



Universidade Federal de Ouro Preto
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Colegiado do curso de Engenharia de Produção



Análise da influência dos Fatores Críticos de Sucesso no engajamento, na sustentabilidade e na maturidade da gestão da manutenção de um Alto-Forno em uma siderurgia

André Gustavo Gontijo Azevedo Filho
Maria Luisa Sardinha

João Monlevade, MG
2026

André Gustavo Gontijo Azevedo Filho
Maria Luisa Sardinha

**Análise da influência dos Fatores Críticos de Sucesso no
engajamento, na sustentabilidade e na maturidade da gestão
da manutenção de um Alto-Forno em uma siderurgia**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Paula Reis

João Monlevade, MG

2026

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

A994a Azevedo Filho, Andre Gustavo Gontijo.

Análise da influência dos fatores críticos de sucesso no engajamento, na sustentabilidade e na maturidade da gestão da manutenção de um alto-forno em uma siderurgia. [manuscrito] / Andre Gustavo Gontijo Azevedo Filho. Maria Luisa Sardinha. - 2026.

51 f.: il.: , gráf., tab..

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Paula Reis.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Graduação em Engenharia de Produção .

1. Altos-fornos. 2. Usinas siderúrgicas. 3. Fábricas - Manutenção. 4. Sustentabilidade. I. Sardinha, Maria Luisa. II. Reis, Luciana Paula. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 669.18.013

Bibliotecário(a) Responsável: Michelle Karina Assunção Costa - CRB6 - 2164



FOLHA DE APROVAÇÃO

André Gustavo Gontijo Azevedo Filho

Maria Luisa Sardinha

Análise da influência dos fatores críticos de sucesso no engajamento, na sustentabilidade e na maturidade da gestão da manutenção de um alto-forno em uma siderurgia

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção

Aprovada em 10 de julho de 2026

Membros da banca

Dra. Luciana Paula Reis - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)

Dr. Samuel Martins Drei (Universidade Federal de Ouro Preto)

Msc. Thairone Ezequiel de Almeida (Universidade Federal de Ouro Preto)

Luciana Paula Reis, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 26/07/2026



Documento assinado eletronicamente por **Luciana Paula Reis, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 26/07/2026, às 09:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1147203** e o código CRC **5F883006**.

Dedicamos este trabalho a toda a comunidade do ICEA (docentes, discentes, técnicos e terceirizados), que foi fundamental em nossa formação. Em especial, à nossa orientadora, Dra. Luciana Paula Reis, que contribuiu imensamente e nos motivou para a execução desta pesquisa. Dedicamos também aos nossos pais: os de André Gustavo — Angélica Claudia, André Gustavo (in memoriam) e Shawan Vieira; e os de Maria Luisa — Maria Helena e Sebastião Simão, por toda a luta para que pudéssemos buscar nossos sonhos, e pelo amor que sempre nos confortou, mesmo longe de casa.

Aos nossos familiares e amigos, que se tornaram nossa família ao longo da graduação.

Aos colegas de trabalho, que contribuíram para o nosso desenvolvimento como pessoas e profissionais.

A toda a equipe do Alto-Forno, que teve papel fundamental para a realização deste estudo.

E, por fim, ao nosso amigo Arnon (in memoriam), que sonhou viver esta conquista conosco. Guardaremos para sempre a lembrança da sua amizade, do seu companheirismo e da sua força!

“A persistência é o caminho do êxito.”

Resumo

Este trabalho analisa a influência dos Fatores Críticos de Sucesso (FCS) no engajamento, na sustentabilidade e na maturidade da gestão da manutenção do Alto-Forno de uma empresa siderúrgica. O objetivo foi avaliar como os FCS influenciam esses construtos e compreender suas relações no contexto da gestão da manutenção. Para isso, foram utilizados dados coletados por meio de um questionário estruturado, aplicado aos 33 colaboradores do setor de manutenção do Alto-Forno, contemplando diferentes funções e níveis hierárquicos. Os dados foram tratados e analisados por meio de técnicas de estatística multivariada, incluindo Análise Fatorial Exploratória e regressões lineares simples, com auxílio dos softwares JASP e Minitab. Os resultados permitiram validar a estrutura dos construtos investigados e analisar as relações propostas no modelo conceitual da pesquisa, evidenciando a aplicabilidade do instrumento no contexto estudado. O estudo contribui para ampliar a compreensão dos fatores que influenciam a gestão da manutenção, oferecendo subsídios para o desenvolvimento de ações voltadas ao fortalecimento do engajamento, da sustentabilidade das melhorias e da maturidade organizacional.

Palavras-chave: Fatores Críticos de Sucesso. Gestão da manutenção. Engajamento. Sustentabilidade. Maturidade.

Abstract

This study analyzes the influence of Critical Success Factors (CSFs) on engagement, sustainability, and maintenance management maturity in the Blast Furnace of a steel company. The objective was to evaluate how Critical Success Factors influence these constructs and to understand their relationships within the context of maintenance management. Data were collected through a structured questionnaire administered to 33 employees from the Blast Furnace maintenance sector, representing different positions and hierarchical levels. The data were processed and analyzed using multivariate statistical techniques, including Exploratory Factor Analysis and simple linear regression, with the support of JASP and Minitab software. The results made it possible to validate the structure of the investigated constructs and to analyze the relationships proposed in the conceptual research model, demonstrating the applicability of the instrument in the studied context. This study contributes to a better understanding of the factors that influence maintenance management and provides practical insights to support actions aimed at strengthening employee engagement, the sustainability of improvement initiatives, and organizational maturity.

Keywords: Critical Success Factors. Maintenance management. Engagement. Sustainability. Maturity.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Modelo conceitual	16
Figura 2 – Scree plot do construto FCS	26
Figura 3 – Scree plot do construto engajamento	28
Figura 4 – Scree plot do construto sustentabilidade	30
Figura 5 – Scree plot do construto maturidade	32

Lista de tabelas

Tabela 1 – Distribuição dos respondentes por setor	22
Tabela 2 – Distribuição dos respondentes por tempo de atuação	23
Tabela 3 – Processo de refinamento do construto FCS	24
Tabela 4 – Cargas fatoriais finais do construto FCS	25
Tabela 5 – Autovalores e variância explicada do construto FCS	25
Tabela 6 – Autovalores e variância explicada do construto engajamento	27
Tabela 7 – Cargas fatoriais do construto engajamento	27
Tabela 8 – Autovalores e variância explicada do construto sustentabilidade	29
Tabela 9 – Cargas fatoriais do construto sustentabilidade	29
Tabela 10 – Autovalores e variância explicada do construto maturidade	31
Tabela 11 – Cargas fatoriais do construto maturidade	31
Tabela 12 – Estimativas direcionais do modelo estrutural (JASP)	33
Tabela 13 – Resultados dos modelos de regressão linear simples utilizados para o teste das hipóteses	35
Tabela 14 – Instrumento de pesquisa aplicado	45
Tabela 15 – Cargas fatoriais das variáveis de maturidade antes da exclusão de variáveis .	51

Lista de quadros

Quadro 1 – Dimensão dos FCS	8
Quadro 2 – Itens de avaliação dos FCS	9
Quadro 3 – Dimensão do engajamento	10
Quadro 4 – Itens de avaliação do engajamento	10
Quadro 5 – Dimensão da sustentabilidade	11
Quadro 6 – Itens de avaliação da sustentabilidade	11
Quadro 7 – Dimensão da maturidade da gestão da manutenção	13
Quadro 8 – Itens de avaliação da maturidade	14

Lista de abreviaturas e siglas

AFC	Análise Fatorial Confirmatória
AFE	Análise Fatorial Exploratória
CSFs	<i>Critical Success Factors</i>
DWLS	<i>Diagonally Weighted Least Squares</i>
ENG	Código identificador utilizado para designar as variáveis e itens do questionário referentes ao construto de Engajamento.
FCS	Fatores Críticos de Sucesso
ICEA	Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
JASP	<i>Jeffreys's Amazing Statistics Program</i>
MAT	Código identificador utilizado para designar as variáveis e itens do questionário referentes ao construto de Maturidade.
MG	Minas Gerais
MMM	Modelo de Maturidade de Manutenção
NBR	Norma Brasileira
PCA	<i>Principal Component Analysis</i>
PCM	Planejamento e Controle de Manutenção
RACI	Matriz de Responsabilidade
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SAP	<i>Systeme, Anwendungen und Produkte</i>
SEM	<i>Structural Equation Modeling</i> / Modelagem de Equações Estruturais
SUS	Código identificador utilizado para designar as variáveis e itens do questionário referentes ao construto de Sustentabilidade.
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UFOP	Universidade Federal de Ouro Preto

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Problema de pesquisa	2
1.2	Contextualização do problema de pesquisa	3
1.3	Objetivo geral	4
1.3.1	Objetivos específicos	4
1.4	Justificativa	4
2	REVISÃO DA LITERATURA	6
2.1	Gestão da manutenção	6
2.2	Fatores críticos de sucesso para a melhoria contínua	7
2.3	Engajamento	9
2.4	Sustentabilidade	11
2.5	Maturidade	12
3	METODOLOGIA	15
3.1	Modelo conceitual e hipóteses da pesquisa	15
3.2	Caracterização da pesquisa	16
3.3	Caracterização da unidade de análise	17
3.4	População e amostra	17
3.5	Instrumento e procedimentos de coleta de dados	18
3.6	Procedimentos de análise dos dados	19
4	RESULTADOS	22
4.1	Caracterização da amostra	22
4.2	Validação do modelo de mensuração por meio da Análise Fatorial Exploratória	23
4.2.1	Fatores Críticos de Sucesso (FCS)	23
4.2.2	Engajamento	26
4.2.3	Sustentabilidade	28
4.2.4	Maturidade	30
4.3	Teste das Hipóteses (JASP)	32
4.4	Teste das Hipóteses por meio da Regressão Linear Simples (Minitab)	34
4.5	Discussão dos Resultados	36
5	CONCLUSÕES	39

REFERÊNCIAS	42
APÊNDICE A – INSTRUMENTO DE PESQUISA APLICADO AOS COLABORADORES DO SETOR DE MANUTENÇÃO DO ALTO-FORNO	45
APÊNDICE B – RESULTADO INTERMEDIÁRIO DO CONSTRUTO MATURIDADE ANTES DA EXCLUSÃO DA VARIÁVEL MAT6	51

1 Introdução

A indústria siderúrgica global, e em especial a brasileira, opera em um cenário de alta competitividade, instabilidade e crescente pressão por eficiência operacional, segurança e digitalização ([Instituto Aço Brasil, 2025](#); [Womack; Jones, 1996](#)). Neste contexto, a otimização de processos, particularmente na área de Planejamento e Controle de Manutenção (PCM), componente estruturante da gestão da manutenção de ativos críticos como o Alto-Forno, é fundamental para garantir a disponibilidade e confiabilidade da produção. No entanto, a literatura e a prática demonstram que a implementação de melhorias de processo, sejam elas oriundas de programas Lean, Six Sigma ou consultorias especializadas, enfrenta uma barreira significativa: a sustentabilidade dessas ações ao longo do tempo ([Bagherian; Gershon; Kumar, 2024](#); [Bhamu; Sangwan, 2014](#)).

A dificuldade não reside apenas na definição técnica da melhoria, mas na sua real adoção e no engajamento das equipes ([Galeazzo; Furlan; Vinelli, 2021](#)). A literatura evidencia que o sucesso dessas implementações depende de um conjunto de Fatores Críticos de Sucesso (FCS), que englobam desde o apoio da alta gestão até a clareza na comunicação e o treinamento adequado. Nesse contexto, [Kakouris, Athanasiadis e Sfakianaki \(2023\)](#) destacam a integração entre práticas Lean e tecnologias da Indústria 4.0 como elemento fundamental para o sucesso das iniciativas de melhoria. Por outro lado, [Bhamu e Sangwan \(2014\)](#) enfatizam que fatores organizacionais, como cultura, comprometimento gerencial e envolvimento dos colaboradores, são determinantes para a sustentação dos resultados ao longo do tempo. De forma complementar, [Galeazzo, Furlan e Vinelli \(2021\)](#) ressaltam que o engajamento das equipes atua como mecanismo de consolidação das mudanças implementadas, evidenciando que o sucesso das iniciativas de melhoria depende tanto de aspectos técnicos quanto da capacidade da organização em promover mudanças comportamentais e culturais duradouras.

Um estudo recente de [Teixeira \(2025\)](#) investigou quantitativamente a influência dos FCS no engajamento dos colaboradores e na sustentabilidade das práticas Lean no setor farmacêutico. Contudo, persiste uma lacuna na compreensão de como esses fatores operam em indústrias de base, como a siderurgia. Neste contexto, esta pesquisa propõe-se a avaliar se a presença de FCS específicos é capaz de elevar o engajamento das equipes e garantir a sustentabilidade das ações de melhoria, atuando como impulsionadores para a consolidação da maturidade da gestão da manutenção do Alto-Forno, cujos desafios culturais e operacionais são distintos.

Este trabalho, portanto, busca preencher esta lacuna. Partindo do framework desenvolvido por [Teixeira \(2025\)](#), propõe-se analisar a influência dos FCS sobre o engajamento dos colaboradores e a sustentabilidade das melhorias, bem como investigar de que forma esses construtos se relacionam com a maturidade da gestão da manutenção no contexto de uma empresa siderúrgica.

1.1 Problema de pesquisa

A complexidade e a imprevisibilidade do atual cenário econômico exigem que as organizações desenvolvam habilidades cada vez mais adaptadas para atender às necessidades do mercado (Fonseca, 2021). Nesse contexto, compreender os fatores que influenciam a eficácia e a sustentabilidade das ações de melhoria torna-se um desafio para as organizações que buscam aprimorar seu desempenho operacional.

A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) realizada por Teixeira (2025), a partir da análise de 296 artigos científicos, identificou que algumas pesquisas investigavam de variáveis específicas dos FCS e buscavam estabelecer conexões com o engajamento ou com a sustentabilidade. No entanto, o autor constatou a escassez de estudos que investiguem, de forma integrada, a relação entre FCS, engajamento e sustentabilidade, além da dispersão desses fatores na literatura.

Sob essa perspectiva, a literatura aponta que a identificação e a gestão de fatores críticos são determinantes para sustentar iniciativas de melhoria e transformação operacional. Schein e Schein (2022) argumentam que mudanças organizacionais dependem do alinhamento entre liderança, cultura e estrutura interna, destacando o papel da cultura como elemento central para a consolidação de novos comportamentos. Em consonância, Kotter (1996) enfatiza que o comprometimento da liderança e a comunicação clara da visão de mudança são condições essenciais para a implementação bem-sucedida de transformações organizacionais. De forma complementar, Bhamu e Sangwan (2014) ressaltam que a sustentação das melhorias requer não apenas fatores técnicos, mas também o envolvimento dos colaboradores e o fortalecimento de uma cultura voltada à melhoria contínua.

Adicionalmente, a literatura atual já identifica os FCS para a aplicação de métodos como Six Sigma (Bagherian; Gershon; Kumar, 2024) e Kaizen (Harry; Aken; Glover, 2025). Também já existem estudos que explicam como o Lean se relaciona com a Indústria 4.0. Kakouris, Athanasiadis e Sfakianaki (2023) argumentam que as tecnologias digitais podem potencializar práticas Lean já consolidadas, enquanto Wiechmann *et al.* (2022) destacam a importância da integração entre tecnologia, gestão e cultura organizacional para o sucesso dessa transformação. Entretanto, conforme evidenciado pela RSL conduzida por Teixeira (2025), ainda são escassos os estudos que analisem, de forma integrada, a percepção dos colaboradores acerca dos FCS e sua relação com o engajamento e a sustentabilidade das melhorias organizacionais.

Ademais, ao aplicar seu modelo na indústria farmacêutica, Teixeira (2025) deixou como recomendação a necessidade de que novos trabalhos fossem realizados em setores distintos. Atendendo a essa lacuna, a escolha pela aplicação deste estudo na siderurgia justifica-se por ser uma das principais fontes econômicas da região. Especificamente, a delimitação da pesquisa na manutenção do Alto-Forno deveu-se à proximidade e acessibilidade prévias dos pesquisadores junto à empresa, fator fundamental que viabilizou a imersão e a coleta de dados de forma interna à organização.

Dessa forma, identifica-se uma lacuna teórica relacionada à compreensão integrada das relações entre FCS, engajamento e sustentabilidade das melhorias, especialmente sob a perspectiva dos colaboradores envolvidos nos processos organizacionais. Diante desse cenário, emerge a seguinte pergunta de pesquisa: *Como os FCS, percebidos pelos colaboradores da manutenção do Alto-Forno, influenciam o engajamento e a sustentabilidade das melhorias, contribuindo para o desenvolvimento da maturidade da gestão da manutenção do Alto-Forno?*

1.2 Contextualização do problema de pesquisa

A análise do cenário operacional que fundamenta esta investigação baseia-se em um diagnóstico de maturidade técnica realizado por consultoria especializada no ano 2025. A metodologia aplicada integrou o Modelo de Maturidade de Manutenção (MMM), os requisitos da norma internacional ISO 55000 e os padrões corporativos de gestão da organização em estudo. O modelo de avaliação foi estruturado em quatro níveis evolutivos: (1) fraco, (2) em implantação, (3) implantado e (4) excelência. Conforme os critérios estabelecidos, o nível 2 ("em implantação") caracteriza processos que, embora iniciados, ainda não apresentam abrangência suficiente para garantir resultados consistentes.

O diagnóstico quantitativo atribuiu ao setor de manutenção do Alto-Forno uma pontuação global de 2,28, situando a unidade no nível "em implantação" de maturidade. Ao desmembrar essa avaliação pelos pilares fundamentais, observa-se que o pilar "processos" demonstrou o maior índice de criticidade, com nota 1,82. Essa pontuação evidencia lacunas estruturais como a ausência de padronização nos fluxos de trabalho do PCM, carência de matrizes de responsabilidade (RACI) e falhas no planejamento que induzem a equipe a uma atuação predominantemente reativa.

No pilar "pessoas", o diagnóstico revelou uma equipe tecnicamente experiente, porém prejudicada por uma cultura organizacional de "todos fazem tudo". A falta de clareza nos papéis e responsabilidades resulta em sobrecarga e acúmulo de funções, onde os colaboradores absorvem demandas variadas para compensar as deficiências dos processos sistêmicos. Esse comportamento, embora demonstre comprometimento individual, compromete o foco e a segurança operacional em um ativo de alta criticidade.

O diagnóstico realizado evidenciou dificuldades na sustentação das ações de melhoria implementadas no setor de manutenção do Alto-Forno. As fragilidades identificadas, especialmente nos pilares de processos e pessoas, indicam desafios para a consolidação das melhorias e para a evolução da maturidade da gestão da manutenção. Nesse contexto, torna-se relevante compreender como os FCS podem influenciar o engajamento dos colaboradores, a sustentabilidade das melhorias e o desenvolvimento da maturidade da gestão da manutenção.

1.3 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a influência dos FCS sobre o engajamento, a sustentabilidade e a maturidade da gestão da manutenção do Alto-Forno.

1.3.1 Objetivos específicos

Para cumprimento do objetivo geral é necessário atender aos seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar a estrutura e o funcionamento do processo de PCM do Alto-Forno, de modo a contextualizar o ambiente organizacional no qual se manifestam os FCS, o engajamento dos colaboradores, a sustentabilidade das melhorias e a maturidade da gestão da manutenção;
- Definir as variáveis que compõem o engajamento dos colaboradores, reconhecendo seus elementos essenciais;
- Definir as variáveis que compõem a sustentabilidade dos resultados alcançados pela indústria;
- Validar o modelo de mensuração dos construtos por meio da Análise Fatorial Exploratória;
- Analisar o impacto relativo das variáveis independentes, identificando os FCS que apresentem maior influência sobre o engajamento, a sustentabilidade das melhorias e a maturidade da gestão da manutenção do Alto-Forno;
- Propor recomendações de melhoria direcionadas aos fatores identificados como mais frágeis, visando fortalecer o engajamento dos colaboradores, a sustentabilidade das ações de melhoria e a maturidade da gestão da manutenção do Alto-Forno.

1.4 Justificativa

A pesquisa se justifica pela relevância do setor siderúrgico para a economia brasileira. Em 2024, o setor contava com 31 usinas, capacidade instalada de 51 milhões de toneladas de aço bruto por ano e mais de 117 mil trabalhadores, demonstrando sua importância para o desenvolvimento industrial do país ([Instituto Aço Brasil, 2025](#)).

No contexto específico desta pesquisa, a relevância do estudo está associada aos desafios identificados no setor de manutenção do Alto-Forno. O diagnóstico organizacional realizado em 2025 evidenciou fragilidades relacionadas à maturidade da gestão da manutenção, especialmente nos pilares de processos e pessoas, indicando dificuldades na consolidação e sustentação das melhorias implementadas. Dessa forma, compreender como os FCS influenciam o engajamento, a sustentabilidade e a maturidade da gestão da manutenção torna-se relevante para apoiar a evolução das práticas de gestão da manutenção.

Complementarmente, sob a ótica gerencial, a pesquisa ganha destaque pelo seu potencial de aplicação prática na tomada de decisão do setor na empresa. Os resultados obtidos podem fornecer subsídios consistentes para um diagnóstico assertivo do cenário atual, permitindo que a gestão atue de forma estratégica para orientar, priorizar e direcionar futuras ações de melhoria no setor do Alto-Forno.

Além da contribuição prática para o contexto estudado, este trabalho apresenta uma contribuição acadêmica distinta ao avançar sobre a pesquisa base de [Teixeira \(2025\)](#). O modelo adotado preserva a estrutura de FCS proposta pelo autor, mas amplia sua aplicação ao incorporar a maturidade da gestão da manutenção como um construto adicional. Outro ponto de distinção reside no contexto industrial: enquanto o estudo original focou na indústria farmacêutica, caracterizada por manufatura discreta e regulada, este trabalho aplica o modelo na siderurgia, um ambiente de processo contínuo e indústria de base, testando a validade do modelo em uma cultura operacional distinta.

As mudanças organizacionais associadas às práticas de melhoria contínua estão relacionadas ao desempenho operacional e à consolidação de rotinas de trabalho, uma vez que a melhoria sustentável depende da incorporação dos princípios à cultura organizacional e ao comportamento das pessoas ([Liker, 2022](#)). Portanto, o estudo contribui para ampliar a compreensão dos fatores associados à consolidação das ações de melhoria e ao desenvolvimento da maturidade da gestão da manutenção no contexto investigado.

2 Revisão da Literatura

Esta revisão fundamenta teoricamente a pesquisa, estabelecendo os principais conceitos que fornecem a estrutura para a análise dos dados. Alguns autores apontam que a implementação eficaz de melhorias não depende apenas de ferramentas técnicas, mas de uma interação entre os FCS, o nível de maturidade dos processos organizacionais e o fator humano, representado pelo engajamento. Isso ocorre porque a gestão de operações integra processos organizacionais, recursos e pessoas para assegurar desempenho e confiabilidade dos sistemas produtivos (Jacobs; Chase, 2023). Compreender essas variáveis é essencial para garantir a sustentabilidade das mudanças no longo prazo (Teixeira, 2025; Jugdev; Thomas, 2002).

Os construtos e dimensões adotados nesta pesquisa foram definidos com base no framework proposto por Teixeira (2025), desenvolvido a partir de uma RSL. Em seu estudo, o autor realizou uma busca estruturada em bases de dados científicas e analisou artigos relacionados aos FCS, engajamento e sustentabilidade em iniciativas de melhoria contínua. A partir dessa análise, foram identificadas as dimensões e variáveis consideradas mais relevantes pela literatura para a compreensão desses construtos.

Dessa forma, os autores e dimensões apresentados nos quadros desta pesquisa não foram selecionados de maneira isolada, mas fundamentados no modelo teórico consolidado por Teixeira (2025), sendo posteriormente adaptados ao contexto da gestão da manutenção do Alto-Forno de uma empresa siderúrgica.

Adicionalmente, foi incorporado o construto maturidade, com base em modelos de maturidade de processos amplamente discutidos na literatura, ampliando o escopo analítico originalmente proposto (Jugdev; Thomas, 2002).

2.1 Gestão da manutenção

A manutenção industrial desempenha papel estratégico nas organizações ao contribuir para a confiabilidade dos equipamentos, a disponibilidade dos ativos e a continuidade dos processos produtivos. Ao longo do tempo, sua atuação evoluiu de uma abordagem predominantemente corretiva para modelos orientados ao planejamento, monitoramento e gestão de ativos, acompanhando as transformações tecnológicas e organizacionais da indústria (Kardec; Nascif, 2009).

De acordo com a Norma Brasileira (NBR) 5462, manutenção consiste na combinação de ações técnicas e administrativas destinadas a manter ou recolocar um item em condições de desempenhar uma função requerida ([Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1994](#)). Nesse contexto, a manutenção deixa de ser apenas uma atividade operacional e passa a exercer influência direta sobre a segurança, a produtividade e os resultados organizacionais ([Nepomuceno, 1989](#)).

No setor siderúrgico, especialmente em ativos críticos como o Alto-Forno, a eficiência da gestão da manutenção depende não apenas da adoção de estratégias corretivas, preventivas ou preditivas, mas também da existência de processos estruturados, pessoas capacitadas e mecanismos que assegurem a sustentação das melhorias implementadas. Dessa forma, fatores relacionados à gestão, ao engajamento dos colaboradores, à sustentabilidade das melhorias e à maturidade dos processos tornam-se elementos relevantes para o desempenho da manutenção ([Gregório; Silveira, 2023](#)).

2.2 Fatores críticos de sucesso para a melhoria contínua

Os FCS representam as áreas-chave nas quais os resultados, se satisfatórios, assegurarão um desempenho competitivo bem-sucedido para a organização ([Rockart, 1979](#)). A identificação e o gerenciamento desses fatores são apontados na literatura recente como precursores indispensáveis para a implementação eficaz de programas de qualidade e melhoria contínua ([Bagherian; Gershon; Kumar, 2024](#); [Rockart, 1979](#)).

A análise dos estudos que embasam esta pesquisa revela uma convergência sobre quais são esses fatores fundamentais. [Harry, Aken e Glover \(2025\)](#), ao analisarem eventos de melhoria, destacam o apoio da alta administração como determinante para a alocação de recursos. Em consonância, [Kakouris, Athanasiadis e Sfakianaki \(2023\)](#) enfatizam que, mesmo em cenários de alta tecnologia, o treinamento e a cultura organizacional permanecem como pilares de sustentação.

Adicionalmente, o modelo de referência adotado ([Teixeira, 2025](#)) e as evidências de [Lizarelli et al. \(2026\)](#) reforçam a necessidade de uma estrutura de governança clara e, essencialmente, do empoderamento das equipes, garantindo que os colaboradores tenham autonomia para sustentar as mudanças propostas.

O Quadro 1 apresenta a consolidação desses FCS que servirão como variáveis independentes nesta pesquisa.

Quadro 1 – Dimensão dos FCS

FCS	Definição no Contexto da Manutenção	Referência
Liderança e Apoio da Alta Gestão	Envolvimento visível da gerência, suporte na remoção de barreiras e fornecimento de recursos para as ações de melhoria.	Harry et al. (2025); Bagherian (2024); Kotter et al. (1996)
Cultura Organizacional	Valores e comportamentos compartilhados que favorecem a abertura para mudanças, inovação e melhoria contínua.	Kakouris et al. (2023); Liker (2022)
Treinamento e Educação	Capacitação técnica e metodológica contínua para que a equipe domine os novos processos e ferramentas de PCM.	Kakouris et al. (2023); Harry et al. (2025)
Comunicação	Clareza no fluxo de informações sobre objetivos, metas e feedback das ações de melhoria entre todos os níveis hierárquicos.	Teixeira (2025); Lizarelli et al. (2025)
Estrutura de Governança	Definição clara de papéis, responsabilidades e rituais de acompanhamento (auditorias, reuniões) para sustentar as mudanças.	Lizarelli et al. (2025)
Empoderamento	Grau de autonomia concedido aos colaboradores para tomar decisões e agir sobre problemas identificados nos processos de manutenção.	Teixeira (2025); Bagherian (2024)

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Para mensurar a presença destes fatores no ambiente da siderúrgica, foram definidos itens específicos de avaliação, categorizados conforme as dimensões teóricas levantadas. O Quadro 2 apresenta a operacionalização desse construto.

Quadro 2 – Itens de avaliação dos FCS

Dimensão (Construto)	Código	Afirmação (Item do Questionário)	Referência Teórica Base
Liderança e Apoio da Alta Gestão	FCS1	A gerência e a supervisão demonstram, na prática, que as melhorias nos processos de manutenção são prioridade.	Teixeira (2025); Bagherian (2024).
	FCS2	Quando há urgência na produção, a liderança incentiva o cumprimento dos procedimentos corretos, evitando “gambiaras”.	Bagherian (2024); Harry et al. (2025).
	FCS3	Sinto que tenho respaldo da minha chefia imediata para aplicar as novas rotinas de trabalho propostas.	Teixeira (2025).
Comunicação	FCS4	Os objetivos das mudanças no setor foram explicados de forma clara para a equipe, ou seja, o “porquê” estamos mudando.	Teixeira (2025); Harry et al. (2025).
	FCS5	As informações sobre a programação semanal e as metas chegam até mim de forma precisa e no tempo certo.	Teixeira (2025).
	FCS6	Existe abertura para que eu dê sugestões ou aponte problemas nos novos processos sem medo de ser prejudicado.	Teixeira (2025); Harry et al. (2025).
	FCS7	Compreendo claramente como o meu trabalho diário contribui para os resultados globais do Alto-Forno.	Teixeira (2025).
	FCS8	As metas da manutenção, como disponibilidade e cumprimento de plano, são discutidas com a equipe operacional, não ficando restritas à gerência.	Teixeira (2025).
Treinamento e Educação	FCS9	Recebi o treinamento necessário para executar as novas rotinas e utilizar as ferramentas, como sistemas e ferramentas de trabalho.	Teixeira (2025); Lizzarelli et al.(2026).
	FCS10	Tenho acesso aos recursos físicos e digitais necessários, como computador, sistema e ferramentas, para seguir o novo padrão.	Teixeira (2025); Kakouris et al. (2023).
Empoderamento	FCS11	Tenho autonomia para interromper uma atividade ou propor alterações caso perceba que o plano de manutenção está incorreto ou inseguro.	Bagherian (2024); Teixeira (2025).
	FCS12	A supervisão confia na minha capacidade técnica para tomar decisões sobre a melhor forma de executar a tarefa.	Bagherian (2024); Teixeira (2025).
	FCS13	Sinto-me encorajado a resolver pequenos problemas do dia a dia sem precisar de aprovação constante da chefia.	Bagherian (2024); Teixeira (2025).
Cultura Organizacional	FCS14	Quando ocorre uma falha ou erro, o foco da equipe é descobrir a causa raiz do problema e não encontrar um culpado.	Kakouris et al. (2023).
	FCS15	Existe um ambiente de colaboração entre as equipes, como Operação, PCM e Execução, onde um ajuda o outro a cumprir as metas.	Kakouris et al. (2023).

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A sistematização desses fatores não apenas organiza o referencial teórico, mas estabelece os parâmetros fundamentais que serão testados empiricamente. Ao compreender como o apoio da gestão, a cultura, o treinamento e as demais variáveis interagem no ambiente da manutenção, torna-se possível avaliar o impacto real desses elementos sobre o engajamento das equipes e, consequentemente, sobre a perenidade das melhorias implementadas no Alto-Forno.

2.3 Engajamento

Nesta pesquisa, o engajamento é compreendido como um estado psicológico positivo de vínculo do colaborador com o trabalho, caracterizado por vigor, dedicação e absorção (Schaufeli et al., 2002). Neste estudo, ele não é um fim em si mesmo, mas a variável mediadora fundamental: entende-se que os FCS (Quadro 1) fornecem a base organizacional que, ao estimular o engajamento, viabiliza a elevação da maturidade da gestão da manutenção (Quadro 3).

O Quadro 3 apresenta as dimensões constitutivas deste construto e sua aplicação no ambiente de manutenção.

Quadro 3 – Dimensão do engajamento

Dimensão do EG	Variáveis de suporte
Vigor	Percepção de energia e disposição para aplicar as novas práticas de gestão, mesmo diante de dificuldades.
Dedicação	Percepção de orgulho e entusiasmo em fazer parte do processo de melhoria; sentimento de que o novo processo é importante.
Absorção	Nível de foco e imersão ao executar as novas tarefas; disposição para "fazer direito" o novo processo.
Iniciativa/ Participação	Disposição voluntária para sugerir melhorias nos novos processos; ajuda mútua entre colegas para adotar as mudanças.

Fonte: Adaptado de Teixeira (2025).

Para capturar o estado psicológico dos colaboradores frente às suas rotinas de manutenção, utilizou-se uma adaptação da escala UWES (Utrecht Work Engagement Scale), focada no contexto operacional do Alto-Forno, conforme apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 – Itens de avaliação do engajamento

Dimensão	Código	Afirmação (Item do Questionário)	Referência Teórica Base
Vigor e Energia	ENG1	No meu trabalho, sinto-me cheio de energia para aplicar as melhorias, mesmo diante das dificuldades do dia a dia.	Teixeira (2025); Schaufeli et al. (2002).
Dedicação	ENG2	Sinto orgulho em ver que a manutenção do Alto-Forno está se organizando e evoluindo.	Teixeira (2025); Schaufeli et al. (2002).
Absorção	ENG3	Quando estou realizando minhas atividades seguindo os novos processos, sinto-me focado e o tempo passa rápido.	Teixeira (2025); Schaufeli et al. (2002).
Iniciativa	ENG4	Frequentemente tomo a iniciativa de ajudar colegas a utilizarem os novos padrões ou sistemas corretamente.	Galeazzo, Furlan e Vinelli (2021).

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A importância dessas dimensões é evidenciada por estudos recentes, como os de [Harry, Aken e Glover \(2025\)](#) e [Teixeira \(2025\)](#), que destacam o papel do comportamento humano na adoção e sustentação das mudanças organizacionais. Nesse contexto, o engajamento é compreendido como um estado psicológico positivo caracterizado por vigor, dedicação e absorção ([Schaufeli et al., 2002](#)). Essas dimensões contribuem para a adoção e manutenção das práticas organizacionais, favorecendo a consolidação das melhorias implementadas. Assim, o modelo deste trabalho propõe que a maturidade da gestão da manutenção resulta não apenas da existência de processos formalizados, mas também da capacidade dos colaboradores de incorporar e sustentar tais práticas em sua rotina de trabalho.

2.4 Sustentabilidade

A sustentabilidade, no âmbito desta pesquisa, transcende a visão ambiental e foca na perenidade operacional. Ela é definida como a capacidade do sistema organizacional de manter os resultados de desempenho alcançados após a implementação de melhorias, evitando o retorno aos padrões anteriores (Harry; Aken; Glover, 2025). A sustentabilidade não é apenas a manutenção de um indicador, mas a internalização de novas rotinas de trabalho na cultura da empresa (Harry; Aken; Glover, 2025) (Tortorella; Fettermann, 2018).

O Quadro 5 apresenta os componentes essenciais que caracterizam uma melhoria sustentável no ambiente de manutenção.

Quadro 5 – Dimensão da sustentabilidade

Dimensão da SU	Variáveis de Suporte
Padronização e Rotina	Percepção de que os novos processos de gestão estão se tornando o “novo padrão” e são seguidos por todos.
Monitoramento	Percepção de que os resultados são medidos e que a liderança acompanha (cobra) a manutenção dos novos processos.
Autonomia da Equipe	Percepção de que a própria equipe (sem a consultoria) consegue manter a melhoria e resolver pequenos desvios no processo.
Não-Retrocesso	Frequência com que a equipe percebe o abandono das novas práticas para “apagar incêndios” ou voltar ao processo antigo.

Fonte: Adaptado de Teixeira (2025).

A mensuração da sustentabilidade verifica se as melhorias implantadas se tornaram perenes. O Quadro 6 apresenta os itens que avaliam desde a padronização até os mecanismos de não retrocesso.

Quadro 6 – Itens de avaliação da sustentabilidade

Dimensão	Código	Afirmação (Item do Questionário)	Referência Teórica Base
Padronização e Rotina	SUS1	Os novos processos de gestão já fazem parte da minha rotina automática, não sendo mais vistos como algo passageiro.	Teixeira (2025); Galeazzo et al. (2021).
Autonomia da Equipe	SUS2	Acredito que, mesmo sem a cobrança externa, a equipe continuaria mantendo os padrões de organização atuais.	Harry et al. (2025); integrada Teixeira (2025).
Monitoramento	SUS3	Existem indicadores visuais que mostram se o novo processo está sendo seguido corretamente.	Teixeira (2025).
Não Retrocesso	SUS4	Percebo que as melhorias implementadas estão gerando resultados constantes ao longo do tempo.	Teixeira (2025).

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A interação entre essas quatro dimensões cria um ciclo virtuoso de estabilidade. Enquanto a padronização e o monitoramento fornecem a estrutura técnica (o "como fazer" e o "como medir"), é a autonomia da equipe que garante a energia para manter a roda girando. Por fim, o não retrocesso atua como mecanismo de segurança. No modelo deste trabalho, infere-se que somente quando esses quatro elementos operam juntos é possível assegurar que o engajamento gerado pelos FCS se converta, de fato, em um nível de maturidade superior e duradouro.

2.5 Maturidade

Modelos de maturidade são ferramentas de avaliação que descrevem um caminho evolucionário para a melhoria das capacidades organizacionais, permitindo que uma empresa avalie seu estado atual e identifique os estágios necessários para alcançar um desempenho superior, conforme descrito por [Jugdev e Thomas \(2002\)](#). Na gestão de operações, a consolidação de processos padronizados e mensurados é central para obter resultados sustentáveis, como destacam [Slack, Brandon-Jones e Burgess \(2023\)](#). Segundo os autores, a maturidade não é um estado estático, mas uma progressão de competências que transforma conhecimentos tácitos em processos gerenciados.

No contexto da manutenção industrial, essa evolução concretiza-se mediante a sistematização do planejamento e da programação da manutenção, integrando diagnóstico de falhas, definição de intervenções e sequenciamento das atividades de forma a otimizar o desempenho produtivo por meio de políticas estruturadas de confiabilidade e manutenção sistemática, tema discutido por [Fogliatto \(2009\)](#) e [Jeong, Leon e Villalobos \(2007\)](#). Tal processo associa-se à organização formal da gestão da manutenção, incluindo o PCM, a definição de indicadores e a consolidação de práticas preventivas e preditivas, pilares para a elevação da maturidade operacional, conforme argumentam [Gregório, Santos e Prata \(2018\)](#).

Neste estudo, a análise da maturidade articula os níveis evolutivos de maturidade organizacional propostos por [Jugdev e Thomas \(2002\)](#) — que variam de práticas ad hoc a sistemas gerenciados e continuamente aprimorados — com os quatro pilares estruturantes da manutenção do Alto-Forno identificados no diagnóstico organizacional: pessoas, processos, tecnologia e ativos.

O Quadro 7 relaciona a escala teórica de [Jugdev e Thomas \(2002\)](#) com o comportamento esperado desses pilares em cada estágio de evolução.

Quadro 7 – Dimensão da maturidade da gestão da manutenção

Nível / Estágio (Jugdev & Thomas, 2002)	Características dos pilares (pessoas, processos, tecnologia e ativos)
Nível 1: Ad-hoc	Desintegração: Processos inexistentes ou caóticos. O pilar pessoas atua sob “heroísmo” individual para resolver falhas. Tecnologia é subutilizada ou inexistente. Ativos operam até a quebra (manutenção corretiva não planejada).
Nível 2: Definido	Estruturação inicial: Os processos são desenhados e documentados, mas a execução oscila. Em pessoas, há treinamento básico, mas o engajamento é instável. A tecnologia apoia o cadastro básico. Ativos começam a ter planos preventivos, embora o cumprimento seja parcial.
Nível 3: Gerenciado	Integração e Controle: Processos padronizados e medidos por indicadores. Pessoas possuem papéis claros e autonomia. Tecnologia integrada fornece dados confiáveis. Foco na confiabilidade dos Ativos e na prevenção de falhas antes que ocorram.
Nível 4: Otimizado	Excelência Sustentável: Foco na melhoria contínua dos Processos através de dados. Pessoas atuam como agentes de inovação. Tecnologia preditiva orienta as decisões. Ativos geram valor estratégico com máxima disponibilidade.

Fonte: Adaptado de Jugdev e Thomas (2002).

A avaliação do nível de maturidade da gestão da manutenção baseia-se nos quatro pilares fundamentais descritos anteriormente. A análise integrada desses pilares permite identificar o estágio de desenvolvimento dos processos organizacionais e compreender os principais desafios para a evolução da gestão da manutenção (Slack; Brandon-Jones; Burgess, 2023; Jugdev; Thomas, 2002).

Nesse contexto, a maturidade não deve ser entendida apenas como a existência de procedimentos formalizados, mas como a capacidade da organização de integrar pessoas, processos, tecnologia e ativos em um sistema orientado à melhoria contínua (Gregório; Silveira, 2023; Fogliatto, 2009; Jugdev; Thomas, 2002).

O Quadro 8 detalha os itens utilizados para compor o diagnóstico desta variável dependente.

Quadro 8 – Itens de avaliação da maturidade

Dimensão	Código	Afirmação (Item do Questionário)	Referência Teórica Base
Padronização de processos	MAT1	As atividades de manutenção (preventiva, corretiva) possuem um padrão claro de execução que é seguido por todos.	Relatório Diagnóstico (2024); Jugdev & Thomas (2002).
	MAT2	O fluxo entre a abertura da Ordem de Manutenção e o seu encerramento no sistema está bem definido e organizado.	Relatório Diagnóstico (2024).
	MAT3	Existe uma rotina clara de planejamento que evita que a equipe atue apenas de forma corretiva (“apagando incêndio”).	Relatório Diagnóstico (2024); Jugdev & Thomas (2002).
Tecnologia e dados	MAT4	O sistema de gestão (SAP/Software) contém todas as informações necessárias para o processo de tomada de decisão.	Relatório Diagnóstico (2024); Kakouris et al. (2023).
	MAT5	As informações presentes no sistema são confiáveis e atualizadas.	Relatório Diagnóstico (2024).
Definição dos papéis	MAT6	Todos os colaboradores conhecem claramente suas responsabilidades e papéis de cada um.	Relatório Diagnóstico (2024).
	MAT7	A equipe possui autonomia técnica para executar as atividades planejadas.	Relatório Diagnóstico (2024).
Ativos	MAT8	Os ativos e infraestrutura críticos possuem planos preventivos estruturados e acompanhados.	Jugdev & Thomas (2002).
	MAT9	O setor de manutenção tem reduzido as intervenções emergenciais não planejadas nos ativos críticos e infraestrutura.	Jugdev & Thomas (2002).

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Os itens apresentados no Quadro 8 foram elaborados com base nos referenciais teóricos discutidos anteriormente e adaptados ao contexto da gestão da manutenção do Alto-Forno. A partir dessas dimensões, torna-se possível avaliar o nível de maturidade da organização e compreender como os diferentes construtos analisados nesta pesquisa podem contribuir para sua evolução.

Com base nessas relações teóricas, foi construído um modelo conceitual da pesquisa e suas hipóteses propostas para a investigação, abordado na seção seguinte, que apresentará os aspectos metodológicos do presente estudo.

3 Metodologia

3.1 Modelo conceitual e hipóteses da pesquisa

A literatura apresentada nas seções anteriores evidencia que a implementação e a sustentação de melhorias organizacionais dependem da interação entre fatores técnicos, organizacionais e humanos. Os FCS são apontados como elementos essenciais para o êxito de iniciativas de melhoria, pois fornecem as condições necessárias para a execução das mudanças e para a obtenção dos resultados esperados (Bagherian; Gershon; Kumar, 2024; Rockart, 1979). Paralelamente, o engajamento dos colaboradores representa um fator humano fundamental para a adoção e manutenção das práticas implementadas (Schaufeli *et al.*, 2002), enquanto a sustentabilidade está relacionada à capacidade da organização de preservar os resultados alcançados ao longo do tempo (Teixeira, 2025).

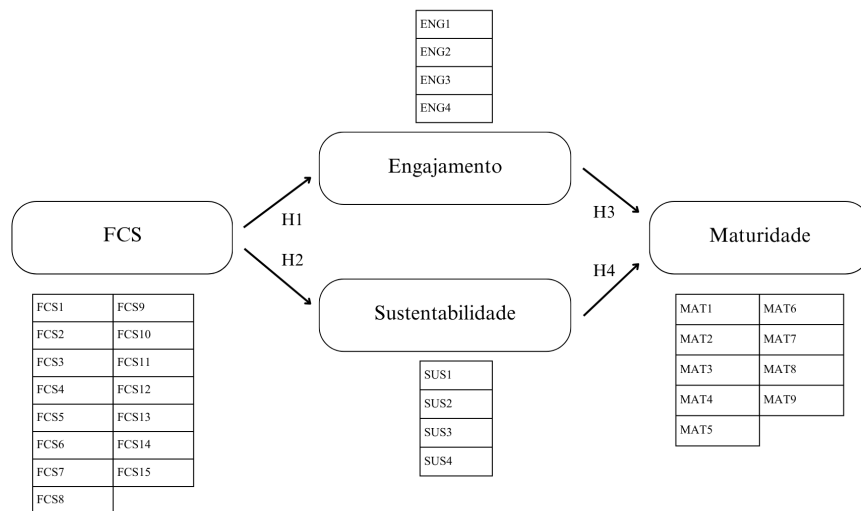
No contexto da gestão da manutenção, especialmente em ambientes industriais complexos como o Alto-Forno, a efetividade das melhorias depende não apenas da implementação de práticas e ferramentas adequadas, mas também da capacidade da organização de consolidá-las em seus processos e rotinas. Nesse sentido, a maturidade da gestão da manutenção pode ser compreendida como o resultado do desenvolvimento progressivo das capacidades organizacionais, refletindo o grau de padronização, controle, integração e melhoria contínua dos processos (Slack; Brandon-Jones; Burgess, 2023; Fogliatto, 2009; Jugdev; Thomas, 2002).

Com base nos referenciais teóricos apresentados, propõe-se um modelo conceitual que busca analisar as relações entre os FCS, o engajamento dos colaboradores, a sustentabilidade das melhorias e a maturidade da gestão da manutenção. Fundamentado nos estudos de Teixeira (2025) e Bagherian, Gershon e Kumar (2024), o modelo pressupõe que os FCS influenciam positivamente o engajamento dos colaboradores e a sustentabilidade das melhorias.

Adicionalmente, considera-se que o engajamento dos colaboradores e a sustentabilidade das melhorias contribuem para a evolução da maturidade da gestão da manutenção, uma vez que favorecem a consolidação das práticas organizacionais e a melhoria contínua dos processos (Teixeira, 2025; Jugdev; Thomas, 2002).

A Figura 1 apresenta o modelo conceitual proposto para esta pesquisa.

Figura 1 – Modelo conceitual



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A estrutura proposta sugere que a maturidade da gestão da manutenção seja resultado de uma cadeia de relações entre os construtos analisados (Teixeira, 2025; Jugdev; Thomas, 2002).

Dessa forma, para avaliar essas relações no contexto da gestão da manutenção do Alto-Forno, foram formuladas as seguintes hipóteses de pesquisa:

H1: Os FCS influenciam positivamente o engajamento dos colaboradores.

H2: Os FCS influenciam positivamente a sustentabilidade das melhorias implementadas.

H3: O engajamento dos colaboradores influencia positivamente a maturidade da gestão da manutenção.

H4: A sustentabilidade das melhorias influencia positivamente a maturidade da gestão da manutenção.

3.2 Caracterização da pesquisa

Esta pesquisa caracterizou-se, quanto à natureza, como aplicada, uma vez que buscou gerar conhecimentos voltados à compreensão de um problema específico em um contexto organizacional. Quanto à abordagem, classificou-se como quantitativa (Hair *et al.*, 2009), por utilizar um questionário estruturado e técnicas estatísticas para análise dos dados coletados.

Quanto aos objetivos, a pesquisa apresentou caráter explicativo, pois buscou compreender as relações existentes entre os FCS, o engajamento dos colaboradores, a sustentabilidade das melhorias e a maturidade da gestão da manutenção, por meio do teste de hipóteses previamente estabelecidas.

Quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa configurou-se como um estudo de caso, realizado no setor de manutenção do Alto-Forno de uma empresa siderúrgica localizada em Minas Gerais. De acordo com Yin (2015), o estudo de caso é indicado quando a pesquisa busca responder questões do tipo “como” e “por que”, possui foco em eventos contemporâneos e ocorre em situações nas quais o pesquisador possui pouco ou nenhum controle sobre os eventos comportamentais investigados.

A adoção dessa estratégia metodológica justificou-se pela necessidade de compreender as relações entre os FCS, o engajamento dos colaboradores, a sustentabilidade das melhorias e a maturidade da gestão da manutenção em um contexto organizacional específico. Além disso, Yin (2015) destaca que estudos de caso podem incorporar evidências quantitativas, tornando compatível a utilização de questionários estruturados e de técnicas estatísticas de análise dos dados no presente estudo.

3.3 Caracterização da unidade de análise

A unidade de análise desta pesquisa corresponde ao setor de manutenção do Alto-Forno de uma empresa siderúrgica localizada em Minas Gerais. O setor é responsável pelo planejamento, programação, inspeção e execução das atividades de manutenção necessárias para garantir a disponibilidade e a confiabilidade dos equipamentos envolvidos no processo produtivo.

A gestão da manutenção do setor está estruturada em diferentes funções e especialidades, envolvendo atividades de PCM, inspeção, manutenção mecânica, elétrica, automação e instrumentação. Essas atividades são desempenhadas de forma integrada, visando assegurar a continuidade operacional dos ativos e o atendimento aos objetivos de desempenho da organização.

A escolha dessa unidade de análise justificou-se pela relevância da manutenção para a confiabilidade dos processos produtivos e pela necessidade de compreender como os FCS, o engajamento dos colaboradores e a sustentabilidade das melhorias se relacionam com a maturidade da gestão da manutenção em um contexto organizacional específico.

3.4 População e amostra

A população da pesquisa foi composta pelos colaboradores do setor de manutenção do Alto-Forno da empresa estudada, buscando contemplar diferentes níveis hierárquicos e funções, de modo a obter uma visão abrangente da gestão da manutenção.

O estudo caracterizou-se como um censo da população-alvo, uma vez que buscou incluir todos os colaboradores do setor. A adoção do censo justificou-se pelo reduzido tamanho da população pesquisada, permitindo a participação de todos os profissionais envolvidos nas atividades de manutenção do Alto-Forno.

A população foi composta por 33 profissionais distribuídos entre diferentes áreas da manutenção. Entre eles estavam uma gerente, um aprovisionador, quatro eletricitas de turno, um engenheiro de PCM, quatro planejadores (três da área mecânica e um da área elétrica), um programador, três inspetores, quatro mecânicos, dois supervisores (mecânica e elétrica), dois técnicos de automação, três técnicos de elétrica, três técnicos de execução, dois técnicos de instrumentação e um estagiário de confiabilidade.

Todos os 33 colaboradores participaram da pesquisa, resultando em uma taxa de resposta de 100%. Dessa forma, a amostra coincidiu integralmente com a população investigada, eliminando perdas amostrais e garantindo a representação de todos os profissionais que compõem o setor estudado.

A participação de profissionais com diferentes atribuições permitiu captar percepções provenientes de distintas etapas do processo de gestão da manutenção, contribuindo para uma compreensão mais abrangente dos construtos investigados nesta pesquisa.

3.5 Instrumento e procedimentos de coleta de dados

Os dados foram coletados por meio da aplicação de um questionário estruturado aos colaboradores do setor de manutenção do Alto-Forno da empresa estudada, elaborado com o objetivo de mensurar as percepções dos respondentes em relação aos FCS, ao engajamento dos colaboradores, à sustentabilidade das melhorias e à maturidade da gestão da manutenção.

O instrumento foi adaptado a partir do questionário desenvolvido por [Teixeira \(2025\)](#), selecionado por contemplar os construtos FCS, engajamento e sustentabilidade das melhorias, alinhados aos objetivos desta pesquisa. Como adaptação ao contexto do estudo, foi incluído o construto maturidade da gestão da manutenção, bem como suas respectivas variáveis de análise, definidas com base no diagnóstico organizacional da empresa e no referencial teórico adotado.

As respostas foram obtidas por meio de uma escala do tipo Likert de cinco pontos ([Likert, 1932](#)), variando de 1 (Discordo Totalmente) a 5 (Concordo Totalmente). A utilização dessa escala possibilitou mensurar o grau de concordância dos respondentes em relação às afirmações apresentadas no questionário.

O instrumento foi estruturado em quatro construtos principais. O primeiro construto avaliou os FCS relacionados à implementação e à sustentabilidade das melhorias. O segundo investigou o engajamento dos colaboradores, considerando as dimensões de vigor, dedicação e absorção. O terceiro analisou a sustentabilidade das melhorias implementadas. Por fim, o quarto construto avaliou a maturidade da gestão da manutenção a partir dos pilares pessoas, processos, tecnologia e ativos. Os construtos investigados e as relações hipotetizadas entre eles encontram-se sintetizados na Figura 1, apresentada ao final da revisão da literatura.

O questionário foi aplicado a todos os colaboradores que compunham a população investigada, caracterizando um censo da população-alvo. O instrumento foi disponibilizado durante o período de coleta definido para a pesquisa (entre abril e maio de 2026), contemplando profissionais de diferentes níveis hierárquicos e áreas de atuação do setor de manutenção do Alto-Forno.

A participação dos colaboradores ocorreu de forma voluntária, sendo os respondentes previamente informados sobre os objetivos da pesquisa. Com o intuito de garantir a confidencialidade das informações e incentivar respostas sinceras, o questionário não solicitou a identificação dos participantes, cargo e sexo, assegurando o anonimato das respostas.

Após a conclusão da etapa de coleta, os dados do questionário foram consolidados em planilha eletrônica para tratamento e organização dos dados, possibilitando a realização das análises estatísticas previstas na pesquisa.

Ao final do período de coleta, foram obtidas respostas dos 33 colaboradores que compunham a população estudada, resultando em uma taxa de resposta de 100%. O instrumento de pesquisa completo, consolidado na ordem de aplicação aos respondentes, encontra-se apresentado no Apêndice A.

3.6 Procedimentos de análise dos dados

Após a coleta, os dados foram organizados em planilha eletrônica e a análise estatística foi estruturada em duas etapas principais, utilizando os softwares JASP e Minitab. Inicialmente, conduziu-se uma análise descritiva dos dados com o objetivo de caracterizar o comportamento das variáveis e o perfil da amostra investigada.

A primeira fase do tratamento quantitativo ocorreu no software JASP, orientada pela diretriz da Modelagem de Equações Estruturais (SEM). O propósito central desta etapa foi conduzir uma Análise Fatorial Confirmatória (AFC) para avaliar a qualidade global de ajuste do modelo de mensuração, verificando se os itens teóricos refletiam apropriadamente os seus respectivos construtos latentes.

Entretanto, a aplicação plena da SEM demonstrou-se inviável para a fase de equacionamento do modelo estrutural, ou seja, para o teste simultâneo das hipóteses. A literatura estatística [Hair et al. \(2009\)](#) postula que modelos compostos por múltiplos construtos e indicadores exigem propriedades assintóticas, o que pressupõe amostras extensas para garantir a estimação de parâmetros estáveis. Devido à elevada complexidade do modelo em justaposição ao tamanho da amostra (33 observações), o algoritmo não dispôs de variabilidade matemática (graus de liberdade) suficiente para computar a matriz de informação de forma integral. Consequentemente, o software mostrou-se incapaz de derivar os erros padrão e de calcular os níveis de significância estatística (p-value). Sendo assim, a permanência exclusiva no JASP conferiria à análise um caráter estritamente direcional, carecendo da qualificação probabilística exigida para a validação deste estudo.

Para viabilizar a testagem inferencial das hipóteses, contornando a restrição de graus de liberdade que inviabilizou a análise estrutural simultânea, o fluxo metodológico foi direcionado para o software Minitab. A estratégia adotada fundamentou-se na simplificação prévia das variáveis mediante Análise Fatorial Exploratória (AFE), sucedida pela aplicação de modelos de Regressão Linear Simples (RLS). A escolha pela AFE, em detrimento de outras técnicas multivariadas de interdependência (como a Análise de Conglomerados, por exemplo), justificou-se pela necessidade estrita de redução de dimensionalidade dos construtos, permitindo consolidar múltiplos indicadores em variáveis únicas para viabilizar as análises subsequentes.

Desse modo, a extração dos fatores no Minitab foi conduzida por meio da técnica de Análise de Componentes Principais (Principal Component Analysis – PCA), a partir da matriz de correlação dos dados. O objetivo metodológico desta etapa não se ateve à interpretação isolada das cargas fatoriais, mas à verificação da viabilidade de agrupar os múltiplos itens de cada construto em um número reduzido de dimensões latentes.

Estabeleceu-se como critério técnico de retenção que as dimensões extraídas deveriam explicar, no mínimo, 50% da variabilidade total do construto. A definição do número ideal de fatores para os construtos FCS, engajamento, sustentabilidade e maturidade fundamentou-se na avaliação combinada do critério de [Kaiser \(1960\)](#) (autovalores superiores a 1), na análise visual do gráfico Scree Plot e na observação das cargas fatoriais, buscando valores predominantes superiores a 0,50 ([Hair et al., 2009](#)). Após a definição da estrutura fatorial, o software foi programado para calcular e armazenar os escores fatoriais. Esse procedimento permitiu sintetizar as respostas obtidas na escala Likert em variáveis quantitativas contínuas representativas de cada construto para todos os respondentes.

De posse dos escores fatoriais armazenados, procedeu-se à etapa final de verificação estatística. A adoção da Regressão Linear Simples, foi fundamental para garantir a validade das inferências. Testar as relações isoladamente evitou o esgotamento dos graus de liberdade que ocorreria em modelos multivariados simultâneos frente ao tamanho da amostra. Nesse contexto, as hipóteses estruturais da pesquisa foram avaliadas de forma isolada por meio de análises de RLS no Minitab. Foram testadas, individualmente, as relações entre os FCS e o engajamento (H1); entre os FCS e a sustentabilidade (H2); entre o Engajamento e a maturidade da gestão da manutenção (H3); e entre a sustentabilidade e a maturidade da gestão da manutenção (H4).

A utilização dos escores fatoriais como variáveis independentes e dependentes nos modelos lineares permitiu avaliar a magnitude, a direção e a significância estatística (p-value) das relações propostas. Ao fragmentar o modelo global em regressões lineares simples, superou-se a limitação imposta pelo reduzido tamanho da amostra, assegurando a validade inferencial e o rigor metodológico necessários para o teste e a discussão das hipóteses desta pesquisa.

4 Resultados

4.1 Caracterização da amostra

A amostra foi composta por 33 colaboradores da gerência de área de manutenção do Alto-Forno da empresa siderúrgica estudada. Os participantes pertenciam a diferentes áreas da estrutura organizacional da manutenção, incluindo supervisão mecânica, engenharia de confiabilidade, engenharia de PCM, elétrica, instrumentação e automação, além de atividades relacionadas ao planejamento, programação, aprovisionamento, inspeção e execução da manutenção.

A distribuição dos respondentes por setor é apresentada na Tabela 1. Observa-se predominância de colaboradores da área mecânica, que representaram 63,6% da amostra, enquanto os profissionais da área elétrica corresponderam a 36,4% dos respondentes. Esse resultado reflete a composição da estrutura organizacional da manutenção do Alto-Forno analisada neste estudo.

A Tabela 2 apresenta a distribuição dos respondentes em relação ao tempo de atuação na área. Verificou-se que a maior parcela dos participantes possuía mais de 10 anos de experiência, correspondendo a 57,6% da amostra. Os colaboradores com tempo de atuação entre 1 e 3 anos representaram 21,2% dos respondentes, enquanto as demais faixas apresentaram participações inferiores a 10%.

Esses resultados indicam que a amostra é composta majoritariamente por profissionais experientes, com amplo conhecimento das rotinas operacionais e dos processos de manutenção do Alto-Forno. Tal característica contribui para a confiabilidade das percepções coletadas acerca dos FCS, do engajamento dos colaboradores, da sustentabilidade das melhorias implementadas e da maturidade da gestão da manutenção analisados neste estudo.

Tabela 1 – Distribuição dos respondentes por setor

Setor	Frequência	Percentual (%)
Mecânica	21	63,6
Elétrica	12	36,4
Total	33	100,0

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Tabela 2 – Distribuição dos respondentes por tempo de atuação

Tempo de atuação	Frequência	Percentual (%)
Menos de 1 ano	3	9,1
1 a 3 anos	7	21,2
4 a 5 anos	1	3,0
5 a 10 anos	3	9,1
Mais de 10 anos	19	57,6
Total	33	100,0

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

4.2 Validação do modelo de mensuração por meio da Análise Fatorial Exploratória

Com o objetivo de verificar a validade da estrutura dos construtos propostos no modelo conceitual, foi realizada a AFE utilizando o método PCA, por meio do software Minitab. A análise teve como finalidade avaliar a dimensionalidade dos construtos, identificar possíveis variáveis com baixa representatividade e verificar se os indicadores agrupavam-se de forma coerente em fatores latentes.

Inicialmente, foram analisados os construtos FCS, engajamento, sustentabilidade e maturidade. Para cada construto, avaliaram-se as cargas fatoriais, os autovalores, a variância explicada e os gráficos *scree plot*. Adotou-se como critério a retenção de estruturas unidimensionais sempre que o primeiro fator explicasse, no mínimo, 50% da variância total e as cargas fatoriais fossem superiores a 0,50, conforme recomendações de [Hair et al. \(2009\)](#).

Nos casos em que esses critérios não foram inicialmente atendidos, procedeu-se ao refinamento dos construtos por meio da exclusão sequencial das variáveis que apresentaram menor contribuição para a estrutura fatorial. Após a definição da estrutura final de cada construto, foram gerados os respectivos escores fatoriais, posteriormente utilizados nas análises de regressão para o teste das hipóteses da pesquisa.

4.2.1 Fatores Críticos de Sucesso (FCS)

Com o objetivo de validar a estrutura do construto FCS, foi realizada a AFE utilizando o método PCA, por meio do software Minitab. A análise teve como finalidade verificar se os indicadores do construto representavam adequadamente uma única dimensão latente, conforme o modelo conceitual proposto para esta pesquisa.

Inicialmente, a AFE foi executada considerando todas as quinze variáveis do construto (FCS1 a FCS15). Nessa primeira análise, o primeiro fator explicou 47,7% da variância total, percentual inferior ao critério mínimo de 50% adotado neste estudo para caracterização de uma estrutura unidimensional. Diante desse resultado, procedeu-se ao refinamento do modelo mediante exclusão sequencial das variáveis que apresentaram menor contribuição para a estrutura fatorial.

Na primeira reespecificação, foi excluída a variável FCS6, resultando em um aumento da variância explicada pelo primeiro fator para 48,1%. Embora tenha sido observada uma melhora em relação ao modelo inicial, o percentual permaneceu abaixo do valor mínimo estabelecido. Em seguida, verificou-se que a variável FCS5 apresentou a menor carga fatorial entre os indicadores remanescentes (0,524), sendo também excluída do modelo. Após essa nova reespecificação, a análise foi repetida, obtendo-se uma estrutura composta por treze variáveis e um único fator capaz de explicar 50,0% da variância total, atendendo ao critério metodológico definido para esta pesquisa. O processo de refinamento do construto está sintetizado na Tabela 3.

Tabela 3 – Processo de refinamento do construto FCS

Etapa	Variável exclu- ída	Justificativa	Variância do Fa- tor 1 (%)
Análise inicial	Nenhuma	Modelo inicial	47,7
1ª reespecificação	FCS6	Baixa contribuição para o construto	48,1
2ª reespecificação	FCS5	Menor carga fatorial (0,524)	50,0

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados obtidos no Minitab (2026).

Após o refinamento, analisaram-se as cargas fatoriais das variáveis remanescentes. Conforme apresentado na Tabela 4, todas as variáveis apresentaram cargas fatoriais superiores ao limite mínimo de 0,50 recomendado por Hair *et al.* (2009), indicando adequada representatividade dos indicadores em relação ao fator comum extraído. As cargas fatoriais variaram entre 0,539 e 0,773, sendo a maior observada para a variável FCS11 e a menor para FCS10. Apesar de apresentar a menor carga entre os indicadores finais, a variável FCS10 permaneceu acima do valor de referência, justificando sua permanência no modelo.

Tabela 4 – Cargas fatoriais finais do construto FCS

Variável	Carga fatorial
FCS1	0,769
FCS2	0,764
FCS3	0,749
FCS4	0,761
FCS7	0,749
FCS8	0,583
FCS9	0,671
FCS10	0,539
FCS11	0,773
FCS12	0,666
FCS13	0,742
FCS14	0,694
FCS15	0,686

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados obtidos no Minitab (2026).

A Tabela 5 apresenta os autovalores e a variância explicada pelo modelo final. Observa-se que o primeiro fator apresentou autovalor igual a 6,500, explicando 50,0% da variância total do construto. Os fatores subsequentes apresentaram autovalores inferiores e contribuíram apenas para o aumento da variância acumulada, indicando que a maior parte da informação contida nas variáveis é explicada pelo primeiro componente.

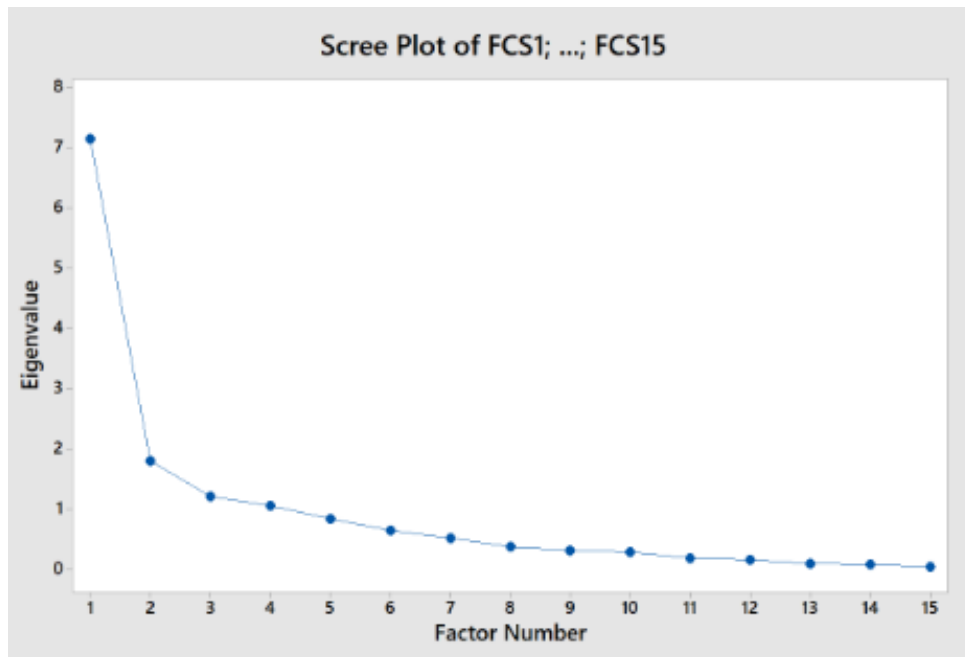
Tabela 5 – Autovalores e variância explicada do construto FCS

Fator	Autovalor	Variância (%)	Variância acumulada (%)
1	6,500	50,0	50,0
2	1,592	12,2	62,2
3	1,123	8,6	70,8
4	0,918	7,1	77,9

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados obtidos no Minitab (2026).

A Figura 2 apresenta o *scree plot* obtido para o construto FCS. Observa-se uma acentuada redução dos autovalores após o primeiro componente, seguida pela estabilização da curva, comportamento característico de estruturas predominantemente unidimensionais. Esse resultado reforça a retenção de um único fator para representar o construto, corroborando os resultados observados na análise da variância explicada.

Figura 2 – Scree plot do construto FCS



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados obtidos no Minitab (2026).

Com a definição da estrutura fatorial final, foram gerados os escores fatoriais pelo método de regressão disponível no Minitab. Esse procedimento atribuiu um único escore para cada um dos 33 respondentes, sintetizando o comportamento das treze variáveis em uma medida representativa do construto FCS. Esses escores fatoriais foram posteriormente utilizados como variável independente nas análises de regressão empregadas para o teste das hipóteses propostas nesta pesquisa.

Em síntese, os resultados evidenciam que, após o processo de refinamento, o construto FCS apresentou estrutura unidimensional satisfatória, atendendo aos critérios de validade fatorial adotados nesta pesquisa. As cargas fatoriais permaneceram superiores ao limite recomendado, e o primeiro fator passou a explicar 50,0% da variância total do construto, confirmando sua adequação para representar os FCS percebidos pelos respondentes.

Assim, conclui-se que o construto apresentou evidências de validade fatorial, sendo considerado estatisticamente adequado para a geração dos escores fatoriais e para utilização nas análises de regressão destinadas ao teste das hipóteses propostas neste estudo.

4.2.2 Engajamento

Com o objetivo de verificar a estrutura fatorial do construto engajamento, foi realizada a AFE utilizando o método do PCA, por meio do software Minitab. A análise teve como finalidade verificar se os quatro indicadores do construto representavam adequadamente uma única dimensão latente.

Os resultados, apresentados na Tabela 6, indicaram que o primeiro fator apresentou autovalor igual a 2,257, explicando 56,4% da variância total do construto. Como esse percentual é superior ao critério mínimo de 50% adotado nesta pesquisa, conclui-se que o construto apresenta estrutura unidimensional, não sendo necessária a exclusão de nenhuma variável.

Tabela 6 – Autovalores e variância explicada do construto engajamento

Fator	Autovalor	Variância (%)	Variância acumulada (%)
1	2,257	56,4	56,4
2	0,743	18,6	75,0
3	0,630	15,7	90,7
4	0,371	9,3	100,0

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados obtidos no Minitab (2026).

Na sequência, foram analisadas as cargas fatoriais dos indicadores. Conforme apresentado na Tabela 7, todas as variáveis apresentaram cargas fatoriais superiores ao limite mínimo de 0,50 recomendado por Hair *et al.* (2009), evidenciando adequada representatividade do construto. As cargas fatoriais variaram entre 0,644 e 0,839, sendo a variável ENG3 a que apresentou maior contribuição para o fator comum, enquanto ENG2 apresentou a menor carga fatorial, permanecendo, entretanto, acima do valor mínimo recomendado.

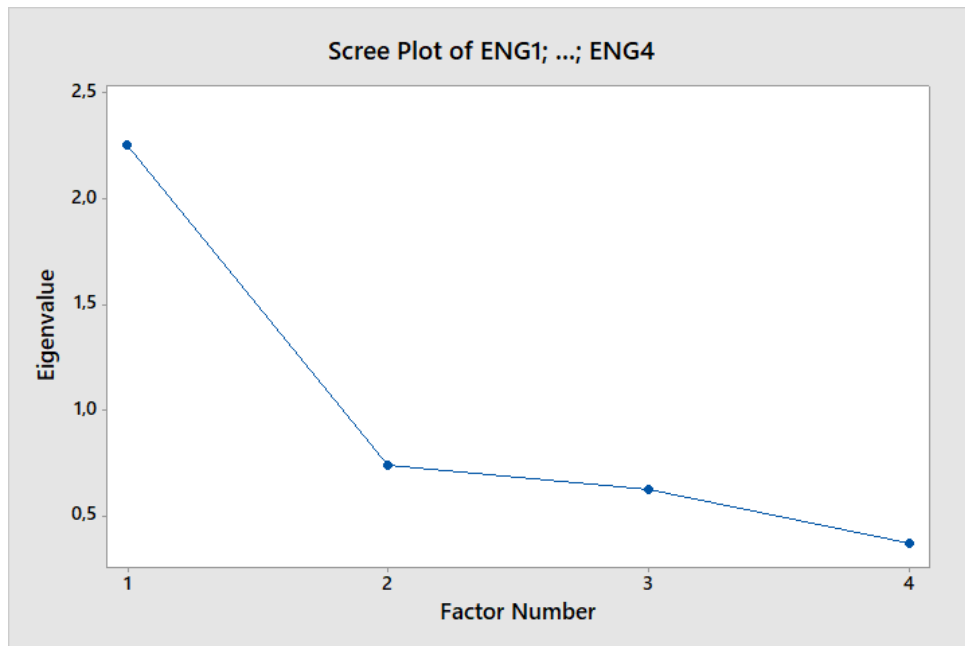
Tabela 7 – Cargas fatoriais do construto engajamento

Variável	Carga fatorial
ENG1	0,727
ENG2	0,644
ENG3	0,839
ENG4	0,781

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados obtidos no Minitab (2026).

A Figura 3 apresenta o *scree plot* obtido para o construto engajamento. Observa-se uma redução acentuada dos autovalores após o primeiro componente, seguida pela estabilização da curva, comportamento característico de estruturas unidimensionais. Esse resultado confirma os achados da AFE e reforça a retenção de um único fator para representar o construto.

Figura 3 – Scree plot do construto engajamento



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados obtidos no Minitab (2026).

Com a definição da estrutura fatorial, foram gerados os escores fatoriais pelo método de regressão disponível no Minitab. Esse procedimento atribuiu um único escore para cada um dos 33 respondentes, sintetizando o comportamento das quatro variáveis em uma medida representativa do construto engajamento. Esses escores fatoriais foram posteriormente utilizados nas análises de regressão empregadas para o teste das hipóteses propostas nesta pesquisa.

Em síntese, os resultados evidenciam que o construto engajamento apresentou estrutura unidimensional satisfatória, atendendo aos critérios de validade fatorial adotados nesta pesquisa. As cargas fatoriais permaneceram superiores ao limite recomendado, e o primeiro fator explicou 56,4% da variância total do construto, confirmando sua adequação para representar o engajamento dos respondentes.

Assim, conclui-se que o construto apresentou evidências de validade fatorial, sendo considerado estatisticamente adequado para a geração dos escores fatoriais e para utilização nas análises de regressão destinadas ao teste das hipóteses propostas neste estudo.

4.2.3 Sustentabilidade

Com o objetivo de verificar a estrutura fatorial do construto sustentabilidade, foi realizada a AFE utilizando o método PCA por meio do software Minitab. A análise teve como finalidade verificar se os indicadores propostos representavam adequadamente uma única dimensão latente, permitindo avaliar a consistência da estrutura do construto.

Os resultados, apresentados na Tabela 8, demonstraram que o primeiro fator apresentou autovalor de 2,560, explicando 64,0% da variância total. Como esse percentual supera o critério mínimo de 50% estabelecido para este estudo, conclui-se que o construto apresenta estrutura unidimensional, não sendo necessária a exclusão de nenhuma variável.

Tabela 8 – Autovalores e variância explicada do construto sustentabilidade

Fator	Autovalor	Variância (%)	Variância acumulada (%)
1	2,560	64,0	64,0
2	0,725	18,1	82,1
3	0,433	10,8	92,9
4	0,282	7,0	100,0

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados obtidos no Minitab (2026).

Em seguida, procedeu-se à análise das cargas fatoriais dos indicadores. Conforme apresentado na Tabela 9, todas as variáveis apresentaram cargas fatoriais superiores ao limite mínimo de 0,50 recomendado por Hair *et al.* (2009), evidenciando adequada representatividade em relação ao fator extraído. As cargas fatoriais variaram entre 0,745 e 0,851, sendo a variável SUS1 a que apresentou maior contribuição para o construto, enquanto SUS2 apresentou a menor carga fatorial. Ainda assim, todas as variáveis permaneceram acima do valor mínimo recomendado, confirmando a consistência da estrutura fatorial obtida.

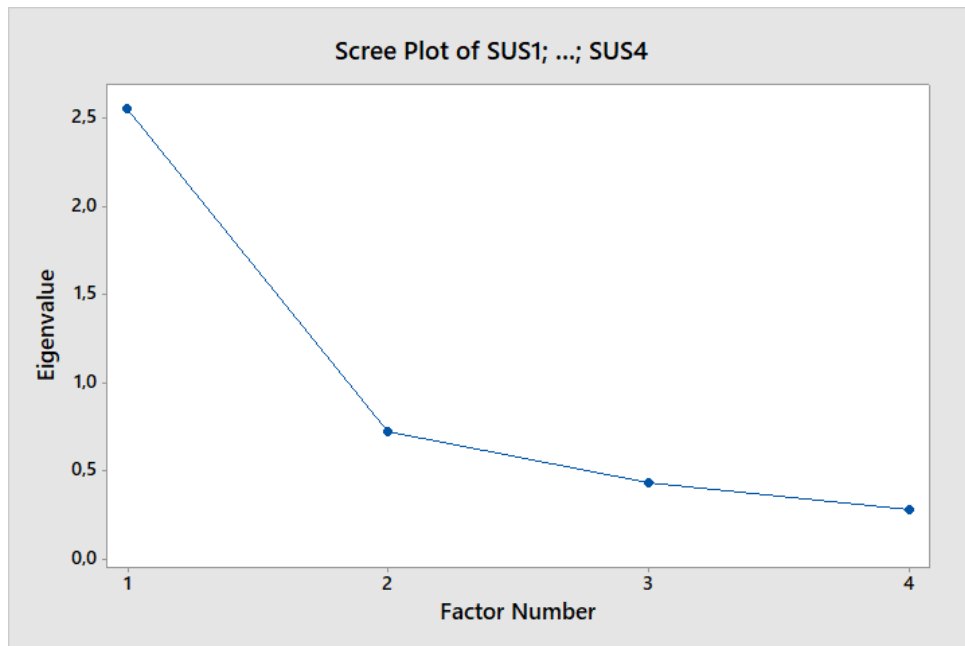
Tabela 9 – Cargas fatoriais do construto sustentabilidade

Variável	Carga fatorial
SUS1	0,851
SUS2	0,745
SUS3	0,804
SUS4	0,796

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados obtidos no Minitab (2026).

A Figura 4 apresenta o *scree plot* do construto sustentabilidade. Observa-se uma acentuada redução dos autovalores após o primeiro componente, seguida por estabilização da curva, comportamento característico de construtos representados predominantemente por um único fator. Esse resultado reforça a decisão de manter a estrutura original do instrumento, sem necessidade de reespecificação do modelo.

Figura 4 – Scree plot do construto sustentabilidade



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados obtidos no Minitab (2026).

Com a definição da estrutura fatorial, foram gerados os escores fatoriais pelo método de regressão disponível no Minitab. Esse procedimento atribuiu um único escore para cada um dos 33 respondentes, sintetizando o comportamento das quatro variáveis em uma medida representativa do construto sustentabilidade. Esses escores fatoriais foram posteriormente utilizados como variável independente nas análises de regressão empregadas para o teste das hipóteses propostas nesta pesquisa.

Em síntese, os resultados obtidos evidenciam que todos os indicadores apresentaram adequada capacidade de representar o construto sustentabilidade, não sendo observada a necessidade de exclusão de variáveis. As cargas fatoriais permaneceram superiores ao limite mínimo recomendado por [Hair et al. \(2009\)](#), e o primeiro fator explicou 64,0% da variância total do construto, confirmando sua estrutura unidimensional e a consistência da solução fatorial obtida.

Assim, conclui-se que o construto sustentabilidade apresentou evidências de validade fatorial, sendo considerado estatisticamente adequado para a geração dos escores fatoriais e para utilização nas análises de regressão destinadas ao teste das hipóteses propostas neste estudo.

4.2.4 Maturidade

Com o objetivo de validar a estrutura do construto maturidade, foi realizada a AFE utilizando o método dos PCA, por meio do software Minitab. Inicialmente, a análise foi conduzida considerando todas as variáveis pertencentes ao construto, buscando verificar se os indicadores representavam adequadamente uma única dimensão latente.

Na primeira execução da AFE, observou-se que o primeiro fator explicou 48,0% da variância total, percentual inferior ao critério mínimo de 50% adotado neste estudo para caracterizar uma estrutura unidimensional. Além disso, verificou-se que a variável MAT6 apresentou a menor carga fatorial (0,317), indicando reduzida contribuição para a composição do fator comum. Em razão desses resultados, optou-se pela exclusão dessa variável e pela realização de uma nova análise fatorial.

Após a reespecificação do modelo, o primeiro fator passou a apresentar autovalor de 4,240, explicando 53,0% da variância total, percentual superior ao critério metodológico adotado. Esse resultado demonstra que, após o refinamento, o construto passou a apresentar estrutura unidimensional adequada.

A Tabela 10 apresenta os autovalores e a variância explicada do construto maturidade.

Tabela 10 – Autovalores e variância explicada do construto maturidade

Fator	Autovalor	Variância (%)	Variância acumulada (%)
1	4,240	53,0	53,0
2	1,353	16,9	69,9
3	0,743	9,3	79,2
4	0,556	6,9	86,1

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados obtidos no Minitab (2026).

Na sequência, foram analisadas as cargas fatoriais das variáveis remanescentes. Conforme apresentado na Tabela 11, todas as cargas fatoriais permaneceram superiores ao limite mínimo recomendado pela literatura, variando entre 0,604 e 0,863. A variável MAT9 apresentou a maior carga fatorial, seguida da variável MAT4, enquanto MAT2 apresentou a menor carga, permanecendo acima do valor de referência adotado. Esses resultados demonstram que todas as variáveis remanescentes apresentam contribuição significativa para a representação do construto.

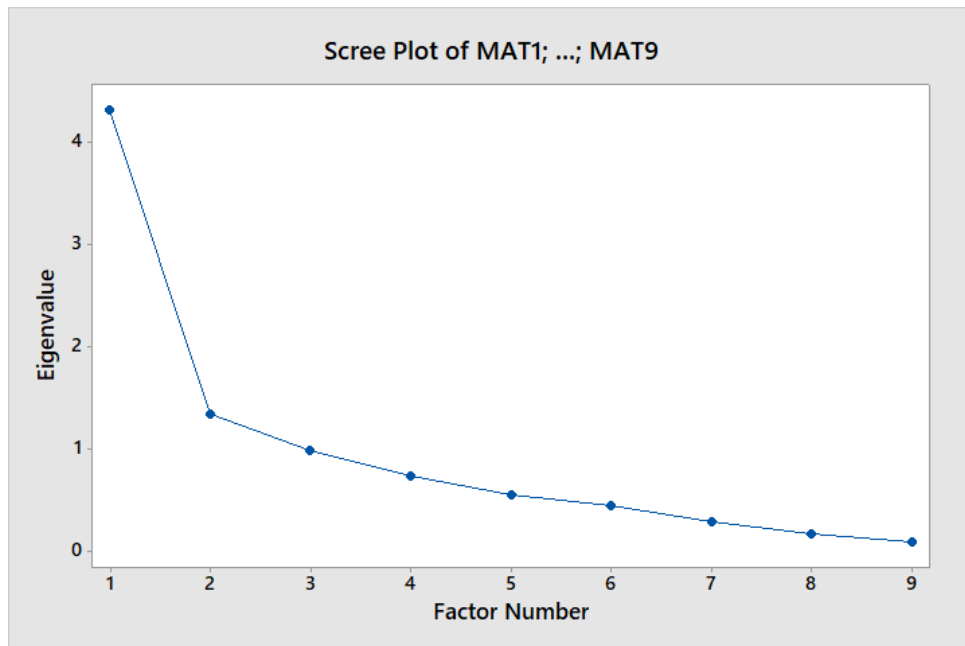
Tabela 11 – Cargas fatoriais do construto maturidade

Variável	Carga fatorial
MAT1	0,750
MAT2	0,604
MAT3	0,669
MAT4	0,847
MAT5	0,659
MAT7	0,655
MAT8	0,734
MAT9	0,863

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados obtidos no Minitab (2026).

A Figura 5 apresenta o *scree plot* correspondente ao construto maturidade.

Figura 5 – Scree plot do construto maturidade



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados obtidos no Minitab (2026).

Observa-se uma queda acentuada do primeiro para os demais autovalores, seguida por estabilização da curva, comportamento que confirma a predominância de um único fator após o processo de refinamento. Esse resultado corrobora a decisão de manter apenas as oito variáveis remanescentes na composição final do construto.

Em síntese, a exclusão da variável MAT6 permitiu melhorar a capacidade explicativa do modelo, elevando a variância explicada pelo primeiro fator para 53,0%. Assim, conclui-se que o construto maturidade apresentou estrutura unidimensional satisfatória e atendeu aos critérios de validade fatorial estabelecidos nesta pesquisa, sendo considerado estatisticamente adequado para a geração dos escores fatoriais e para utilização nas análises de regressão destinadas ao teste das hipóteses propostas neste estudo.

4.3 Teste das Hipóteses (JASP)

Conforme delineado na Seção 3.6, a primeira fase da análise dos dados foi conduzida no software JASP por meio da SEM, utilizando o estimador *Diagonally Weighted Least Squares* (DWLS), recomendado para dados ordinais provenientes de escalas do tipo Likert. O objetivo desta etapa foi avaliar a qualidade do modelo de mensuração e verificar, de forma preliminar, as relações propostas no modelo estrutural.

A avaliação do modelo de mensuração, realizada por meio da AFC, indicou adequado ajuste da estrutura teórica aos dados empíricos obtidos na siderúrgica. Os índices de ajuste incremental apresentaram valores satisfatórios, com *Comparative Fit Index* (CFI) igual a 0,963 e *Tucker-Lewis Index* (TLI) de 0,959, ambos superiores ao limite de 0,90 recomendado por [Hair et al. \(2009\)](#). O *Standardized Root Mean Square Residual* (SRMR) apresentou valor de 0,123 e o *Root Mean Square Error of Approximation* (RMSEA) foi de 0,098, considerado aceitável em virtude do reduzido tamanho amostral e da sensibilidade desse índice em modelos estimados com pequenas amostras. Adicionalmente, as cargas fatoriais apresentaram magnitudes compatíveis com a literatura, indicando que os indicadores representam adequadamente seus respectivos construtos: FCS), engajamento (ENG), sustentabilidade (SUS) e maturidade (MAT).

Após a validação do modelo de mensuração, foram obtidas as estimativas padronizadas dos trajetos estruturais, permitindo avaliar a direção e a magnitude das relações propostas entre os construtos. A Tabela 12 apresenta as estimativas padronizadas do modelo estrutural, contemplando tanto as relações diretas correspondentes às hipóteses da pesquisa quanto os efeitos indiretos observados entre as variáveis latentes.

Tabela 12 – Estimativas direcionais do modelo estrutural (JASP)

Relações Estruturais	Direção Hipotetizada	Coefficiente (β)
Relações Diretas		
H1: FCS $\rightarrow$ ENG	Positiva	0,805
H2: FCS $\rightarrow$ SUS	Positiva	0,832
H3: ENG $\rightarrow$ MAT	Positiva	0,254
H4: SUS $\rightarrow$ MAT	Positiva	0,779
Efeitos Indiretos (Mediação)		
FCS $\rightarrow$ SUS $\rightarrow$ MAT	Positiva	0,648
FCS $\rightarrow$ ENG $\rightarrow$ MAT	Positiva	0,204

Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos *outputs* do software JASP.

A análise das estimativas padronizadas revela que os dados suportam, teoricamente, a direção de todas as hipóteses do estudo. Observa-se que os FCS exercem influência acentuada e praticamente simétrica sobre o engajamento ($\beta = 0,805$) e a sustentabilidade ($\beta = 0,832$). Para a consolidação da maturidade da gestão da manutenção, a sustentabilidade demonstra ser o principal vetor de influência direta ($\beta = 0,779$), ao passo que o engajamento atua de forma mais moderada ($\beta = 0,254$). A avaliação dos efeitos indiretos corrobora essa dinâmica estrutural, evidenciando que os FCS impactam a maturidade de forma substancialmente mais expressiva por meio da sustentabilidade ($\beta = 0,648$) do que por meio do engajamento ($\beta = 0,204$).

Apesar da consistência teórica e da coerência direcional das estimativas, a execução da análise no ambiente JASP esbarrou em uma limitação metodológica crítica, diretamente relacionada ao tamanho da amostra ($n = 33$). A literatura estatística multivariada postula que a SEM demanda propriedades assintóticas para garantir a estabilidade das estimações; em outras palavras, exige-se uma amostra expressivamente maior para suportar a complexidade do modelo e o número de parâmetros a serem calculados [Hair et al. \(2009\)](#).

Nas saídas do software JASP, essa restrição manifestou-se por meio do alerta “*Fitting the model resulted in warnings*”. Nas tabelas analíticas de resultados, como as de *Parameter Estimates* para as regressões e os efeitos indiretos, o software apresentou as colunas referentes ao erro padrão (*Std. Error*), ao valor- z e ao nível de significância (p -value) zeradas ou integralmente em branco.

Isso significa que, embora o estimador DWLS possuísse dados e variabilidade suficientes para estimar os trajetos estruturais e medir a magnitude das relações entre os construtos, a escassez de graus de liberdade e de variabilidade matemática impediu que o algoritmo computasse a matriz de informação de forma integral. Sem essa matriz, torna-se impossível calcular os erros padrão e, conseqüentemente, derivar a significância estatística das estimativas.

Portanto, os resultados extraídos desta etapa preliminar no JASP devem ser interpretados sob uma perspectiva estritamente exploratória e direcional. Eles fornecem um forte indício de que a estrutura hipotetizada é teoricamente consistente e que as variáveis se comportam conforme proposto pelo modelo conceitual, mas carecem da validade inferencial probabilística necessária para a aceitação ou rejeição estatística das hipóteses. Para contornar essa limitação e proceder à testagem inferencial das hipóteses, fez-se necessária a aplicação da AFE, para obtenção dos escores fatoriais, seguida de modelos de RSL no software Minitab, cujos resultados são apresentados na seção seguinte.

4.4 Teste das Hipóteses por meio da Regressão Linear Simples (Minitab)

Após a obtenção dos escores fatoriais por meio da AFE, foram ajustados modelos de (RLS) no software Minitab com o objetivo de testar estatisticamente as hipóteses propostas no modelo conceitual desta pesquisa. Os escores fatoriais foram utilizados como variáveis representativas dos construtos, permitindo sintetizar as informações dos indicadores originais em uma única medida para cada respondente.

Diferentemente da etapa realizada no JASP, em que a reduzida dimensão amostral impossibilitou a obtenção dos erros padrão e dos respectivos níveis de significância das estimativas, os modelos de regressão permitiram avaliar estatisticamente a existência de relações entre os construtos investigados. Para cada hipótese foram analisados o coeficiente de regressão (β), o coeficiente de determinação (R^2), a estatística F e o respectivo nível de significância (p -valor).

A Tabela 13 apresenta os resultados obtidos para os quatro modelos de regressão ajustados.

Tabela 13 – Resultados dos modelos de regressão linear simples utilizados para o teste das hipóteses

Hipótese	Relação	β	R^2 (%)	F	p -valor	Resultado
H1	FCS $\rightarrow$ ENG	0,716	51,28	32,64	$< 0,001$	Aceita
H2	FCS $\rightarrow$ SUS	0,648	42,00	22,44	$< 0,001$	Aceita
H3	ENG $\rightarrow$ MAT	0,616	37,96	18,97	$< 0,001$	Aceita
H4	SUS $\rightarrow$ MAT	0,783	61,38	49,26	$< 0,001$	Aceita

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados obtidos no Minitab (2026).

Os resultados apresentados na Tabela 13 demonstram que todas as hipóteses propostas neste estudo foram estatisticamente suportadas, uma vez que todos os modelos apresentaram significância estatística ($p < 0,001$).

A hipótese H1 avaliou a influência dos FCS sobre o engajamento. O modelo apresentou coeficiente de regressão positivo ($\beta = 0,716$) e coeficiente de determinação de 51,28%, indicando que aproximadamente metade da variabilidade observada no engajamento pode ser explicada pelos FCS.

Na hipótese H2, verificou-se que os FCS exercem influência positiva sobre a sustentabilidade ($\beta = 0,648$), explicando 42,00% da variabilidade desse construto.

A hipótese H3 investigou a influência do engajamento sobre a maturidade. Os resultados evidenciaram relação positiva e estatisticamente significativa ($\beta = 0,616$), sendo que o modelo explicou 37,96% da variabilidade observada na maturidade.

Por fim, a hipótese H4 apresentou o maior coeficiente de regressão entre todos os modelos avaliados ($\beta = 0,783$), bem como o maior poder explicativo ($R^2 = 61,38\%$). Esse resultado demonstra que a sustentabilidade constitui o principal fator associado ao aumento da maturidade da gestão da manutenção, evidenciando que a consolidação das práticas ao longo do tempo exerce influência mais intensa do que o próprio engajamento dos colaboradores.

De forma geral, os resultados das regressões corroboram o modelo conceitual proposto nesta pesquisa, indicando que os FCS influenciam positivamente o engajamento e a sustentabilidade, enquanto esses construtos contribuem para o aumento da maturidade da gestão da manutenção. Destaca-se ainda que a sustentabilidade apresentou maior capacidade de explicar a maturidade do que o engajamento, sugerindo que a institucionalização das práticas de melhoria exerce papel fundamental na consolidação da gestão da manutenção.

4.5 Discussão dos Resultados

Os resultados obtidos evidenciam que os FCS exercem papel fundamental na gestão da manutenção do Alto-Forno, confirmando a lógica do modelo conceitual proposto nesta pesquisa. De forma geral, os FCS influenciam o engajamento dos colaboradores e a sustentabilidade das melhorias, enquanto esses construtos contribuem para o desenvolvimento da maturidade da gestão da manutenção. Assim, o estudo demonstra que a evolução da maturidade não depende apenas da adoção de ferramentas, procedimentos ou sistemas, mas também do fortalecimento de condições organizacionais capazes de fazer com que as melhorias sejam incorporadas à rotina de trabalho.

A confirmação da hipótese H1 demonstra que os FCS influenciam positivamente o engajamento dos colaboradores. Na prática, isso significa que liderança, comunicação, treinamento, disponibilidade de recursos e definição clara de responsabilidades aumentam o comprometimento das equipes com as ações de melhoria. Esse resultado corrobora os estudos de [Teixeira \(2025\)](#) e [Schaufeli et al. \(2002\)](#), que destacam a importância de um ambiente organizacional favorável para estimular o envolvimento dos colaboradores. Para a gestão da manutenção, esse resultado evidencia que melhorias exclusivamente técnicas tendem a produzir resultados limitados quando não são acompanhadas por ações voltadas às pessoas e ao fortalecimento da cultura organizacional.

A confirmação da hipótese H2 indica que os FCS também favorecem a sustentabilidade das melhorias implementadas. Isso demonstra que a permanência dos resultados depende de práticas como treinamento contínuo, comunicação eficiente, acompanhamento da liderança, disponibilidade de recursos e padronização dos processos. Esse resultado está alinhado aos estudos de [Bhamu e Sangwan \(2014\)](#) e [Teixeira \(2025\)](#), que apontam que a sustentação das melhorias depende das condições organizacionais existentes e não apenas da implantação inicial das mudanças. Para os gestores da manutenção, esse achado demonstra que implementar melhorias não é suficiente; é necessário acompanhar sua aplicação, reforçar os padrões definidos e garantir que as equipes tenham condições de manter os novos processos ao longo do tempo.

A confirmação parcial da Hipótese H3 demonstra que o engajamento contribui para o desenvolvimento da maturidade da gestão da manutenção. Esse resultado indica que colaboradores comprometidos tendem a incorporar com maior facilidade novos processos, rotinas e práticas organizacionais, favorecendo a evolução da gestão. Assim, programas voltados exclusivamente à padronização dos processos podem apresentar resultados limitados quando não promovem também o envolvimento das equipes. Dessa forma, o engajamento deve ser compreendido como um elemento estratégico para a maturidade organizacional, pois são as pessoas que executam, sustentam e aperfeiçoam as práticas de manutenção no cotidiano operacional.

A Hipótese H4 evidenciou que a sustentabilidade das melhorias representa o principal fator associado à maturidade da gestão da manutenção. Isso significa que a evolução da maturidade depende da capacidade da organização de manter as melhorias ao longo do tempo por meio de padronização, monitoramento contínuo, definição de responsabilidades e acompanhamento sistemático dos processos. Esse resultado converge com [Jugdev e Thomas \(2002\)](#) e [Teixeira \(2025\)](#), que relacionam a maturidade à consolidação progressiva das práticas organizacionais. Sob a perspectiva gerencial, esse achado indica que, para elevar a maturidade da gestão da manutenção, não basta implantar novos procedimentos; é necessário garantir que eles sejam praticados continuamente, evitando o retorno às rotinas anteriores.

De forma integrada, os resultados demonstram que a maturidade da gestão da manutenção é consequência de uma sequência de relações entre os construtos analisados. Os FCS fortalecem o engajamento das equipes e a sustentabilidade das melhorias, sendo esta última o fator com maior contribuição para o desenvolvimento da maturidade. Portanto, se a gestão deseja elevar o nível de maturidade da manutenção do Alto-Forno, deve priorizar ações voltadas ao fortalecimento da liderança, da comunicação, do treinamento, da padronização dos processos, da definição clara de responsabilidades e do monitoramento contínuo das melhorias. A principal contribuição prática deste estudo está em demonstrar que a maturidade não se consolida apenas pela implantação de ferramentas técnicas, mas pela capacidade da organização de transformar melhorias em práticas permanentes da rotina operacional.

Em termos comparativos, a confrontação das evidências empíricas deste estudo com os resultados quantitativos obtidos na pesquisa referencial de [Teixeira \(2025\)](#) revela importantes convergências e distinções estruturais, orientadas inicialmente pelas delimitações conceituais de cada escopo. Enquanto o autor de referência concentrou sua análise na sustentabilidade da filosofia Lean aplicada a uma indústria farmacêutica, a presente investigação estendeu ao mapear a maturidade do PCM em um ambiente de processo contínuo. No plano metodológico do tratamento dos dados, observou-se ainda que o modelo estrutural de [Teixeira \(2025\)](#) demandou a eliminação de um volume superior de variáveis latentes para alcançar índices ótimos de ajuste, indicando uma aderência inicial distinta em comparação com o presente questionário. Além disso ambos os modelos convergem estatisticamente na validação dos FCS como antecedentes primários, comprovando que os FCS exercem forte influência positiva e simultânea tanto sobre o engajamento dos colaboradores quanto sobre a sustentabilidade organizacional.

Contudo, os resultados divergem no relacionamento subsequente. A SEM de [Teixeira \(2025\)](#) identificou uma relação puramente bidirecional e de dependência mútua entre sustentabilidade e engajamento. O presente estudo, ao modelar ambos os constructos de forma independente apontando a uma variável final (a maturidade), revela uma assimetria entre os constructos: a sustentabilidade desponta como o canal predominante de transmissão dos efeitos dos FCS para a consolidação técnica (coeficiente de 0,783), exercendo uma força superior à via do engajamento (coeficiente de 0,616). Dessa forma, a presente investigação expande os achados quantitativos do autor referencial, provando estatisticamente que a perpetuação de normas e processos detém uma soberania de impacto sobre as variáveis puramente comportamentais.

5 Conclusões

O presente estudo cumpriu o seu objetivo geral ao analisar a influência dos FCS no engajamento dos colaboradores, na sustentabilidade das melhorias e na maturidade da gestão da manutenção do Alto-Forno de uma empresa siderúrgica. Dada a criticidade operacional e a complexidade técnica dos ativos da área de redução, compreender os fatores que determinam a transição de um modelo de manutenção predominantemente reativo para um modelo planejado constitui um desafio que envolve não apenas aspectos técnicos, mas também dimensões gerenciais e comportamentais.

Os resultados obtidos por meio dos modelos de regressão linear permitiram analisar as relações entre os construtos investigados. Constatou-se que os FCS exercem impacto positivo e de magnitude expressiva tanto sobre o engajamento dos colaboradores quanto sobre a sustentabilidade das melhorias implementadas. Esse achado corrobora a perspectiva teórica de [Rockart \(1979\)](#), segundo a qual fatores como o apoio da liderança, a clareza dos canais de comunicação e a oferta de treinamentos estruturados atuam como antecedentes determinantes para o sucesso das iniciativas organizacionais. Na prática, isso indica que o engajamento dos colaboradores ([Schaufeli et al., 2002](#)) e a permanência das novas rotinas operacionais ([Lizarelli et al., 2026](#)) não emergem de forma espontânea, dependendo diretamente do suporte gerencial oferecido pela alta administração.

A principal contribuição analítica deste estudo está na diferenciação da influência do engajamento e da sustentabilidade sobre a maturidade da gestão da manutenção. A análise demonstrou que a sustentabilidade das melhorias (coeficiente de 0,783) exerce impacto superior ao do engajamento (coeficiente de 0,616) na explicação da maturidade do PCM. Do ponto de vista teórico, esse resultado indica que, embora o engajamento dos colaboradores desempenhe papel relevante nas fases iniciais da mudança organizacional ([Galeazzo; Furlan; Vinelli, 2021](#)), a evolução da maturidade técnica depende, sobretudo, da consolidação dos processos ao longo do tempo.

Como o engajamento está associado a fatores psicossociais que podem variar ao longo do tempo ([Schaufeli et al., 2002](#)), a consolidação da maturidade do PCM depende da conversão das práticas de melhoria em rotinas estáveis e em mecanismos consistentes ([Jugdev; Thomas, 2002](#)), como a padronização de dados e informações no sistema SAP. A análise dos efeitos indiretos reforça essa constatação, evidenciando que os FCS contribuem para a maturidade operacional de forma mais expressiva quando mediados pela sustentabilidade do que quando mediados exclusivamente pelo engajamento.

Em síntese, as análises realizadas trazem duas contribuições principais. No aspecto metodológico, o questionário aplicado apresentou boa adequação ao contexto investigado, uma vez que os dados coletados mantiveram, em grande parte, a estrutura teórica planejada, sem a necessidade de exclusão de variáveis relevantes. No aspecto teórico, os resultados evidenciam que a sustentabilidade das melhorias exerce impacto superior ao do engajamento dos colaboradores sobre a maturidade da gestão da manutenção. Isso indica que a maturidade técnica na gestão de ativos críticos depende, sobretudo, da padronização de rotinas e da consolidação de procedimentos, e não apenas de fatores comportamentais, contribuindo para a compreensão prática das teorias existentes sobre o tema.

Ao confrontar as evidências empíricas com a literatura científica, esta pesquisa apresenta contribuições que corroboram e ampliam estudos anteriores. No âmbito das corroborações, o estudo confirma a estrutura conceitual de [Jugdev e Thomas \(2002\)](#), evidenciando que a evolução da maturidade organizacional é um fenômeno multidimensional, que requer o alinhamento entre pessoas, processos, tecnologia e ativos. Além disso, os achados convergem com as conclusões de [Fernandes, Reis e Mansk \(2023\)](#), [Pacchini et al. \(2019\)](#) e [Lucato et al. \(2019\)](#), que destacam a complexidade e o rigor metodológico necessários para que as organizações superem estágios iniciais de maturidade e alcancem maior prontidão operacional e tecnológica.

Por outro lado, a contribuição teórica deste trabalho está na proposição e no teste de um modelo que relaciona simultaneamente os FCS, o engajamento, a sustentabilidade das melhorias e a maturidade da gestão da manutenção em um ambiente industrial de processo contínuo e de alta criticidade operacional, como o Alto-Forno siderúrgico. Enquanto grande parte das pesquisas baseadas em normas de melhores práticas, como a [SAE International \(2021\)](#), concentra-se em manufaturas discretas, indústrias automotivas ou setores de serviços e saúde ([Fernandes; Reis; Mansk, 2023](#)), este trabalho contribui para reduzir uma lacuna empírica na literatura voltada à manutenção de ativos pesados. A constatação de que a sustentabilidade exerce maior influência do que o engajamento na construção da maturidade oferece subsídios aos gestores para a priorização de ações e recursos voltados à consolidação das melhorias implementadas.

Como limitação desta pesquisa, destaca-se o reduzido tamanho da população investigada, composta por 33 colaboradores do setor de manutenção do Alto-Forno. Embora tenha sido realizado um censo da população-alvo, com taxa de resposta de 100%, o reduzido número de participantes pode limitar o poder estatístico das análises realizadas e a extrapolação dos resultados para outros contextos organizacionais.

Além disso, o estudo foi conduzido em um único setor de uma empresa siderúrgica, caracterizando um estudo de caso voltado para uma realidade organizacional específica. Dessa forma, os resultados refletem as percepções dos colaboradores inseridos nesse contexto particular.

Outra limitação refere-se à utilização de um questionário baseado na percepção dos respondentes, estando os resultados sujeitos a interpretações individuais e possíveis vieses de resposta. Entretanto, o anonimato das respostas e a participação integral da população pesquisada contribuíram para aumentar a confiabilidade das informações obtidas.

Por fim, os resultados não possuem pretensão de generalização estatística para outras organizações, mas podem contribuir para a compreensão das relações entre os FCS, o engajamento dos colaboradores, a sustentabilidade das melhorias e a maturidade da gestão da manutenção em contextos organizacionais semelhantes. Nesse sentido, sugere-se que pesquisas futuras apliquem este modelo em amostras de maior dimensão, viabilizando o uso de técnicas de SEM para o teste simultâneo das hipóteses, bem como repliquem o estudo em outras unidades de manutenção da mesma organização ou em outras empresas do setor siderúrgico e de processo contínuo, permitindo comparações entre diferentes contextos operacionais. Recomenda-se, ainda, a realização de estudos longitudinais capazes de acompanhar a evolução dos construtos ao longo do tempo, bem como a incorporação de abordagens qualitativas, como entrevistas com colaboradores e gestores, que possam aprofundar a compreensão dos mecanismos pelos quais os FCS influenciam o engajamento, a sustentabilidade e a maturidade da gestão da manutenção.

Referências

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994.

BAGHERIAN, A.; GERSHON, M.; KUMAR, S. Paving the way to successful six sigma implementation: investigating critical success factors as precursors: an empirical study. **The TQM Journal**, 2024. Ahead of print.

BHAMU, J.; SANGWAN, K. S. Lean manufacturing: literature review and research issues. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 34, n. 7, p. 876–940, 2014.

FERNANDES, J. M.; REIS, L. P.; MANSK, R. An adaptation of the sae j4000/2021 standard for assessing lean maturity in brazilian hospitals. **The TQM Journal**, v. 36, n. 9, p. 1–23, 2023.

FOGLIATTO, F. S. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

FONSECA, L. M. The efqm 2020 model: a theoretical and practical review. **Total Quality Management & Business Excellence**, v. 33, n. 9-10, p. 1011–1038, 2021.

GALEAZZO, A.; FURLAN, A.; VINELLI, A. The role of employees' participation and managers' authority on continuous improvement and performance. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 41, n. 13, p. 34–64, 2021.

GREGÓRIO, G. F. P.; SANTOS, D. F.; PRATA, A. B. **Engenharia de manutenção**. Porto Alegre: SAGAH, 2018.

GREGÓRIO, G. F. P.; SILVEIRA, A. M. **Manutenção Industrial**. [S.l.]: Grupo A, 2023.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HARRY, K. D.; AKEN, E. M. V.; GLOVER, W. J. A systematic literature review and meta-synthesis evaluation of the critical success factors for kaizen events in hospitals. **Engineering Management Journal**, p. 1–23, 2025.

Instituto Aço Brasil. **Painel sobre as perspectivas dos setores consumidores de aço encerrou 1º dia do Congresso Aço Brasil**. 2025.

JACOBS, F. R.; CHASE, R. B. **Administração de operações e da cadeia de suprimentos**. 13. ed. Porto Alegre: AMGH, 2023.

JEONG, I.-J.; LEON, V. J.; VILLALOBOS, J. R. Integrated decision-support system for diagnosis, maintenance planning, and scheduling of manufacturing systems. **International Journal of Production Research**, v. 45, n. 2, p. 267–285, 2007.

JUGDEV, K.; THOMAS, J. Project management maturity models: the silver bullets of competitive advantage? **Project Management Journal**, v. 33, n. 4, p. 4–14, 2002.

KAISER, H. F. The application of electronic computers to factor analysis. **Educational and Psychological Measurement**, v. 20, n. 1, p. 141–151, 1960.

- KAKOURIS, A.; ATHANASIADIS, V.; SFAKIANAKI, E. Industry 4.0 and lean thinking: the critical success factors perspective. **International Journal of Quality & Reliability Management**, 2023. Ahead of print.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
- KOTTER, J. P. **Leading Change**. Boston: Harvard Business School Press, 1996.
- LIKER, J. K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2022.
- LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. **Archives of Psychology**, v. 22, n. 140, p. 1–55, 1932.
- LIZARELLI, F. L. *et al.* Unpacking lean startup: global insights into key deployment factors. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 75, n. 1, p. 1–25, 2026.
- LUCATO, W. C.; PACCHINI, A. P. T.; FACCHINI, F.; MUMMOLO, G. Model to evaluate the industry 4.0 readiness degree in industrial companies. **IFAC-PapersOnLine**, v. 52, n. 13, p. 1808–1813, 2019.
- NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de Manutenção Industrial**. São Paulo: Edgard Blücher, 1989.
- PACCHINI, A. P. T.; LUCATO, W. C.; FACCHINI, F.; MUMMOLO, G. The degree of readiness for the implementation of industry 4.0. **Computers in Industry**, v. 113, p. 103125, 2019.
- ROCKART, J. F. Chief executives define their own data needs. **Harvard Business Review**, v. 57, n. 2, p. 81–93, 1979.
- SAE International. **SAE J4000: Identification and Measurement of Best Practice in Implementation of Lean Operation**. Warrendale, PA, 2021. Disponível em: https://www.sae.org/standards/j4000_202104-identification-measurement-best-practice-implementation-lean-operation. Acesso em: 1 jul. 2026.
- SCHAUFELI, W. B.; SALANOVA, M.; ROMA, V. G.; BAKKER, A. B. The measurement of engagement and burnout: A two sample confirmatory factor analytic approach. **Journal of Happiness Studies**, Kluwer Academic Publishers, v. 3, p. 71–92, 2002.
- SCHEIN, E. H.; SCHEIN, P. A. **Cultura organizacional e liderança**. 5. ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2022.
- SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; BURGESS, N. **Administração da produção**. 10. ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2023.
- TEIXEIRA, E. L. d. O. **Uma análise dos fatores críticos de sucesso (FCS) que influenciam o engajamento dos colaboradores e a sustentabilidade Lean no contexto de uma indústria farmacêutica**. 2025. Projeto de dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Ouro Preto.
- TORTORELLA, G. L.; FETTERMANN, D. Implementation of industry 4.0 and lean production in brazilian manufacturing companies. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2975–2987, 2018.

WIECHMANN, D. M.; REICHSTEIN, C.; HAERTING, R.; BUEECHL, J.; PRESSLA, M. Agile management to secure competitiveness in times of digital transformation in medium-sized businesses. **Procedia Computer Science**, v. 207, p. 2353–2363, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050922040745>. Acesso em: 2 mar. 2023.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation**. New York: Simon & Schuster, 1996.

YIN, R. K. **Estudo de Caso**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. ISBN 9788582602324. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788582602324/>. Acesso em: 12 jun. 2026.

APÊNDICE A – Instrumento de pesquisa aplicado aos colaboradores do setor de manutenção do Alto-Forno

O presente apêndice apresenta o instrumento de pesquisa utilizado na coleta de dados desta pesquisa. O questionário foi estruturado em quatro construtos: FCS, Engajamento, Sustentabilidade e Maturidade da gestão da manutenção. As respostas foram obtidas por meio de uma escala Likert de cinco pontos, conforme apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 – Instrumento de pesquisa aplicado

Dimensão	Código	Afirmação	Pergunta
Liderança e Apoio da Alta Gestão	FCS1	A gerência e a supervisão demonstram, na prática, que as melhorias nos processos de manutenção são prioridade.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
	FCS2	Quando há urgência na produção, a liderança incentiva o cumprimento dos procedimentos corretos, evitando “gambiaras”.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
	FCS3	Sinto que tenho apoio da minha chefia imediata para aplicar as novas rotinas de trabalho propostas.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
Comunicação	FCS4	Os objetivos das mudanças no setor foram explicados de forma clara para a equipe (o “porquê” estamos mudando).	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
Continua na próxima página...			

Tabela 14 – Instrumento de pesquisa aplicado (Continuação)

Dimensão	Código	Afirmação	Pergunta
	FCS5	As informações sobre a programação semanal e as metas chegam até mim de forma precisa e no tempo certo.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
	FCS6	Existe abertura para que eu dê sugestões ou aponte problemas nos novos processos sem medo de ser prejudicado.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
	FCS7	Compreendo claramente como o meu trabalho diário contribui para os resultados globais do Alto Forno.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
	FCS8	As metas da manutenção (ex: disponibilidade, cumprimento de plano) são discutidas com a equipe operacional, não ficando restritas à gerência.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
Treinamento e Educação	FCS9	Recebi o treinamento necessário para executar as novas rotinas e utilizar as ferramentas (ex: sistemas, ferramentas de trabalho).	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
	FCS10	Tenho acesso aos recursos físicos e digitais necessários (computador, sistema, ferramentas) para seguir o novo padrão.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
Continua na próxima página...			

Tabela 14 – Instrumento de pesquisa aplicado (Continuação)

Dimensão	Código	Afirmação	Pergunta
Empoderamento	FCS11	Tenho autonomia para interromper uma atividade ou propor alterações caso perceba que o plano de manutenção está incorreto ou unsafe.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
	FCS12	A supervisão confia na minha capacidade técnica para tomar decisões sobre a melhor forma de executar a tarefa.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
	FCS13	Sinto-me encorajado a resolver pequenos problemas do dia a dia sem precisar de aprovação constante da chefia.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
Cultura Organizacional	FCS14	Quando ocorre uma falha ou erro, o foco da equipe é descobrir a “causa raiz” do problema e não encontrar um “culpado”.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
	FCS15	Existe um ambiente de colaboração entre as equipes (Operação, PCM e Execução), onde um ajuda o outro a cumprir as metas.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
Vigor e Energia	ENG1	No meu trabalho, sinto-me cheio de energia para aplicar as melhorias, mesmo diante das dificuldades do dia a dia.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
Continua na próxima página...			

Tabela 14 – Instrumento de pesquisa aplicado (Continuação)

Dimensão	Código	Afirmação	Pergunta
Dedicação	ENG2	Sinto orgulho em ver que a manutenção do Alto Forno está se organizando e evoluindo.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
Absorção	ENG3	Quando estou realizando minhas atividades seguindo os novos processos, sinto-me focado e o tempo passa rápido.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
Iniciativa	ENG4	Frequentemente tomo a iniciativa de ajudar colegas a utilizarem os novos padrões ou sistemas corretamente.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
Padronização e Rotina	SUS1	Os novos processos de gestão já fazem parte da minha rotina automática, não sendo mais vistos como algo passageiro.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
Autonomia da Equipe	SUS2	Acredito que, mesmo sem a cobrança externa, a equipe continuaria mantendo os padrões de organização antigos.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
Monitoramento	SUS3	Existem indicadores visuais que mostram se o novo processo está sendo seguido corretamente.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
Continua na próxima página...			

Tabela 14 – Instrumento de pesquisa aplicado (Continuação)

Dimensão	Código	Afirmação	Pergunta
Não Retrocesso	SUS4	Percebo que as melhorias implementadas estão gerando resultados constantes ao longo do tempo.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
Padronização de Processos	MAT1	As atividades de manutenção (preventiva, corretiva) possuem um padrão claro de execução que é seguido por todos.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
	MAT2	O fluxo entre a abertura da Ordem de Manutenção e o seu encerramento está bem definido e organizado.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
	MAT3	Existe uma rotina clara de planejamento que evita que a equipe atue apenas de forma corretiva (“apagando incêndio”).	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
Tecnologia e Dados	MAT4	O sistema de gestão (SAP/Software) contém todas as informações necessárias para o processo de tomada de decisão.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
	MAT5	As informações presentes no sistema são confiáveis e atualizadas.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
Continua na próxima página...			

Tabela 14 – Instrumento de pesquisa aplicado (Continuação)

Dimensão	Código	Afirmação	Pergunta
Definição de Papéis	MAT6	Todos os colaboradores conhecem claramente suas responsabilidades e papéis de cada um.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
	MAT7	A equipe possui autonomia técnica para executar as atividades planejadas.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
Ativos	MAT8	Os ativos e infraestrutura críticos possuem planos preventivos estruturados e acompanhados.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
	MAT9	O setor de manutenção tem reduzido as intervenções emergenciais não planejadas nos ativos críticos e infraestrutura.	1- Discordo Totalmente 2- Discordo 3- Neutro 4- Concordo 5- Concordo Totalmente
Fonte: Elaborado pelos autores (2026).			

APÊNDICE B – Resultado intermediário do construto maturidade antes da exclusão da variável MAT6

Tabela 15 – Cargas fatoriais das variáveis de maturidade antes da exclusão de variáveis

Variável	Carga fatorial
MAT1	0,756
MAT2	0,595
MAT3	0,671
MAT4	0,844
MAT5	0,661
MAT6	0,317
MAT7	0,656
MAT8	0,721
MAT9	0,861

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).