1,00
3	MI	2,0; 3,0; 3,0	0,50
4	MI	2,0; 3,0; 3,0	0,50
5	I	1,0; 2,0; 3,0	1,00
6	MI	2,0; 3,0; 3,0	0,50
7	MI	2,0; 3,0; 3,0	0,50
8	MI	2,0; 3,0; 3,0	0,50
9	I	1,0; 2,0; 3,0	1,00
10	I	1,0; 2,0; 3,0	1,00
11	I	1,0; 2,0; 3,0	1,00
12	MI	2,0; 3,0; 3,0	0,50
13	MI	2,0; 3,0; 3,0	0,50
14	MI	2,0; 3,0; 3,0	0,50
15	MI	2,0; 3,0; 3,0	0,50
16	MI	2,0; 3,0; 3,0	0,50

Tabela 19 - Valores da área de interseção das opiniões dos especialistas na avaliação do indicador "Inconformidades detectadas na aceitação dos materiais" do princípio "Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços"

Opiniões	MI	I	MI	MI	I	MI	MI	MI	I	I	I	MI	MI	MI	MI	MI
MI	0,50	0,25	0,50	0,50	0,25	0,50	0,50	0,50	0,25	0,25	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
I	0,25	1,00	0,25	0,25	1,00	0,25	0,25	0,25	1,00	1,00	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
MI	0,50	0,25	0,50	0,50	0,25	0,50	0,50	0,50	0,25	0,25	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
MI	0,50	0,25	0,50	0,50	0,25	0,50	0,50	0,50	0,25	0,25	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
I	0,25	1,00	0,25	0,25	1,00	0,25	0,25	0,25	1,00	1,00	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
MI	0,50	0,25	0,50	0,50	0,25	0,50	0,50	0,50	0,25	0,25	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
MI	0,50	0,25	0,50	0,50	0,25	0,50	0,50	0,50	0,25	0,25	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
MI	0,50	0,25	0,50	0,50	0,25	0,50	0,50	0,50	0,25	0,25	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
I	0,25	1,00	0,25	0,25	1,00	0,25	0,25	0,25	1,00	1,00	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
I	0,25	1,00	0,25	0,25	1,00	0,25	0,25	0,25	1,00	1,00	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
I	0,25	1,00	0,25	0,25	1,00	0,25	0,25	0,25	1,00	1,00	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
MI	0,50	0,25	0,50	0,50	0,25	0,50	0,50	0,50	0,25	0,25	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
MI	0,50	0,25	0,50	0,50	0,25	0,50	0,50	0,50	0,25	0,25	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
MI	0,50	0,25	0,50	0,50	0,25	0,50	0,50	0,50	0,25	0,25	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
MI	0,50	0,25	0,50	0,50	0,25	0,50	0,50	0,50	0,25	0,25	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
MI	0,50	0,25	0,50	0,50	0,25	0,50	0,50	0,50	0,25	0,25	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

Tabela 20 - Valores da área de união das opiniões dos especialistas na avaliação do indicador "Inconformidades detectadas na aceitação dos materiais" do princípio "Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços"

- **ETAPA 6.2: Construção da matriz de concordância**

Calculados todos os graus de concordância, GC_{ij} , entre cada par de especialistas E_i e E_j , foi construída a matriz de concordância, MC, representada na Tabela 21.

Tabela 21 - Matriz de concordância entre os especialistas na avaliação do indicador "Inconformidades detectadas na aceitação dos materiais" do princípio "Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços"

E_i/E_j	E_1/E_j	E_2/E_j	E_3/E_j	E_4/E_j	E_5/E_j	E_6/E_j	E_7/E_j	E_8/E_j	E_9/E_j	E_{10}/E_j	E_{11}/E_j	E_{12}/E_j	E_{13}/E_j	E_{14}/E_j	E_{15}/E_j	E_{16}/E_j
E_1/E_1	1,00	0,20	1,00	1,00	0,20	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
E_1/E_2	0,20	1,00	0,20	0,20	1,00	0,20	0,20	0,20	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
E_1/E_3	1,00	0,20	1,00	1,00	0,20	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
E_1/E_4	1,00	0,20	1,00	1,00	0,20	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
E_1/E_5	0,20	1,00	0,20	0,20	1,00	0,20	0,20	0,20	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
E_1/E_6	1,00	0,20	1,00	1,00	0,20	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
E_1/E_7	1,00	0,20	1,00	1,00	0,20	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
E_1/E_8	1,00	0,20	1,00	1,00	0,20	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
E_1/E_9	0,20	1,00	0,20	0,20	1,00	0,20	0,20	0,20	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
E_1/E_{10}	0,20	1,00	0,20	0,20	1,00	0,20	0,20	0,20	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
E_1/E_{11}	0,20	1,00	0,20	0,20	1,00	0,20	0,20	0,20	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
E_1/E_{12}	1,00	0,20	1,00	1,00	0,20	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
E_1/E_{13}	1,00	0,20	1,00	1,00	0,20	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
E_1/E_{14}	1,00	0,20	1,00	1,00	0,20	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
E_1/E_{15}	1,00	0,20	1,00	1,00	0,20	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
E_1/E_{16}	1,00	0,20	1,00	1,00	0,20	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Neste exemplo, observou-se que todos os graus de concordância possuem valores não nulos, ou seja, isto significa que há concordância entre as opiniões de todos os especialistas na avaliação do indicador “Inconformidades detectadas na aceitação dos materiais” do princípio “Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços”.

Neste trabalho, decidiu-se não fazer ajustes nos valores de alguns indicadores que apresentaram $GC_{ij} = 0$, e utilizou-se as informações originais da pesquisa, uma vez que isto é possível no método. Esses valores poderão ser ajustados futuramente para otimização do atendimento ao padrão. Com este procedimento, os graus de concordância nulos, de um dado especialista, reduzirão a importância desse especialista no julgamento final do indicador avaliado.

- **ETAPA 6.3: Cálculo da concordância relativa**

Por meio dos dados obtidos da matriz de concordância, calculou-se a concordância relativa (CR_i) de cada especialista envolvido na avaliação pela Equação 3.3. Para o especialista 1, por exemplo, tem-se:

$$CR_1 = \sqrt{\frac{1}{16 - 1} \cdot (1^2 + 0,2^2 + 1^2 + 1^2 + 0,2^2 + 1^2 + \dots + 1^2)} = 0,8641$$

A Tabela 22 apresenta os valores da concordância relativa de cada especialista.

Tabela 22 - Valores da concordância relativa de cada especialista na avaliação do indicador
 "Inconformidades detectadas na aceitação dos materiais" do princípio
 "Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços"

Especialistas	CR_i
1	0,8641
2	0,6022
3	0,8641
4	0,8641
5	0,6022
6	0,8641
7	0,8641
8	0,8641
9	0,6022
10	0,6022
11	0,6022
12	0,8641
13	0,8641
14	0,8641
15	0,8641
16	0,8641
Total	12,5162

- **ETAPA 6.4: Cálculo do grau de concordância relativa**

O grau de concordância relativa (GCR_k), de cada especialista em relação aos demais, foi obtido pela Equação 3.4. Para o especialista 1, por exemplo, tem-se:

$$GCR_1 = \frac{0,8641}{12,5162} = 0,0690$$

A Tabela 23 apresenta os valores do grau de concordância relativa de cada especialista.

Tabela 23 - Valores do grau de concordância relativa de cada especialista na avaliação do indicador
"Inconformidades detectadas na aceitação dos materiais" do princípio
"Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços"

Especialistas	GCR_k
1	0,0690
2	0,0481
3	0,0690
4	0,0690
5	0,0481
6	0,0690
7	0,0690
8	0,0690
9	0,0481
10	0,0481
11	0,0481
12	0,0690
13	0,0690
14	0,0690
15	0,0690
16	0,0690

- **ETAPA 6.5: Cálculo do coeficiente de consenso dos especialistas**

O coeficiente de consenso de cada especialista (CCE_k), considerando tanto o grau de concordância relativa (GCR_k), quanto o grau de importância do especialista (GIE_k), foi obtido pela Equação 3.5. Para o especialista 1, por exemplo, tem-se:

$$CCE_1 = \frac{0,0690 \cdot 0,0559}{0,0620} = 0,0622$$

A Tabela 24 apresenta os valores do coeficiente de consenso de cada especialista.

Tabela 24 - Valores do coeficiente de consenso de cada especialista na avaliação do indicador
"Inconformidades detectadas na aceitação dos materiais" do princípio
"Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços"

Especialistas	CCE_k
1	0,0622
2	0,0564
3	0,0885
4	0,0627
5	0,0284
6	0,0407
7	0,0711
8	0,0954
9	0,0659
10	0,0639
11	0,0459
12	0,0684
13	0,0607
14	0,0870
15	0,0474
16	0,0553

- ETAPA 6.6: Determinação do valor *fuzzy* do indicador de desempenho “Inconformidades detectadas na aceitação dos materiais”

O resultado da avaliação do indicador “Inconformidades detectadas na aceitação dos materiais”, relativo ao princípio da engenharia de produção “Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços”, é dado por N , calculado pela Equação 3.6, que também é um número *fuzzy* triangular.

$$N = \{[0,0622 \cdot n_1] + [0,0564 \cdot n_2] + \dots + [0,0553 \cdot n_{16}]\}$$

$$N = \{[(0,0622 \cdot 2,00) + (0,0564 \cdot 1,00) \dots + (0,0553 \cdot 2,00)];$$

$$[(0,0622 \cdot 3,00) + (0,0564 \cdot 2,00) \dots + (0,0553 \cdot 3,00)];$$

$$[(0,0622 \cdot 3,00) + (0,0564 \cdot 3,00) \dots + (0,0553 \cdot 3,00)]\}$$

$$N = (1,74; 2,74; 3,00)$$

Este número *fuzzy* N é representado no Gráfico 20 (triângulo rosa).

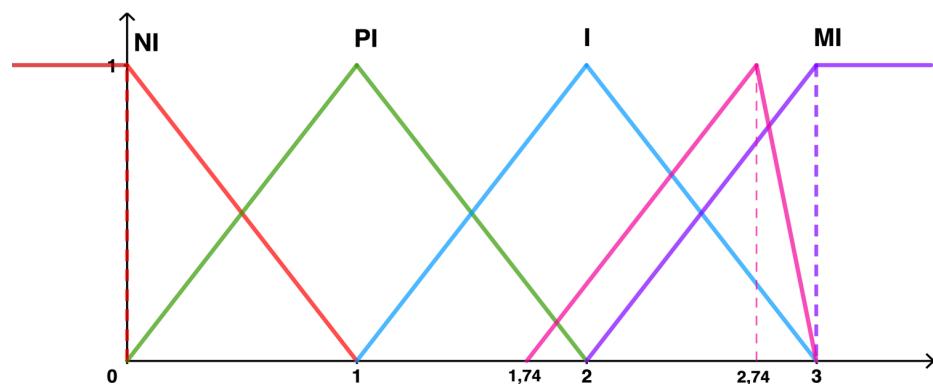


Gráfico 20: Função de pertinência do indicador "Inconformidades detectadas na aceitação dos materiais" do princípio "Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços"

A Tabela 25 apresentada na etapa 7, mostra o resultado da avaliação de todos os indicadores utilizados nesta aplicação.

- **ETAPA 7: Estabelecimento do padrão de desempenho da produção para o canteiro de obras**

O padrão de desempenho da produção para o canteiro de obras foi obtido por meio do cálculo do grau de importância de cada indicador que compõe cada princípio da engenharia de produção. O grau de importância de cada indicador (GII_i) é calculado pela normalização dos valores *crisp* desses indicadores, utilizando a Equação 3.7.

A Tabela 25 mostra a avaliação dos indicadores de cada princípio da engenharia de produção para o canteiro de obras. Os valores do grau de importância de cada indicador (GII) formam um padrão de desempenho da produção (conjunto *fuzzy*) para o canteiro de obras. Desta forma, obtivemos uma base de referência para a avaliação do desempenho da produção desta organização.

Tabela 25 - Avaliação dos indicadores para o canteiro de obras

Indicadores	Número Fuzzy			GII
	a	b	c	
PROJETO DA PRODUÇÃO				
1.1 Arranjo Físico	1,41	2,41	3,00	0,8427
1.2 Cobertura de Estoque	1,72	2,72	3,00	0,9510
1.3 Recursos Humanos	1,49	2,49	3,00	0,8706
1.4 Execução Física do Projeto	1,86	2,86	3,00	1,0000
1.5 Alterações às Definições dos Projetos	1,51	2,51	3,00	0,8776
1.6 Planejamento do Serviço	1,86	2,86	2,98	1,0000
MODELAGEM				
2.1 Eficiência (Produtividade)	1,17	2,15	2,94	0,7624
2.2 Rentabilidade	1,82	2,82	2,99	1,0000
IMPLANTAÇÃO				
3.1 Relatos das Adaptações	1,72	2,72	3,00	1,0000
3.2 Incorporação das Adaptações	1,65	2,65	3,00	0,9743
3.3 Inovação	1,32	2,32	3,00	0,8529
3.4 Investimento em Qualificação	1,39	2,39	3,00	0,8787
3.5 Conscientização dos Funcionários	1,55	2,55	3,00	0,9375
OPERAÇÃO				
4.1 Tempo Médio entre o Pedido de Material e a Entrega	1,41	2,41	2,94	0,9129
4.2 Capacidade (Recursos Humanos)	1,08	2,08	2,97	0,7879
4.3 Capacidade Instalada Usada (Equipamentos/Maquinário)	1,37	2,37	3,00	0,8977
4.4 Produção	1,64	2,64	2,98	1,0000

4.5 Custo Total de Produção	1,54	2,54	3,00	0,9621
4.6 Índice de Flexibilidade	1,28	2,28	3,00	0,8636
MANUTENÇÃO				
5.1 Tempo de Paragem da Produção para Reparações	1,20	2,20	2,89	0,9129
5.2 Quebras de Produção devido a Ocorrências Inesperadas	1,26	2,26	3,00	0,9378
5.3 Custo de Manutenção por Unidade Produzida	1,10	2,10	2,98	0,8714
5.4 Manutenção Preventiva Relativa à Manutenção Total	1,41	2,41	2,98	1,0000
MELHORIAS DE SISTEMAS PRODUTIVOS INTEGRADOS DE BENS E SERVIÇOS				
6.1 Desperdício da Matéria-prima	1,43	2,43	2,98	0,8869
6.2 Inconformidades detectadas na Aceitação dos Materiais	1,74	2,74	3,00	1,0000
6.3 Turnover (Rotatividade)	1,06	2,06	2,73	0,7518
6.4 Taxa de Absenteísmo	1,49	2,49	3,00	0,9088
6.5 Avaliação e Apoio à Tomada de Decisão	1,68	2,68	3,00	0,9781
6.6 Treinamentos de Resposta à Emergência	1,26	2,26	2,98	0,8248
6.7 Trabalho em Equipe	1,23	2,21	2,82	0,8066
PREVENÇÃO DE RISCOS				
7.1 Equipamentos de Proteção Individual (EPIs)	1,40	2,40	2,94	0,9231
7.2 Produção Sustentável	1,30	2,30	3,00	0,8846
7.3 Incidência de Acidentes no Local de Trabalho	1,49	2,49	3,00	0,9577
7.4 Identificação de Risco	1,55	2,55	3,00	0,9808
7.5 Identificação de Medidas de Segurança	1,53	2,53	3,00	0,9731
7.6 Percepção e Entendimento dos Erros	1,60	2,60	3,00	1,0000
AVALIAÇÃO DE RESULTADOS				
8.1 Produtos com Inconformidades	1,49	2,49	3,00	0,8498
8.2 Normatização e Certificação	1,48	2,48	3,00	0,8464
8.3 Confiabilidade e Competência dos Funcionários	1,67	2,67	3,00	0,9113
8.4 Satisfação dos Colaboradores com os Resultados dos Projetos	1,69	2,69	2,98	0,9181
8.5 Motivação e Satisfação dos Funcionários	1,30	2,30	3,00	0,7850
8.6 Satisfação dos Clientes	1,93	2,93	3,00	1,0000

Com base nos dados da Tabela 25, observa-se que todos os indicadores estão entre o intervalo de I (importante) e MI (muito importante), segundo o conjunto de termos linguísticos. Isto enfatiza a importância de todos os indicadores estabelecidos para o canteiro de obras.

Os indicadores que apresentam números *fuzzy* da coluna “c” abaixo do valor 3,00 significam que obtiveram a avaliação de um até quatro especialistas como “PI (pouco importante)”. Entretanto, ainda permanecem no intervalo de I e MI, pois os valores de pertinência máxima (b) estão neste intervalo, segundo o conjunto de termos linguísticos

da Tabela 9 e apresentam interseção, conforme podemos observar no exemplo do indicador “Turnover (rotatividade), apresentado no Gráfico 21. Este indicador foi o que obteve o menor valor de “c” (2,73).

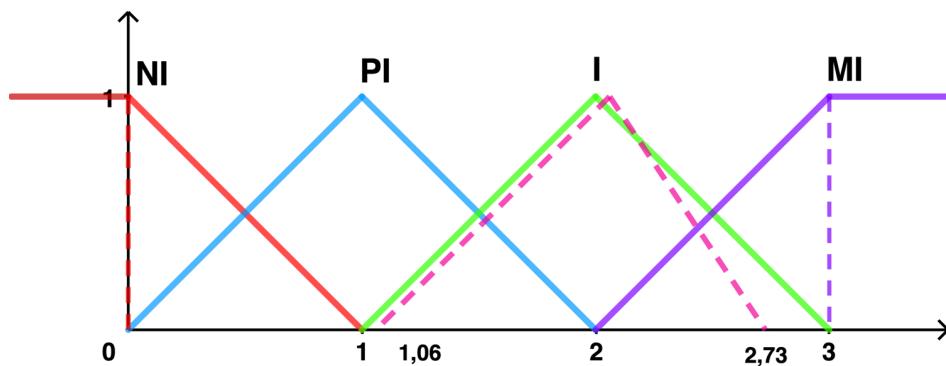


Gráfico 21: Número fuzzy do indicador "Turnover (rotatividade)" do princípio "Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços"

A Tabela 26 mostra os valores em ordem decrescente de grau de importância desses indicadores, ou seja, a hierarquização dos indicadores.

Tabela 26 - Valores em ordem decrescente de grau de importância dos indicadores para o canteiro de obras

Indicadores	GII
PROJETO DA PRODUÇÃO	
Execução Física do Projeto	1,0000
Planejamento do Serviço	1,0000
Cobertura de Estoque	0,9510
Alterações às Definições dos Projetos	0,8776
Recursos Humanos	0,8706
Arranjo Físico	0,8427
MODELAGEM	
Rentabilidade	1,0000
Eficiência (Produtividade)	0,7624
IMPLEMENTAÇÃO	
Relatos das Adaptações	1,0000
Incorporação das Adaptações	0,9743
Conscientização dos Funcionários	0,9375
Investimento em Qualificação	0,8787
Inovação	0,8529

OPERAÇÃO	
Produção	1,0000
Custo Total de Produção	0,9621
Tempo Médio entre o Pedido de Material e a Entrega	0,9129
Capacidade Instalada Usada (Equipamentos/Maquinário)	0,8977
Índice de Flexibilidade	0,8636
Capacidade (Recursos Humanos)	0,7879
MANUTENÇÃO	
Manutenção Preventiva Relativa à Manutenção Total	1,0000
Quebras de Produção devido a Ocorrências Inesperadas	0,9378
Tempo de Paragem da Produção para Reparações	0,9129
Custo de Manutenção por Unidade Produzida	0,8714
MELHORIAS DE SISTEMAS PRODUTIVOS	
INTEGRADOS DE BENS E SERVIÇOS	
Inconformidades detectadas na Aceitação dos Materiais	1,0000
Avaliação e Apoio à Tomada de Decisão	0,9781
Taxa de Absenteísmo	0,9088
Desperdício da Matéria-prima	0,8869
Treinamentos de Resposta à Emergência	0,8248
Trabalho em Equipe	0,8066
Turnover (Rotatividade)	0,7518
PREVENÇÃO DE RISCOS	
Percepção e Entendimento dos Erros	1,0000
Identificação de Risco	0,9808
Identificação de Medidas de Segurança	0,9731
Incidência de Acidentes no Local de Trabalho	0,9577
Equipamentos de Proteção Individual (EPIs)	0,9231
Produção Sustentável	0,8846
AVALIAÇÃO DE RESULTADOS	
Satisfação dos Clientes	1,0000
Satisfação dos Colaboradores com os Resultados dos Projetos	0,9181
Confiabilidade e Competência dos Funcionários	0,9113
Produtos com Inconformidades	0,8498
Normatização e Certificação	0,8464
Motivação e Satisfação dos Funcionários	0,7850

5.3 Avaliação do Desempenho da Produção no Canteiro de Obras

Nesta etapa da aplicação do método, os trabalhadores responsáveis pela produção da obra julgaram o conjunto de indicadores de cada princípio, considerando as condições

em que o setor de produção se encontra. Desta forma, espera-se que a organização seja capaz de avaliar os impactos da covid-19 no desempenho da produção, ou seja, no canteiro de obras durante o período de pandemia.

Os resultados deste julgamento foram confrontados com o padrão de desempenho da produção estabelecido na seção anterior, gerando graus (índices) de atendimento aos princípios da engenharia de produção, a fim de avaliar o desempenho da produção deste domínio organizacional. Esses índices medem o quanto a produção no canteiro de obras atinge percentualmente, o padrão ideal estabelecido, que tem índice igual a 1. As etapas da aplicação desta etapa do método são apresentadas a seguir.

- **ETAPA 1: Escolha dos termos linguísticos e funções de pertinência**

Para avaliar os graus (índices) de atendimento dos indicadores no canteiro de obras, foram utilizados os termos linguísticos e as funções de pertinências apresentadas na Gráfico 16 e na Tabela 13, no Capítulo 3.

- **ETAPA 2: Julgamento dos indicadores no canteiro de obras**

Nesta etapa foi utilizada uma planilha (Apêndice 3), elaborada com base nos indicadores de desempenho da produção, para registrar as percepções dos trabalhadores sobre o desempenho da produção no canteiro de obras, conforme o cenário da covid-19. Essas percepções, traduzidas nos termos linguísticos (métricas subjetivas), foram as avaliações dos indicadores, ou seja, o resultado foi o grau de concordância do atendimento de cada um dos indicadores no canteiro de obras (produção civil).

A avaliação (preenchimento da planilha) foi realizada por quatro trabalhadores (T_1 a T_4), dentre os quais podemos destacar, o gestor de obra, o mestre de obra, o engenheiro de qualidade e o engenheiro de produção civil (gerente de contratos), ou seja, funcionários de cargos superiores na produção das obras, que apresentam uma visão geral sobre a obra avaliada. O resultado desta avaliação é apresentado na Tabela 27.

Tabela 27 - Resultado da avaliação dos indicadores pelos trabalhadores

Indicadores	T₁	T₂	T₃	T₄
PROJETO DA PRODUÇÃO				
1.1 Arranjo Físico	CT	CT	CP	CT
1.2 Cobertura de Estoque	DP	CT	CP	CT
1.3 Recursos Humanos	CT	CT	CT	CP
1.4 Execução Física do Projeto	CT	CT	CT	CT
1.5 Alterações às Definições dos Projetos	DP	DP	CT	CP
1.6 Planejamento do Serviço	CT	CT	CT	CT
MODELAGEM				
2.1 Eficiência (Produtividade)	DP	DT	CT	CT
2.2 Rentabilidade	CT	DP	CT	CP
IMPLANTAÇÃO				
3.1 Relatos das Adaptações	CP	CT	CT	CT
3.2 Incorporação das Adaptações	CT	CT	CT	CT
3.3 Inovação	CT	DP	CT	CT
3.4 Investimento em Qualificação	CT	DP	CT	CT
3.5 Conscientização dos Funcionários	CT	CT	CT	CT
OPERAÇÃO				
4.1 Tempo Médio entre o Pedido de Material e a Entrega	DP	CT	CP	CP
4.2 Capacidade (Recursos Humanos)	CP	DP	CT	CP
4.3 Capacidade Instalada Usada (Equipamentos/Maquinário)	CT	CT	CT	CT
4.4 Produção	CT	CP	CT	CP
4.5 Custo Total de Produção	DP	CP	CP	CT
4.6 Índice de Flexibilidade	CT	CP	CT	CP
MANUTENÇÃO				
5.1 Tempo de Paragem da Produção para Reparações	CP	CP	CP	CT
5.2 Quebras de Produção devido a Ocorrências Inesperadas	CT	CT	CT	CT
5.3 Custo de Manutenção por Unidade Produzida	CT	NCND	CT	CP
5.4 Manutenção Preventiva Relativa à Manutenção Total	CT	NCND	CT	CT
MELHORIAS DE SISTEMAS PRODUTIVOS				
INTEGRADOS DE BENS E SERVIÇOS				
6.1 Desperdício da Matéria-prima	CT	CP	CP	CP
6.2 Inconformidades detectadas na Aceitação dos Materiais	CP	CP	CT	CT
6.3 Turnover (Rotatividade)	CT	CT	CT	CT
6.4 Taxa de Absenteísmo	CP	CT	CT	CT
6.5 Avaliação e Apoio à Tomada de Decisão	CT	CT	CT	CT
6.6 Treinamentos de Resposta à Emergência	CT	CP	CP	CT
6.7 Trabalho em Equipe	CT	CT	CT	CT
PREVENÇÃO DE RISCOS				
7.1 Equipamentos de Proteção Individual (EPIs)	CT	CT	CT	CT
7.2 Produção Sustentável	CT	CP	CP	CT

7.3 Incidência de Acidentes no Local de Trabalho	CT	CT	CT	CT
7.4 Identificação de Risco	CT	CT	CT	CP
7.5 Identificação de Medidas de Segurança	CT	CT	CT	CT
7.6 Percepção e Entendimento dos Erros	CT	CT	CT	CT
AVALIAÇÃO DE RESULTADOS				
8.1 Produtos com Inconformidades	CT	CP	CT	CT
8.2 Normatização e Certificação	CT	CT	CT	CT
8.3 Confiabilidade e Competência dos Funcionários	CT	CT	CT	CP
8.4 Satisfação dos Colaboradores com os Resultados dos Projetos	CT	CT	CT	CT
8.5 Motivação e Satisfação dos Funcionários	CT	CT	CT	CT
8.6 Satisfação dos Clientes	CT	CT	CT	CT

- **ETAPA 3: Tratamento dos dados coletados**

Cada termo linguístico utilizado nesta avaliação foi representado por um número *fuzzy triangular* (Gráfico 16) que foi convertido em um formato numérico, um grau de atendimento (Tabela 13), que corresponde ao valor com grau de pertinência igual a 1.

A Tabela 28 apresenta os graus de atendimento dos indicadores de acordo com a opinião dos trabalhadores do canteiro de obras.

Tabela 28 - Valores dos graus de atendimento dos indicadores
de acordo com a opinião dos trabalhadores

Indicadores	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
PROJETO DA PRODUÇÃO				
1.1 Arranjo Físico	1,00	1,00	0,75	1,00
1.2 Cobertura de Estoque	0,25	1,00	0,75	1,00
1.3 Recursos Humanos	1,00	1,00	1,00	0,75
1.4 Execução Física do Projeto	1,00	1,00	1,00	1,00
1.5 Alterações às Definições dos Projetos	0,25	0,25	1,00	0,75
1.6 Planejamento do Serviço	1,00	1,00	1,00	1,00
MODELAGEM				
2.1 Eficiência (Produtividade)	0,25	0,00	1,00	1,00
2.2 Rentabilidade	1,00	0,25	1,00	0,75
IMPLEMENTAÇÃO				
3.1 Relatos das Adaptações	0,75	1,00	1,00	1,00
3.2 Incorporação das Adaptações	1,00	1,00	1,00	1,00
3.3 Inovação	1,00	0,25	1,00	1,00

3.4 Investimento em Qualificação	1,00	0,25	1,00	1,00
3.5 Conscientização dos Funcionários	1,00	1,00	1,00	1,00
OPERAÇÃO				
4.1 Tempo Médio entre o Pedido de Material e a Entrega	0,25	1,00	0,75	0,75
4.2 Capacidade (Recursos Humanos)	0,75	0,25	1,00	0,75
4.3 Capacidade Instalada Usada (Equipamentos/Maquinário)	1,00	1,00	1,00	1,00
4.4 Produção	1,00	0,75	1,00	0,75
4.5 Custo Total de Produção	0,25	0,75	0,75	1,00
4.6 Índice de Flexibilidade	1,00	0,75	1,00	0,75
MANUTENÇÃO				
5.1 Tempo de Paragem da Produção para Reparações	0,75	0,75	0,75	1,00
5.2 Quebras de Produção devido a Ocorrências Inesperadas	1,00	1,00	1,00	1,00
5.3 Custo de Manutenção por Unidade Produzida	1,00	0,50	1,00	0,75
5.4 Manutenção Preventiva Relativa à Manutenção Total	1,00	0,50	1,00	1,00
MELHORIAS DE SISTEMAS PRODUTIVOS INTEGRADOS DE BENS E SERVIÇOS				
6.1 Desperdício da Matéria-prima	1,00	0,75	0,75	0,75
6.2 Inconformidades detectadas na Aceitação dos Materiais	0,75	0,75	1,00	1,00
6.3 Turnover (Rotatividade)	1,00	1,00	1,00	1,00
6.4 Taxa de Absenteísmo	0,75	1,00	1,00	1,00
6.5 Avaliação e Apoio à Tomada de Decisão	1,00	1,00	1,00	1,00
6.6 Treinamentos de Resposta à Emergência	1,00	0,75	0,75	1,00
6.7 Trabalho em Equipe	1,00	1,00	1,00	1,00
PREVENÇÃO DE RISCOS				
7.1 Equipamentos de Proteção Individual (EPIs)	1,00	1,00	1,00	1,00
7.2 Produção Sustentável	1,00	0,75	0,75	1,00
7.3 Incidência de Acidentes no Local de Trabalho	1,00	1,00	1,00	1,00
7.4 Identificação de Risco	1,00	1,00	1,00	0,75
7.5 Identificação de Medidas de Segurança	1,00	1,00	1,00	1,00
7.6 Percepção e Entendimento dos Erros	1,00	1,00	1,00	1,00
AVALIAÇÃO DE RESULTADOS				
8.1 Produtos com Inconformidades	1,00	0,75	1,00	1,00
8.2 Normatização e Certificação	1,00	1,00	1,00	1,00
8.3 Confiabilidade e Competência dos Funcionários	1,00	1,00	1,00	0,75
8.4 Satisfação dos Colaboradores com os Resultados dos Projetos	1,00	1,00	1,00	1,00
8.5 Motivação e Satisfação dos Funcionários	1,00	1,00	1,00	1,00
8.6 Satisfação dos Clientes	1,00	1,00	1,00	1,00

- **ETAPA 4: Defuzzificação**

O objetivo desta etapa é obter um grau de atendimento da produção no canteiro de obras, aos princípios da engenharia de produção, conforme o padrão de desempenho da produção.

Os quatro funcionários da empresa selecionados para a avaliação do desempenho da produção no canteiro de obras possuem um elevado nível de experiência profissional, e portanto, foram considerados com o mesmo grau de importância. Desta forma, utilizou-se a média *fuzzy* para agregar as opiniões individuais dos trabalhadores.

Segundo Delgado *et al.* (1993 apud GRECCO, 2012), a média *fuzzy* é um operador de agregação bastante utilizado para agregar opiniões *fuzzy* quando não se considera a importância de cada indivíduo. O valor da média *fuzzy* de opiniões individuais, representadas por números *fuzzy* triangulares (a , b , c) é também um número *fuzzy* triangular (a_m , b_m , c_m), dado por:

$$a_m = \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{n}, \quad b_m = \sum_{i=1}^n \frac{b_i}{n}, \quad c_m = \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{n}$$

A Tabela 29 apresenta os valores das médias *fuzzy* dos graus de atendimento dos indicadores (valores de b) de acordo com a opinião dos trabalhadores.

Tabela 29 - Valores das médias *fuzzy* dos graus de atendimento dos indicadores de acordo com a opinião dos trabalhadores

Indicadores	Médias <i>Fuzzy</i>
PROJETO DA PRODUÇÃO	
1.1 Arranjo Físico	0,9375
1.2 Cobertura de Estoque	0,7500
1.3 Recursos Humanos	0,9375
1.4 Execução Física do Projeto	1,0000
1.5 Alterações às Definições dos Projetos	0,5625
1.6 Planejamento do Serviço	1,0000
MODELAGEM	
2.1 Eficiência (Produtividade)	0,5625
2.2 Rentabilidade	0,7500

IMPLEMENTAÇÃO		
3.1 Relatos das Adaptações		0,9375
3.2 Incorporação das Adaptações		1,0000
3.3 Inovação		0,8125
3.4 Investimento em Qualificação		0,8125
3.5 Conscientização dos Funcionários		1,0000
OPERAÇÃO		
4.1 Tempo Médio entre o Pedido de Material e a Entrega		0,6875
4.2 Capacidade (Recursos Humanos)		0,6875
4.3 Capacidade Instalada Usada (Equipamentos/Maquinário)		1,0000
4.4 Produção		0,8750
4.5 Custo Total de Produção		0,6875
4.6 Índice de Flexibilidade		0,8750
MANUTENÇÃO		
5.1 Tempo de Paragem da Produção para Reparações		0,8125
5.2 Quebras de Produção devido a Ocorrências Inesperadas		1,0000
5.3 Custo de Manutenção por Unidade Produzida		0,8125
5.4 Manutenção Preventiva Relativa à Manutenção Total		0,8750
MELHORIAS DE SISTEMAS PRODUTIVOS INTEGRADOS DE BENS E SERVIÇOS		
6.1 Desperdício da Matéria-prima		0,8125
6.2 Inconformidades detectadas na Aceitação dos Materiais		0,8750
6.3 Turnover (Rotatividade)		1,0000
6.4 Taxa de Absenteísmo		0,9375
6.5 Avaliação e Apoio à Tomada de Decisão		1,0000
6.6 Treinamentos de Resposta à Emergência		0,8750
6.7 Trabalho em Equipe		1,0000
PREVENÇÃO DE RISCOS		
7.1 Equipamentos de Proteção Individual (EPIs)		1,0000
7.2 Produção Sustentável		0,8750
7.3 Incidência de Acidentes no Local de Trabalho		1,0000
7.4 Identificação de Risco		0,9375
7.5 Identificação de Medidas de Segurança		1,0000
7.6 Percepção e Entendimento dos Erros		1,0000
AVALIAÇÃO DE RESULTADOS		
8.1 Produtos com Inconformidades		0,9375
8.2 Normatização e Certificação		1,0000
8.3 Confiabilidade e Competência dos Funcionários		0,9375
8.4 Satisfação dos Colaboradores com os Resultados dos Projetos		1,0000
8.5 Motivação e Satisfação dos Funcionários		1,0000
8.6 Satisfação dos Clientes		1,0000

Considerando os valores apresentados na Tabela 29 e os valores do grau de importância dos indicadores (GII), calcularam-se por meio do método do centro de área (Equação 3.8), os valores dos graus de atendimento da produção no canteiro de obras aos princípios da engenharia de produção do padrão de desempenho da produção. Esses valores estão apresentados na Tabela 30.

Tabela 30 - Valores dos graus de atendimento da produção no canteiro de obras ao padrão de desempenho da produção

PROJETO DA PRODUÇÃO	0,8685
MODELAGEM	0,6689
IMPLEMENTAÇÃO	0,9166
OPERAÇÃO	0,8036
MANUTENÇÃO	0,8765
MELHORIAS DE SISTEMAS PRODUTIVOS INTEGRADOS DE BENS E SERVIÇOS	0,9267
PREVENÇÃO DE RISCOS	0,9271
AVALIAÇÃO DE RESULTADOS	0,9793

Para este trabalho, considera-se um corte- α robusto (*strong α –cut*) no valor de $\alpha = 0,75$. Este valor foi determinado com base no conjunto de termos linguísticos e funções de pertinência (Tabela 13 e Gráfico 18), utilizadas para avaliar os graus de atendimento dos indicadores de desempenho da produção no canteiro de obras. Isto significa que, os graus de atendimento cujos valores estão abaixo de 0,75, no intervalo de DT (discordo totalmente), DP (discordo parcialmente) e NCND (não concordo, nem discordo), são considerados insatisfatórios. E os graus de atendimento cujos valores estão acima de 0,75, no intervalo de CP (concordo parcialmente) e CT (concordo totalmente), são considerados satisfatórios, ou seja, resultam em um atendimento maior que 75% aos princípios da engenharia de produção do padrão de desempenho da produção no canteiro de obras.

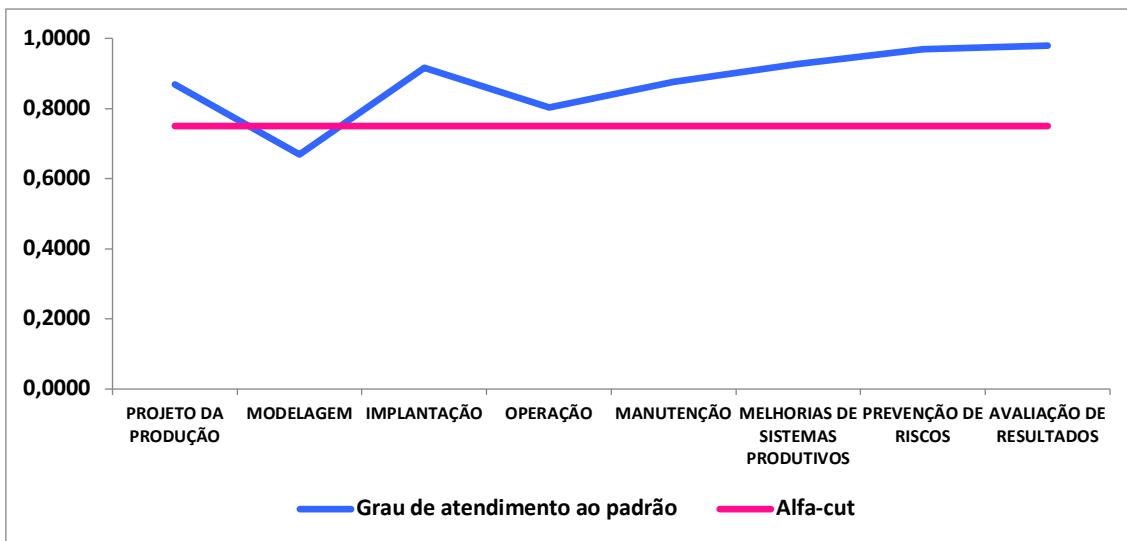


Gráfico 22: Graus de atendimento do canteiro de obras ao padrão de desempenho da produção

Desta forma, conforme o resultado do Gráfico 22, observa-se que apenas o princípio da engenharia de produção “Modelagem” está abaixo do valor considerado satisfatório para o atendimento ao padrão de desempenho da produção. Isso evidencia que o canteiro de obras da obra avaliada, apresenta problemas na produção relacionados aos indicadores deste princípio.

5.4 Análise dos resultados

Os resultados da avaliação do desempenho da produção no canteiro de obras apresentaram o nível de desempenho de cada indicador de cada princípio e quais não atenderam ao padrão de desempenho da produção.

O nível de desempenho da produção é inversamente proporcional ao impacto causado pela covid-19, ou seja, quanto maior o nível de desempenho, menor o impacto causado pela pandemia no setor e quanto menor o nível de desempenho, maior o impacto causado pela pandemia no setor. Desta forma, considera-se:

Discordo totalmente = desempenho muito baixo = impacto muito alto

Discordo parcialmente = desempenho baixo = impacto alto

Não concordo, nem discordo = desempenho médio = impacto moderado

Concordo parcialmente = desempenho alto = impacto baixo

Concordo totalmente = desempenho muito alto = impacto muito baixo

Os valores das médias *fuzzy* da Tabela 29, mostraram que os indicadores “Alterações às definições dos projetos (0,5625)”, “Eficiência (0,5625)”, “Tempo médio entre o pedido de material e a entrega (0,6875)”, “Capacidade (0,6875)”, “Custo total de produção (0,6875)”, apresentaram médio nível de desempenho da produção no canteiro de obras. Desta forma, devem ser investigados para que possam ser aplicadas medidas corretivas a fim de otimizar o desempenho da produção.

Esses valores estão no intervalo de NCND (não concordo, nem discordo) e CP (concordo parcialmente), segundo o Gráfico 16 das funções de pertinência, e apresentam impacto moderado da covid-19 no setor de produção da obra avaliada.

Os resultados foram revisados pelo engenheiro de produção civil responsável pela execução da obra avaliada e chegaram-se as seguintes conclusões sobre os resultados desses indicadores, que serão apresentadas a seguir.

- Alterações às definições dos projetos - Durante a execução dos serviços, em alguns casos ocorrem a necessidade de alterações nos projetos devido a uma incompatibilização de projetos de diversas disciplinas (projetos de elétrica, de hidráulica, de gás, de arquitetura) ou levantamento de campo deficiente, dentre outros. Estes fatores impactam na produção da obra, devido a necessidade de replanejar os serviços e revisar o projeto para atender a demanda. Portanto esse tipo de problema é comum acontecer em obras de construção civil.
- Eficiência (produtividade) – o baixo nível de desempenho deste indicador se deve à escassez de recursos ligada a redução da mão de obra provocada pelo isolamento social, a falta de materiais de construção e ao aumento do prazo de entrega e custo desses materiais. A escassez da matéria-prima obrigou as empresas construtoras a comprarem em fornecedores mais caros, gerando assim, um aumento nos custos das obras.

- Tempo médio entre o pedido de material e a entrega - Com o aumento da demanda e a escassez de materiais, os prazos de entrega se estenderam ainda mais.
- Capacidade (Recursos Humanos) - o atendimento as novas normas de higienização de equipamentos provocaram atrasos na produção, assim como o distanciamento social, dificultando operações que demandam mais de um funcionário.
- Custo total de produção – além do custo da matéria-prima, aumentou também o aluguel das máquinas, impactando no custo total de produção e com a redução do número de funcionários aumentou o prazo de conclusão da obra, tendo como consequência a queda da lucratividade.

Entretanto, apesar destes indicadores apresentarem médio nível de desempenho da produção, pode-se concluir com base no resultado da Tabela 30, que para todos os princípios da engenharia, exceto para o princípio de “Modelagem”, o desempenho da produção no canteiro de obras atende ao padrão ideal estabelecido, pois foram considerados satisfatórios.

CAPÍTULO 6: CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este último capítulo apresenta as conclusões, as limitações da pesquisa e as sugestões para trabalhos futuros. As conclusões buscam mostrar a validade e contribuições da dissertação, visando responder as questões da pesquisa e o atendimento dos objetivos definidos neste trabalho.

6.1 Conclusões

O principal objetivo deste trabalho foi analisar os impactos da covid-19 no setor de produção (canteiro de obras) de uma construtora no RJ, através de um método para avaliação do desempenho da produção baseado em indicadores de desempenho da produção de acordo com princípios da engenharia de produção. Este método de avaliação foi adaptado da tese de Grecco (2012), utilizando-se a teoria dos conjuntos *fuzzy* e o método de agregação de similaridades proposto por Hsu e Chen (1996) para a determinação de um padrão ideal de desempenho da produção.

Segundo Sandri (1999), a teoria dos conjuntos nebulosos tem sido cada vez mais usada em sistemas que utilizam informações fornecidas por seres humanos para automatizar procedimentos quaisquer, como por exemplo no controle de processos, no auxílio à tomada de decisão, etc.

Desta forma, a abordagem *Fuzzy* contribuiu para a avaliação, ao transformar dados subjetivos qualitativos, obtidos por meio da opinião de especialistas e dos trabalhadores que participaram desta pesquisa, em dados quantitativos, que nos permite comprovar resultados. Além disso, essa abordagem tornou o método prático e objetivo, facilitando a sua aplicação.

Neste método de avaliação, inicialmente foi elaborada uma estrutura de indicadores de desempenho da produção conforme os princípios da engenharia de produção. Essa estrutura contribui para avaliações do desempenho da produção, permitindo que as organizações evitem a ocorrência de problemas na produção, tais como falhas, atrasos, perdas, dentre outros.

Na segunda etapa do método, a partir dessa estrutura de indicadores foi determinado um padrão de desempenho da produção para servir de referência para

avaliações do desempenho da produção de organizações que lidam com a produção de algum produto ou serviço. A avaliação dos especialistas neste etapa do método foi fundamental para definir o grau de importância desses indicadores para o setor de produção.

O método Hsu e Chen (1996), de agregação de similaridades que foi utilizado para o tratamento dos dados coletados desses especialistas, contribuiu para um maior grau de consenso e não para uma tendência central.

Na última etapa do método, foi feito um estudo de caso em uma empresa de construção civil, para a aplicação do método de avaliação do desempenho da produção no canteiro de obras.

A descrição da estrutura e implantação da obra, obtidas por meio de dados documentais, site da empresa e entrevista com o engenheiro de produção civil, permitiu fornecer uma visão sistêmica de como o trabalho ocorre e os problemas mais comuns que impactaram o setor de produção da obra avaliada.

Na aplicação do método de avaliação, ao ser confrontado com o padrão estabelecido, busca-se através da avaliação dos indicadores pelos trabalhadores, identificar problemas na produção de empresas da construção civil, auxiliando o gestor na busca de ações corretivas no processo produtivo.

Os resultados revelaram que o método possibilitou a identificação de problemas relacionados ao princípio “Modelagem”. Isso ficou evidenciado pelo grau de atendimento (0,6689), considerado menor que o nível de aceitação (0,75) especificado neste trabalho. Isto significa que para este princípio, o processo avaliado atende em 66,89% ao padrão de desempenho da produção. Cabe ressaltar que este nível de aceitação pode ser modificado de acordo com as necessidades de avaliação.

Além disso, foram apresentados todos os indicadores que obtiveram valores de médias *fuzzy* abaixo desse nível de aceitação e foram considerados com médio nível de desempenho. Apesar disso, podemos concluir que os demais princípios atenderam ao padrão ideal estabelecido.

Na revisão dos resultados com o engenheiro de produção civil responsável pela execução da obra avaliada, foi possível identificar uma série de questões que explicam este fato e comprovar que todas estão relacionadas aos fatores que levaram ao impacto da covid-19 no setor de produção das empresas de construção civil, descritos na revisão da literatura. São eles: aumento do custo de materiais de construção, escassez da matéria-

prima, atrasos nas entregas desses materiais e redução do número de funcionários devido ao isolamento social.

Podemos então concluir que apesar das estatísticas comprovarem um alto impacto da covid-19 na Construção Civil, a empresa onde foi feito o estudo de caso apresentou um impacto moderado no setor de produção (canteiro de obras), pois conseguiu se adaptar através da renegociação dos valores das obras com os clientes e ajustes dos contratos de obras.

Esses resultados da avaliação do desempenho da produção no canteiro de obras, visam contribuir para avaliação do desempenho da produção em outras organizações tendo como base o padrão ideal estabelecido, e mostraram que lógica *fuzzy* pode ser útil na solução de problemas operacionais decorrentes de eventos negativos, de forma a auxiliar essas empresas nas tomadas de decisões relativas ao setor de produção em momentos de crises e situações emergenciais.

6.2 Limitações da Pesquisa e Sugestões para Trabalhos Futuros

O cenário da covid-19 foi considerado um fator limitante dessa pesquisa, tendo em vista a dificuldade em obter os dados para a avaliação do método na empresa. A pouca quantidade de pessoas que responderam (total de 4), limita os resultados da pesquisa. Esta avaliação mais abrangente, além de contribuir para uma maior aproximação da realidade, valorizaria a contribuição prática do método.

Como sugestões para trabalhos futuros podemos destacar:

- Utilização do método em empresas de outros ramos, considerando adaptações do padrão de desempenho, para testar a sua aplicabilidade.
- Aplicar a técnica do brainstorming na identificação de causas e efeitos de problemas que envolvam o não atendimento ao padrão, estabelecendo uma comparação com os resultados obtidos no método de avaliação para que possam ser aplicadas medidas corretivas.
- Propor ações corretivas para otimização do desempenho no setor avaliado, através da aplicação do método PDCA/DMAIC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEPRO. *Engenharia de Produção: Grande Área e Diretrizes Curriculares*. Em: XVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, ENEGEP, Gramado, 1997 e III Encontro de Coordenadores de Cursos de Engenharia de Produção (ENCEP). Itajubá, 1998. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/arquivos/websites/1/DiretrCurr19981.pdf> Acesso em: 23 de maio de 2021.
- ABEPRO. *Um panorama da engenharia de produção*. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/interna.asp?ss=1&c=924>. Acesso em: 24 de maio de 2021.
- ABRAMAT. *O faturamento deflacionado de junho registrou queda de 1% frente a junho*. Brasília, 2021. Disponível em: <http://www.abramat.org.br/datafiles/indice/indice-inst/indice-julho-2021-inst.pdf>. Acesso em: 10 de agosto de 2021.
- ABRAMAT. *Termômetro ABRAMAT – Janeiro/2022*. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.i-maxpr.com/x/11642/a23/a23ad72aa74e1868ac414bd1f11eb6bf.pdf>. Acesso em: 31 de janeiro de 2022.
- ALMEIDA, A. T. de et al. *Introdução à engenharia de produção*. São Paulo: Elsevier, 2008. 320 p.
- ALVARENGA, Antonio Carlos; NOVAES, Antonio Galvão N. *Logística Aplicada: Suprimento e Distribuição Física*. 3 ed. São Paulo: Blucher, 2000.
- ALVES, T. DA C. L.; TOMMELEIN, I. D. “Cadeias de suprimentos na construção civil: análise e simulação computacional”, *Associação Nacional de Tecnologia Construído*, v. 7, n. 2, pp. 31-44, Porto Alegre, 2007.
- AMENDOLA, M.; SOUZA, A. L. DE; BARROS, L. C. *Manual do uso da teoria dos conjuntos Fuzzy no MATLAB 6.5*. São Paulo: Campinas, 2005.
- ANVERSA, G. B. O importante papel do engenheiro de produção civil na construção. SIENGE, 2019. Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/engenheiro-de-producao-civil/>. Acesso em: 02 e maio de 2021.
- ARAUJO, E. Lógica Difusa (Fuzzy) e Raciocínio Aproximado: Conceitos e Aplicações. 13º Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional – XIII ERMAC. Pato Branco, Jul. 2009.
- BALLOU, Ronald H. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial*. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 616 p.
- BANDEIRA, R. A. DE M. *Metodologia para Avaliação da Sustentabilidade de Operações de Transporte Urbano de Carga*. Tese de Doutorado – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2018.

BATISTA, K. R; NETTO, C. DOS S. L.; MEDEIROS, L. R. DE A. “Procedimento para o combate à covid-19 em canteiros de obras com base na experiência de uma construtora da cidade de João Pessoa-PB”, *Revista Acta Scientia*, v. 2, n° 1, pp. 20 – 36, jan/jun de 2020.

BELCHIOR, A. D. *Um modelo fuzzy para avaliação da qualidade de software*. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Computação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 1997.

CALDEIRA, J. *100 Indicadores da gestão: key performance indicators*. Coimbra: Conjuntura Actual, 2017. 156 p.

CBIC. *A pandemia do coronavírus: Recomendações para o ambiente de trabalho na indústria da construção*. Brasília, 2020. Disponível em: <https://cbic.org.br/publicacoes/>. Acesso em: 17 de agosto de 2021.

CBIC. *O segmento de obras industriais e corporativas e o coronavírus (COVID-19)*. Brasília, 2020. Brasília, 2020. Disponível em: <https://cbic.org.br/publicacoes/>. Acesso em: 17 de agosto de 2021.

CBIC. *Os impactos da pandemia do coronavírus nos contratos de obra pública*. Brasília, 2020. Brasília, 2020. Disponível em: <https://cbic.org.br/publicacoes/>. Acesso em: 18 de agosto de 2021.

CBIC. *Caminhos para viabilizar a continuidade dos contratos impactados pela pandemia*. Brasília, 2021. Brasília, 2020. Disponível em: <https://cbic.org.br/publicacoes/>. Acesso em: 18 de agosto de 2021.

CBIC. *INCC: materiais e equipamentos sobem 17,68% em 7 meses*. Brasília, 2020. Disponível em: <https://cbic.org.br/incc-materiais-e-equipamentos-sobem-1768-em-7-meses/>. Acesso em: 18 de agosto de 2021.

CBIC. *Desempenho da construção civil em 2020 e perspectivas para 2021*. Brasília, 2020. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2020/12/balanco-construcao-2020-2021.pdf>. Acesso em: 18 de agosto de 2021.

CBIC. *Informativo econômico*. Brasília, julho de 2021. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2021/07/informativo-economico-importancia-construcao-civil-final-julho-2021.pdf>. Acesso em: 18 de agosto de 2021.

CHIAVENATO, I. *Introdução à teoria geral da administração*. 7. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003. 650 p.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. *Índice de confiança do empresário industrial*. 1. ed. Brasília, janeiro 2022.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. *Sondagem industrial*. 12. ed. Brasília, dezembro de 2021.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. *Sondagem indústria da construção*. 11. ed. Brasília, novembro de 2021.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. *Pesquisa de impacto no transporte covid-19*. 6^a rodada. Brasília, março de 2021. Disponível em: <https://cnt.org.br/documento/da1c552e-730f-486f-bd26-535b4e84ed12>. Acesso em: 28 de julho de 2021.

CONSTRUBUSINESS - Congresso Brasileiro da Construção. *Investir com responsabilidade*. 12º ed. São Paulo, 2016.

COSENZA, C. A. N. *An Industrial Location Model*. Working Paper. Martin Centre for Architectural and Urban Studies, Cambridge: Cambridge University, 1981.

DIAS, S. C et al. “Cenário da construção civil no Brasil durante a pandemia da covid-19”, *Research, Society and Development*, v. 9, n° 7, pp. 1-18, 2020.

FEDRIZZI, M.; KACPRZYK, J. “On measuring consensus in the setting of fuzzy preference relations”. In: *Non-conventional Preference Relations in Decision Making*, Springer, Berlin, pp. 129-141, 1988.

FEI. *Engenharia de produção fundamental em todos os segmentos da indústria e estratégico para otimização de processos*. Disponível em: <https://fei.edu.br/engenhariadofuturo/producao.html>. Acesso em: 24 de maio de 2021.

FERREIRA, R. A. *Proposta de um modelo quantitativo com base em lógica fuzzy para caracterização de cadeias de suprimentos em empresas*. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

FIESP. *PIB da cadeia produtiva da construção apresenta queda de 7,3% no primeiro semestre de 2020 na comparação com o mesmo período de 2019*. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.fiesp.com.br/observatoriodaconstrucao/noticias/13517/>. Acesso em: 28 de julho de 2021.

FRANCISCHINI, A. S. N.; FRANCISCHINI, P. G. *Indicadores de desempenho: dos objetivos à ação – métodos para elaborar KPIs e obter resultados*. Rio de Janeiro: Alta Books, 2017. 448 p.

GIL, A. C. *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GONÇALVES, A. P. “Aplicação de Lógica Fuzzy em Guerra Eletrônica”, *Instituto Tecnológico da Aeronáutica*, São José dos Campos, SP, 2007.

GRECCO, C. H. S.; SANTOS, I. J. A. L.; CARVALHO, P. V. R.; OLIVEIRA, M. V.; MOL, A. C. A. *Human factors questionnaire as a tool for risk assessment*. In: International Nuclear Atlantic Conference – INAC 2009, Rio de Janeiro, RJ, 2009.

GRECCO, C. H. S. *Avaliação da resiliência em organizações que lidam com tecnologias perigosas: o caso da expedição de radiofármacos*. Tese de Doutorado – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2012.

GUSTAVO, M. *O que é engenharia de produção*. Pontifícia Universidade Católica de Goiás.
Disponível em:
<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/10107/material/Cap%2001%20-%20O%20que%20é%20Eng%20de%20Produção.pdf>. Acesso em: 24 de maio de 2021.

HAGA, H. C. R. *Gestão da rede de suprimentos na construção civil: integração a um Sistema de administração da produção*. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2000.

HSU, H. M.; CHEN, C. T. “Aggregation of fuzzy opinions under group decision making”. *Fuzzy Sets and Systems*, v. 79, pp. 279-285, 1996.

IBGE. *IBGE mapeia a infraestrutura dos transportes no Brasil*. Geociências, 2019. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/14707-asi-ibge-mapeia-a-infraestrutura-dos-transportes-no-brasil> Acesso em: 02 de maio de 2021.

IBGE. *Em julho, índice national da construção civil foi de 1,89%*, Agosto de 2021. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/31323-em-julho-indice-national-da-construcao-civil-foi-de-1-89>. Acesso em: 17 de agosto de 2021.

ISHIKAWA, A.; AMAGASA, M.; SHIGA, T.; TOMIZAWA, G.; TATSUTA, R.; MIENO, H. “The max-min Delphi method and fuzzy Delphi method via fuzzy integration”. *Fuzzy Sets and Systems*, v. 55, pp. 241-253, 1993.

KACPRZYK, J.; FEDRIZZI, M. A soft measure of consensus in the setting of partial (fuzzy) preferences, *European J. Oper. Res.*, pp. 315-325, 1988.

KACPRZYK, J.; FEDRIZZI, M.; NURMI, H. Group decision making and consensus under fuzzy preferences and fuzzy majority, *Fuzzy Sets and Systems*, pp. 21-31, 1992.

KRAJEWSKI, L.; RITZMAN, L.; MALHOTRA, M. *Administração de produção e operações*. 8. ed. São Paulo: Pearson, 2009. 636 p.

LEONARDO, I. C. de M.; COSENZA, C. A.; DORIA, F. *A Determinação da melhor rota para distribuição de cargas com base em método fuzzy e algoritmo para tomada de decisão multi-critério*. Engenharia de Produção, UFRJ, Rio de Janeiro, p.13, 2014.

LEE, H. M. “Group decision making using fuzzy theory for evaluating the rate of aggregative risk in software development”. *Fuzzy Sets and Systems*, v. 80, pp. 261-271, 1996.

MACHADO, A. C. M. M.; DESIDERI, P. E. dos S. “A abordagem sociotécnica como uma forma alternativa de organizar o trabalho”. In: *Congresso Nacional de Excelência em gestão*, Rio de Janeiro, 2017.

MARQUES, J. R. IBC. *O que é e quais são os tipos de arranjo físico*. Goiânia. 2019. Disponível em: <https://www.ibccoaching.com.br/portal/o-que-e-e-quais-sao-os-tipos-de-arranjo-fisico/>. Acesso em: 26 de maio de 2021.

MARTINS, H. A. *Processo de compras de suprimentos na engenharia civil: estudo de caso de uma empresa de construção*. TCC – Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2020.

MASSAD, E; ORTEGA, N. R. S.; BARROS, L. C. DE; STRUCHINER, C. J. *Fuzzy logic in action: applications in epidemiology and beyond, studies in fuzziness and soft computing*, v. 232, Poland, 2008.

MELO, G. J. A. DE. *Princípio de extensão de Zadeh aplicado a funções não monótonas com dois parâmetros fuzzy*. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2009.

MORÉ, J. D. *Aplicação da lógica fuzzy na avaliação da confiabilidade humana nos ensaios não destrutivos por ultra-som*. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2004.

NURMI, H. Approaches to collective decision making with fuzzy preference relations, *Fuzzy Sets and Systems*, pp. 249-259, 1981.

OLIVEIRA, M. J. L. DE; GAVIOLI, M. K. “A importância da cadeia de suprimentos na construção civil”. In: *Workshop de pós-graduação e pesquisa do Centro Paula Souza*, Jundiaí, São Paulo, 2021. Disponível em: <http://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/5434>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.

ORTEGA, N. R. S. *Aplicação da teoria de conjuntos fuzzy a problemas da biomedicina*. Tese de Doutorado – Instituto de Física, Universidade São Paulo, 2001.

PAIVA, F. “Custo na construção tem alta de 16,31% em 12 meses”, *Revista Grandes Construções*, Junho de 2021. Disponível em: <https://www.grandesconstrucoes.com.br/Noticias/Exibir/custo-na-construcao-tem-alta-de-1631-em-12-meses>. Acesso em: 20 de junho de 2021.

PEDRYCZ, W. “Relevancy of fuzzy models”. *Informations Sciences*, v. 52, pp. 285-302, 1990.

RIGNEL, D. G. D. S.; CHENCI, G. P.; LUCAS, C. A. “Uma introdução a lógica fuzzy”, *Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e Gestão Tecnológica*, v. 1, n. 1, pp. 12, 2011.

ROSS, T. J. *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. 3rd ed. USA: John Wiley & Sons Ltd, 2010. 607 p.

SANDRI, S.; CORREA, C. “Lógica Nebulosa”, *Instituto Tecnológico da Aeronáutica*, São José dos Campos, SP, 1999.

SANTOS, M. T. S.; MOCCELLIN, J. V. O projeto da produção e a programação integrados a um sistema de administração da produção voltado para a construção civil. In: *Encontro Nacional de Engenharia de Produção – Enegep*, São Carlos, São Paulo, 2001.

SANTOS, I. J. A. L.; GRECCO, C. H. S.; MOL, A. C. A.; CARVALHO, P. V. R. “The use of questionnaire and virtual reality in the verification of the human factors issues in the design of nuclear control desk”. *International Journal of Industrial Ergonomics*, v. 39, pp. 159-166, 2009.

SANTOS, V. M. DOS; GRECCO, C. H. DOS S.; CARVALHO, R. J. M. DE; CARVALHO, P. V. R. DE. “A fuzzy model to assess the resilience of protection and civil defense organizations”, *Quality & Quantity*, v. 54, pp. 735-759, 2020.

SARAIVA, L. A. S.; CAMILO, C. DA S. “Indicadores de desempenho na gestão de uma organização industrial”. In: *XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção – Enegep*, Salvador, Bahia, outubro de 2009.

SILVA, I. S. de C.; CORDEIRO, J. V. B. de M. “Projeto e melhoria de programas de manufatura enxuta: proposta de um modelo”. In: *Programa de Apoio à Iniciação Científica – PAIC*, Curitiba, 2010.

SINCOMAVI. *Material de construção: preços variam 1,7% em agosto*. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://sincomavi.org.br/material-de-construcao-precos-continuam-com-tendencia-de-alta/>. Acesso em: 28 de agosto de 2021.

SINDUSCON. INCC: *materiais e equipamentos sobrem 17,68% em 7 meses*, Minas Gerais, 2021. Disponível em: <https://www.sinduscon-mg.org.br/incc-materiais-e-equipamentos-sobem-1768-em-7-meses/>. Acesso em: 28 de agosto de 2021.

SINDUSCON. *Construção prevê crescer 2% em 2022*. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://sindusconsp.com.br/construcao-preve-crescer-2-em-2022/>. Acesso em: 15 de janeiro de 2022.

SLACK, N.; JONES, A. B.; JOHNSTON, R. *Administração da produção*. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2018. 856 p.

SPERANDIO, K. P.; OLIVEIRA, E. DE C.; PAIVA, P. L. S.; JUNIOR, S. S. DE S. “Análise dos principais problemas da construção civil durante a pandemia do coronavírus no Brasil”, *16ª Noite Acadêmica*, 2021.

TANAKA, K. *An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications*. Department of Mechanical Systems Engineering. Japan, 1996. 138 p.

TANINO, T. Fuzzy preference orderings in group decision making, *Fuzzy Sets and Systems*, pp. 117-131, 1984.

TANINO, T. On group decision making under fuzzy preferences, In: *Multiperson Decision Making Using Fuzzy Sets and Possibility Theory*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 172-185, 1990.

VIEIRA, G. E. *O importante papel do Engenheiro de Produção Civil na Construção*. UFSC – Centro Tecnológico Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2019. Disponível em: <https://portal.ctc.ufsc.br/2019/09/13/o-importante-papel-do-engenheiro-de-producao-civil-na-construcao/>. Acesso em: 23 de maio de 2021.

VOLSKI, I. *Metodologia híbrida para caracterização da rede através da avaliação do desempenho da cadeia de suprimentos da construção civil*. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

WAKAMATSU, A.; CHENG, L. Y. *Metodologia de posicionamento dos elementos do canteiro de obras utilizando a teoria de sistema nebuloso*. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/305, 26 p., São Paulo: EPUSP, 2001.

YAGER, R. R. “Simultaneous solution of fuzzy models: an application to economic equilibrium analysis”. *Fuzzy Sets and Systems*, v. 115, pp. 339 – 349, 2000.

YAGER, R. R.; FILEV, D. P. “On the issue of defuzzification and selection based on a fuzzy set”. *Fuzzy Sets and Systems*, v. 55, pp. 255 – 272, 1993.

YEN, J.; LANGARI, R.; ZADEH, L. A. *Industrial applications of fuzzy logic and intelligent systems*. New York: IEEE Press, 1994.

ZADEH, L. A. “Fuzzy Sets”. *Information Control*. v. 8, pp. 338 -353, 1965.

ZADEH, L. A. “A theory of approximate reasoning”, In: J. Hayes, D. Michie, L. I. Mikulich (Eds.), *Machine Intelligence*, v. 9, Halstead Press, New York, pp. 149-194, 1979.

ZADEH, L. A. “A computational approach to fuzzy quantifiers in natural languages”. *Computer Mathematics with Applications*, v. 9, pp. 149-184, 1983.

ZIMMERMANN, H. J. *Fuzzy Set Theory and Its Applications*, Kluwer Boston, 2nd revised edition, 1991.

APÊNDICE 1

Questionário para Identificação do Perfil dos Especialistas

Este questionário visa contribuir para identificar o perfil dos especialistas que farão parte desta pesquisa, com base em 12 *itens* (questões) que possuem vários *subitens* (respostas) relacionadas a área de conhecimento, atuação e formação.

Para a apuração dos resultados deste questionário foi definida uma escala de pesos assumindo o peso 1 como maior grau de importância e peso 0 como menor grau de importância.

Nas questões 10, 11 e 12, os valores de cada *item* foram normalizados. Neste caso, como o especialista pode selecionar mais de uma opção de resposta, a apuração de cada *item* é feita pelo somatório de seus *subitens* selecionados pelo especialista, E_i , que o avaliou, de acordo com *escores* (valores) previamente definidos para cada um desses *subitens*, que corresponde ao *escore total*. O *escore final* é calculado pela divisão do *escore total*, pelo valor máximo, que corresponde a soma de todos os *escores* atribuídos a cada *subitem*. Por exemplo, se determinado especialista marcou no *item* 10, os *subitens* “Diretor Industrial (1,0)”, “Gerente de Produção (0,9)” e “Analista de PCP (0,85)”, o *escore total* será igual a soma desses três valores que corresponde a 2,8. E o *escore final* será igual a divisão do *escore total* pelo valor máximo (6,5), que corresponde a 0,4231.

1) Qual o seu grau de escolaridade?

- | | |
|--|-----|
| (<input type="checkbox"/>) Doutorado | 1 |
| (<input type="checkbox"/>) Mestrado | 0,8 |
| (<input type="checkbox"/>) Pós-Graduação Lato Sensu | 0,6 |
| (<input type="checkbox"/>) Cursos de extensão (Especialização) | 0,4 |
| (<input type="checkbox"/>) Ensino Superior (graduação) | 0,2 |

2) Qual dessas áreas corresponde a sua formação?

- | | |
|---|-----|
| (<input type="checkbox"/>) Engenharia de Produção | 1 |
| (<input type="checkbox"/>) Engenharia Civil | 0,8 |
| (<input type="checkbox"/>) Demais Engenharias | 0,6 |
| (<input type="checkbox"/>) Nenhuma das anteriores | 0,2 |

3) Quantidade de artigos internacionais ou nacionais publicados na área da Engenharia relacionados à produção ou indicadores de desempenho.

() maior que 7	1
() de 3 a 7	0,9
() até 2	0,5
() nenhum	0

4) Qual o seu cargo?

() Sócio Diretor	1
() Sócio Gerente	0,9
() Professor universitário/pesquisador	0,85
() Engenheiro Sênior/gerente de projetos	0,8
() Engenheiro Pleno	0,7
() Engenheiro Júnior	0,6
() Técnico (encarregado administrativo de obras)	0,55
() Encarregado Geral	0,5

5) Quantidade de relatórios técnicos na área da Engenharia relacionados à produção ou indicadores de desempenho.

() maior que 7	1
() de 3 a 7	0,9
() até 2	0,5
() nenhum	0

6) Quantidade de participações em eventos/congressos na área da Engenharia relacionados à produção ou indicadores de desempenho.

() maior que 7	1
() de 3 a 7	0,7
() até 2	0,3
() nenhuma	0

7) Quantidade de participações na elaboração de normas, procedimentos ou instruções relacionados à segurança ou manutenção do setor de produção.

() maior que 7	1
() de 3 a 7	0,9
() até 2	0,5
() nenhuma	0

8) Quantos anos de experiência na área da Engenharia relacionados à produção ou indicadores de desempenho?

() mais de 15	1
() de 11 a 15	0,9
() de 6 a 10	0,7
() até 5	0,5
() nenhum	0

9) Como você classificaria seu entendimento relacionado às etapas de produção de um produto ou serviço?

() excelente	1
() muito bom	0,9
() médio	0,6
() baixo	0,3
() nenhum	0

10) Marque sua experiência ou atividades (cargos) que já exerceu ou exerce na área de produção.

() Diretor Industrial	1
() Gerente de Produção	0,9
() Analista de PCP (planejamento e controle da produção)	0,85
() Supervisor de Linha	0,8
() Apontador da Produção	0,75
() Programador CNC (comando numérico computadorizado)	0,7
() Programador da Produção	0,6
() Operador de Máquina	0,5
() Almoxarife	0,4
() Nenhuma das anteriores	0

valor máx: 6,5

Escore total: somatório

Escore final: total/valor máximo

11) Já participou do desenvolvimento de quantos sistemas de produção?

Grande Porte:	Mais do que 7 ()	1	Entre 3 e 7 ()	0,9
	Entre 1 e 2 ()	0,8	Nenhum ()	0
Médio Porte:	Mais do que 7 ()	0,7	Entre 3 e 7 ()	0,6
	Entre 1 e 2 ()	0,5	Nenhum ()	0
Pequeno Porte:	Mais do que 7 ()	0,4	Entre 3 e 7 ()	0,3
	Entre 1 e 2 ()	0,2	Nenhum ()	0

Valor máx: 2,1

Escore total: somatório

Escore final: total/valor máximo

12) Em que fases do ciclo de vida de um produto ou serviço já participou?

() Projeto	1
() Modelagem	0,95
() Implantação	0,9
() Operação	0,85
() Manutenção	0,8
() Melhorias de sistemas produtivos	0,75
() Prevenção de Riscos	0,7
() Avaliação dos Resultados	0,65

valor máx: 6,6

Escore total: somatório

Escore final: total/valor máximo

APÊNDICE 2

Planilha para determinação do grau de importância de indicadores de desempenho

Esta pesquisa trata do desenvolvimento de um método de avaliação do desempenho da produção no cenário da covid-19, utilizando a lógica *fuzzy*. Este questionário visa estabelecer o grau de importância de indicadores relacionados aos princípios da Engenharia de Produção, definindo assim um padrão de desempenho que possa contribuir para avaliação do desempenho da produção em organizações. Será utilizada a lógica *fuzzy* para agregar as opiniões e elaborar uma hierarquização de indicadores.

A qualidade da pesquisa depende do nível de transparência das opiniões fornecidas pelos especialistas.

Atribua as importâncias aos indicadores conforme a escala apresentada na tabela abaixo.

Importância	Explicação
NI	O indicador apresentado não é importante .
PI	O indicador apresentado é pouco importante .
I	O indicador apresentado é importante .
MI	O indicador apresentado é muito importante .

Avaliador:

Cargo/Função:

1. Projeto da Produção: Tem a função de conectar o projeto do produto/serviço à produção, onde são tomadas decisões relativas à alocação de recursos, desenvolvimento do processo de trabalho e da organização e planejamento da produção.	
Avaliação dos Indicadores	Importância
1.1 Arranjo Físico As instalações de equipamentos e máquinas estão posicionadas de forma a auxiliar os funcionários na execução de suas tarefas, fazendo com que os materiais e informações fluam corretamente ao longo dos processos.	
1.2 Cobertura de Estoque Existe um controle de estoque, garantindo a disponibilidade e atualização dos materiais para abastecimento da produção, mantendo uma quantidade de segurança com o menor custo possível.	
1.3 Recursos Humanos (pessoas em produção) A quantidade de funcionários é suficiente para garantir a execução segura das tarefas e atender a demanda, garantindo que a pressão temporal não comprometa a segurança das atividades, e os mesmos estão distribuídos adequadamente ao longo dos processos.	
1.4 Execução Física do Projeto Existe um acompanhamento físico do projeto pelos gestores de modo a corrigir possíveis atrasos na execução do projeto.	
1.5 Alterações às Definições dos Projetos As definições dos projetos elaboradas coincidem com a realidade na hora da execução dos serviços, evitando alterações durante o processo.	
1.6 Planejamento da Produção (Serviço) Os gestores fazem um planejamento, discriminando as etapas de cada serviço conforme o cronograma estipulado no projeto e buscando promover a otimização para aumentar a rentabilidade do produto final.	
2. Modelagem: Nesta etapa são criados modelos que subsidiam os processos de tomada de decisão sobre sistemas de produção, com o objetivo de gerar soluções ótimas, ou seja, promover melhorias.	
Avaliação dos Indicadores	Importância
2.1 Eficiência (Produtividade) Para a produção de um determinado serviço são utilizadas as menores quantidades possíveis de recursos de forma a reduzir custos.	
2.2 Rentabilidade Os produtos ou serviços são rentáveis para a empresa de forma que o lucro obtido com a venda supere os investimentos envolvidos na produção.	
3. Implantação: representa a forma como as operações serão executadas. Significa desenvolver as competências que permitam à organização melhorar e aperfeiçoar suas metas e assegurar que as operações sejam atendidas.	
Avaliação dos Indicadores	Importância
3.1 Relatos das Adaptações Os gestores são comprometidos na identificação de problemas decorrentes de fatores negativos (internos ou externos) e as adaptações durante a execução das atividades são comunicadas (relatadas).	
3.2 Incorporação das Adaptações Os gestores possuem competência para resolução de problemas decorrentes de fatores negativos e promovem adaptações a serem incorporadas aos procedimentos.	
3.3 Inovação A empresa investe em tecnologias (máquinas, equipamentos, dispositivos e softwares), promovendo agilidade dos processos, redução de recursos utilizados e aumento do desempenho da produção.	
3.4 Investimento em Qualificação A empresa investe na qualificação de seus funcionários para o desempenho de suas funções e para o controle de situações novas ou imprevistas e tomada de decisões.	
3.5 Conscientização dos funcionários Os funcionários são orientados a seguir as normas de segurança no exercício de suas funções e inspecionados para o uso correto dos EPIs.	

4. Operação: envolve a parte operacional da produção, ou seja, a transformação dos recursos em produto ou serviço.

Avaliação dos Indicadores	Importância
4.1 Tempo Médio entre o Pedido de Material e a Entrega Os fornecedores são confiáveis e comprometidos com os prazos de entrega dos materiais, evitando assim atrasos no recebimento dos mesmos.	
4.2 Capacidade (Recursos Humanos) Os funcionários trabalham de forma a produzir o máximo possível em um menor tempo possível.	
4.3 Capacidade Instalada Usada (Equipamentos/Maquinário) Os equipamentos/maquinários instalados são usados em plena capacidade de produção de forma a atender os serviços, evitando desperdícios e atrasos nas entregas.	
4.4 Produção Os serviços produzidos são atendidos conforme o tempo estipulado, de forma a contribuir para um aumento da produção.	
4.5 Custo Total de Produção O custo dos insumos (materia-prima), maquinário e mão-de-obra mensurados no projeto atendem ao custo planejado de forma a ser rentável para a produção.	
4.6 Índice de Flexibilidade A empresa apresenta capacidade de atender as mudanças sem comprometer a produção, relacionadas a: substituição de equipamentos e peças, habilidade de conduzir vários processos ao mesmo tempo, mudança do mix de produtos, variação do volume de produção, habilidade de mudar o fluxo de processo e produzir uma ampla variedade de produção.	

5. Manutenção: como as organizações tentam evitar a falha ao cuidar de suas instalações físicas.

Avaliação dos Indicadores	Importância
5.1 Tempo de Paragem da Produção para Reparações Os equipamentos e máquinas não apresentam problemas relacionados a sua vida útil e os funcionários da empresa são treinados para o manuseio correto desses equipamentos, evitando interrupções dos serviços para reparações.	
5.2 Quebras de Produção devido a Ocorrências Inesperadas As instalações são eficazes e auxiliam na produção, assim como os funcionários são comprometidos com os objetivos de seus serviços, de forma a reduzir ou eliminar ocorrências inesperadas, como quebras de energia e avarias, que podem comprometer a produção.	
5.3 Custo de Manutenção por Unidade Produzida Existe um equilíbrio entre os custos de manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos, de forma a evitar custos excessivos à produção.	
5.4 Manutenção Preventiva Relativa à Manutenção Total Existe um programa de manutenção preventiva das instalações e equipamentos para evitar problemas que possam comprometer a produção e também evitar situações emergenciais que necessitem de intervenções corretivas, gerando mais custos para a produção.	

6. Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços:

Avaliação dos Indicadores	Importância
6.1 Desperdício da Materia-prima Durante a execução do serviço não ocorrem desperdícios de matérias-primas e são identificadas melhorias que previnem a reincidência das perdas no processo produtivo da empresa.	
6.2 Inconformidades detectadas na Aceitação dos Materiais Os materiais recebidos devem estar de acordo com o pedido de encomenda, sem danos e avarias de forma a não prejudicar ou atrasar a produção.	
6.3 Turnover (Rotatividade) A empresa deve evitar a rotatividade (taxa de demissões) de funcionários, incentivando os mesmos, promovendo líderes competentes que possam contribuir para o sucesso da organização.	

6.4 Taxa de Absenteísmo Os funcionários são comprometidos com suas tarefas, evitando atrasos e faltas.	
6.5 Avaliação e Apoio à Tomada de Decisão Os gestores estão envolvidos na avaliação dos indicadores de desempenho da produção e melhorias dos processos envolvidos na produção de forma a auxiliar nas tomadas de decisões aplicando medidas corretivas e preventivas.	
6.6 Treinamentos de Resposta à Emergência A empresa oferece frequentemente cursos de treinamentos de resposta à emergência, adequados às atividades dos trabalhadores, de forma a capacitar seus funcionários na solução de problemas emergentes, decorrentes de fatores internos ou externos que possam afetar a produção.	
6.7 Trabalho em Equipe Os funcionários são incentivados a trabalharem em equipe, existindo um bom relacionamento entre os grupos de trabalho.	
7. Prevenção de Riscos: está ligada a falhas e acidentes que podem ocorrer no local de trabalho e comprometer a produção.	
Avaliação dos Indicadores	Importância
7.1 Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) Os equipamentos de segurança do trabalho são guardados em locais devidamente apropriados e rotineiramente testados.	
7.2 Produção Sustentável As atividades operacionais são realizadas respeitando o entorno, de forma a não agredir o meio ambiente e são implementadas ações sustentáveis envolvendo tanto medidas como redução de custos de produção até a diminuição de resíduos lançados no meio ambiente.	
7.3 Incidência de Acidentes no Local de Trabalho Existem procedimentos para identificação de mecanismos de degradação da instalação, e monitoramento das condições de segurança de componentes críticos e são aplicadas medidas preventivas durante as tarefas e rotinas que podem afetar a segurança, evitando assim possíveis acidentes no local de trabalho.	
7.4 Identificação de Risco As tarefas e situações rotineiras que podem afetar a segurança são identificadas.	
7.5 Identificação de Medidas de Segurança Existem medidas proativas no local para identificar novos riscos e melhorar a segurança.	
7.6 Percepção e Entendimento dos Erros As chefias e os funcionários conseguem distinguir claramente os erros inevitáveis das violações inaceitáveis e identificar as medidas corretivas a serem aplicadas.	
8. Avaliação de resultados: é realizada ao longo de todo o processo operacional até a finalização do serviço e entrega ao cliente.	
Avaliação dos Indicadores	Importância
8.1 Produtos com Inconformidades A empresa se compromete com a qualidade de seus serviços de produção, recrutando funcionários competentes de forma a evitar possíveis inconformidades (defeitos) após a finalização dos serviços.	
8.2 Normatização e Certificação A empresa possui uma certificação de qualidade e os materiais entregues são fiscalizados conforme os padrões de qualidade antes de serem utilizados, assim como os serviços.	
8.3 Confiabilidade e Competência dos Funcionários Os funcionários estão capacitados a realizar as tarefas, onde são reconhecidas suas experiências operacionais e habilidades, e transmitem confiança desde a execução dos processos envolvidos no projeto até a finalização do serviço.	
8.4 Satisfação dos Colaboradores com os Resultados dos Projetos Os resultados obtidos após o encerramento do projeto compensam os investimentos realizados para a execução dos serviços na produção e geram satisfação dos colaboradores envolvidos.	

8.5 Motivação e Satisfação dos Funcionários Os funcionários se sentem motivados durante a execução de suas tarefas e satisfeitos com os resultados após o cumprimento das mesmas.	
8.6 Satisfação dos Clientes O produto ou serviço prestado é realizado e entregue conforme o solicitado pelo cliente, segundo os padrões de qualidade e prazos estipulados.	

APÊNDICE 3

Planilha para avaliação do desempenho da produção na construção civil

Esta planilha faz parte de uma pesquisa que tem por objetivo avaliar o nível de desempenho da produção segundo os impactos da covid-19 no setor de produção de uma construtora no Rio de Janeiro. Esta avaliação deverá ser feita por funcionários diretamente relacionados ao setor de produção de uma das obras da construtora em um Hotel no RJ. Serão avaliados indicadores relacionados aos princípios da Engenharia de Produção: projeto, modelagem, implantação, operação, manutenção, melhorias de sistemas produtivos, prevenção de riscos e avaliação de resultados. A qualidade da pesquisa depende do nível de transparência das opiniões fornecidas. A Lógica *Fuzzy* será utilizada para agregar estas opiniões e desta forma fornecer um indicativo de impacto da covid-19 no desempenho da produção no local de trabalho.

A planilha deverá ser preenchida com informações relacionadas à percepção do ambiente e das condições de trabalho no atendimento da produção, no recebimento de materiais ligado a confiabilidade do fornecedor e do transporte, preço dos materiais e equipamentos; dentre outros, assim como das políticas e do desempenho das pessoas no setor. Gostaríamos de saber o quanto você concorda ou discorda com o atendimento a estes indicadores na empresa durante a pandemia.

Preencha a planilha conforme as siglas abaixo.

DT - Discordo totalmente
DP - Discordo parcialmente
NCND - Não concordo, nem discordo
CP - Concordo parcialmente
CT - Concordo totalmente

Avaliador:

Cargo/Função:

1. Projeto da Produção: Tem a função de conectar o projeto do produto/serviço à produção, onde são tomadas decisões relativas à alocação de recursos, desenvolvimento do processo de trabalho e da organização e planejamento da produção.	
Avaliação dos Indicadores	Concordância
1.1 Arranjo Físico As instalações de equipamentos e máquinas estão posicionadas de forma a auxiliar os funcionários na execução de suas tarefas, fazendo com que os materiais e informações fluam corretamente ao longo dos processos.	
1.2 Cobertura de Estoque Existe um controle de estoque, garantindo a disponibilidade e atualização dos materiais para abastecimento da produção, mantendo uma quantidade de segurança com o menor custo possível.	
1.3 Recursos Humanos (pessoas em produção) A quantidade de funcionários é suficiente para garantir a execução segura das tarefas e atender a demanda, garantindo que a pressão temporal não comprometa a segurança das atividades, e os mesmos estão distribuídos adequadamente ao longo dos processos.	
1.4 Execução Física do Projeto Existe um acompanhamento físico do projeto pelos gestores de modo a corrigir possíveis atrasos na execução do projeto.	
1.5 Alterações às Definições dos Projetos As definições dos projetos elaboradas coincidem com a realidade na hora da execução dos serviços, evitando alterações durante o processo.	
1.6 Planejamento da Produção (Serviço) Os gestores fazem um planejamento, discriminando as etapas de cada serviço conforme o cronograma estipulado no projeto e buscando promover a otimização para aumentar a rentabilidade do produto final.	
2. Modelagem: Nesta etapa são criados modelos que subsidiam os processos de tomada de decisão sobre sistemas de produção, com o objetivo de gerar soluções ótimas, ou seja, promover melhorias.	
Avaliação dos Indicadores	Concordância
2.1 Eficiência (Produtividade) Para a produção de um determinado serviço são utilizadas as menores quantidades possíveis de recursos de forma a reduzir custos.	
2.2 Rentabilidade Os serviços são rentáveis para a empresa de forma que o lucro obtido com a entrega da obra supere os investimentos envolvidos na produção.	
3. Implantação: representa a forma como as operações serão executadas. Significa desenvolver as competências que permitam à organização melhorar e aperfeiçoar suas metas e assegurar que as operações sejam atendidas.	
Avaliação dos Indicadores	Concordância
3.1 Relatos das Adaptações Os gestores são comprometidos na identificação de problemas decorrentes de fatores negativos (internos ou externos) e as adaptações durante a execução das atividades são comunicadas (relatadas).	
3.2 Incorporação das Adaptações Os gestores possuem competência para resolução de problemas decorrentes de fatores negativos e promovem adaptações a serem incorporadas aos procedimentos.	
3.3 Inovação A empresa investe em tecnologias (máquinas, equipamentos, dispositivos e softwares), promovendo agilidade dos processos, redução de recursos utilizados e aumento do desempenho da produção.	
3.4 Investimento em Qualificação A empresa investe na qualificação de seus funcionários para o desempenho de suas funções e para o controle de situações novas ou imprevistas e tomada de decisões.	
3.5 Conscientização dos funcionários Os funcionários são orientados a seguir as normas de segurança no exercício de suas funções e inspecionados para o uso correto dos EPIs.	

4. Operação: envolve a parte operacional da produção, ou seja, a transformação dos recursos em produto ou serviço.

Avaliação dos Indicadores	Concordância
4.1 Tempo Médio entre o Pedido de Material e a Entrega Os fornecedores são confiáveis e comprometidos com os prazos de entrega dos materiais, evitando assim atrasos no recebimento dos mesmos.	
4.2 Capacidade (Recursos Humanos) Os funcionários trabalham de forma a produzir o máximo possível em um menor tempo possível.	
4.3 Capacidade Instalada Usada (Equipamentos/Maquinário) Os equipamentos/máquinas instalados são usados em plena capacidade de produção de forma a atender os serviços, evitando desperdícios e atrasos na entrega da obra.	
4.4 Produção Os serviços produzidos são atendidos conforme o tempo estipulado, de forma a contribuir para um aumento da produção.	
4.5 Custo Total de Produção O custo dos insumos (materia-prima), maquinário e mão-de-obra mensurados no projeto atendem ao custo planejado de forma a ser rentável para a produção.	
4.6 Índice de Flexibilidade A empresa apresenta capacidade de atender as mudanças sem comprometer a produção, relacionadas a: substituição de equipamentos e peças, habilidade de conduzir vários processos ao mesmo tempo, mudança do mix de produtos/serviços, variação do volume de produção, habilidade de mudar o fluxo de processo e produzir uma ampla variedade de produção.	

5. Manutenção: como as organizações tentam evitar a falha ao cuidar de suas instalações físicas.

Avaliação dos Indicadores	Concordância
5.1 Tempo de Paragem da Produção para Reparações Os equipamentos e máquinas não apresentam problemas relacionados a sua vida útil e os funcionários da empresa são treinados para o manuseio correto desses equipamentos, evitando interrupções dos serviços para reparações.	
5.2 Quebras de Produção devido a Ocorrências Inesperadas As instalações são eficazes e auxiliam na produção, assim como os funcionários são comprometidos com os objetivos de seus serviços, de forma a reduzir ou eliminar ocorrências inesperadas, como quebras de energia e avarias, que podem comprometer a produção.	
5.3 Custo de Manutenção por Unidade Produzida Existe um equilíbrio entre os custos de manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos, de forma a evitar custos excessivos à produção.	
5.4 Manutenção Preventiva Relativa à Manutenção Total Existe um programa de manutenção preventiva das instalações e equipamentos para evitar problemas que possam comprometer a produção e também evitar situações emergenciais que necessitem de intervenções corretivas, gerando mais custos para a produção.	

6. Melhorias de sistemas produtivos integrados de bens e serviços:

Avaliação dos Indicadores	Concordância
6.1 Desperdício da Matéria-prima Durante a execução do serviço não ocorrem desperdícios de matérias-primas e são identificadas melhorias que previnem a reincidência das perdas no processo produtivo da empresa.	
6.2 Inconformidades detectadas na Aceitação dos Materiais Os materiais recebidos estão de acordo com o pedido de encomenda, sem danos e avarias de forma a não prejudicar ou atrasar a produção.	
6.3 Turnover (Rotatividade) A empresa evita a rotatividade (taxa de demissões) de funcionários, incentivando os mesmos, promovendo líderes competentes que possam contribuir para o sucesso da organização.	

6.4 Taxa de Absenteísmo Os funcionários são comprometidos com suas tarefas, evitando atrasos e faltas.	
6.5 Avaliação e Apoio à Tomada de Decisão Os gestores estão envolvidos na avaliação dos indicadores de desempenho da produção e melhorias dos processos envolvidos na produção de forma a auxiliar nas tomadas de decisões aplicando medidas corretivas e preventivas.	
6.6 Treinamentos de Resposta à Emergência A empresa oferece frequentemente cursos de treinamentos de resposta à emergência, adequados às atividades dos trabalhadores, de forma a capacitar seus funcionários na solução de problemas emergentes, decorrentes de fatores internos ou externos que possam afetar a produção.	
6.7 Trabalho em Equipe Os funcionários são incentivados a trabalharem em equipe, existindo um bom relacionamento entre os grupos de trabalho.	
7. Prevenção de Riscos: está ligada a falhas e acidentes que podem ocorrer no local de trabalho e comprometer a produção.	
Avaliação dos Indicadores	Concordância
7.1 Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) Os equipamentos de segurança do trabalho são guardados em locais devidamente apropriados e rotineiramente testados.	
7.2 Produção Sustentável As atividades operacionais são realizadas respeitando o entorno, de forma a não agredir o meio ambiente e são implementadas ações sustentáveis envolvendo tanto medidas como redução de custos de produção até a diminuição de resíduos lançados no meio ambiente.	
7.3 Incidência de Acidentes no Local de Trabalho Existem procedimentos para identificação de mecanismos de degradação da instalação, e monitoramento das condições de segurança de componentes críticos e são aplicadas medidas preventivas durante as tarefas e rotinas que podem afetar a segurança, evitando assim possíveis acidentes no local de trabalho.	
7.4 Identificação de Risco As tarefas e situações rotineiras que podem afetar a segurança são identificadas.	
7.5 Identificação de Medidas de Segurança Existem medidas proativas no local para identificar novos riscos e melhorar a segurança.	
7.6 Percepção e Entendimento dos Erros As chefias e os funcionários conseguem distinguir claramente os erros inevitáveis das violações inaceitáveis e identificar as medidas corretivas a serem aplicadas.	
8. Avaliação de resultados: é realizada ao longo de todo o processo operacional até a finalização do serviço e entrega ao cliente.	
Avaliação dos Indicadores	Concordância
8.1 Produtos com Inconformidades A empresa se compromete com a qualidade de seus serviços de produção, recrutando funcionários competentes de forma a evitar possíveis inconformidades (defeitos) após a finalização dos serviços.	
8.2 Normatização e Certificação A empresa possui uma certificação de qualidade e os materiais entregues são fiscalizados conforme os padrões de qualidade antes de serem utilizados, assim como os serviços.	
8.3 Confiabilidade e Competência dos Funcionários Os funcionários estão capacitados a realizar as tarefas, onde são reconhecidas suas experiências operacionais e habilidades, e transmitem confiança desde a execução dos processos envolvidos no projeto até a finalização do serviço.	
8.4 Satisfação dos Colaboradores com os Resultados dos Projetos Os resultados obtidos após o encerramento do projeto compensam os investimentos realizados para a execução dos serviços na produção e geram satisfação dos colaboradores envolvidos.	

8.5 Motivação e Satisfação dos Funcionários Os funcionários se sentem motivados durante a execução de suas tarefas e satisfeitos com os resultados após o cumprimento das mesmas.	
8.6 Satisfação dos Clientes O serviço prestado é realizado e entregue conforme o solicitado pelo cliente, segundo os padrões de qualidade e prazos estipulados.	