ConBRepro
XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
EVENTO ON-LINE
02 a 04 de dezembro de 2026
Inovação e Transformação Digital como Estratégia Competitiva nas Engenharias

DIGITALIZAÇÃO DO APONTAMENTO OPERACIONAL EM UMA PLANTA DE BRITAGEM: DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA RASTREABILIDADE E APOIO À DECISÃO

Leonardo Iankoski Souza da Silva
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - UTFPR
João Luiz Kovaleski
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – UTFPR

Resumo: A digitalização do apontamento operacional pode reduzir a fragmentação informacional e ampliar a rastreabilidade em operações de mineração. Este artigo apresenta o desenvolvimento e a aplicação de um sistema digital para registrar basculamentos, horímetros e paradas em uma planta de britagem de migmatito localizada em Paranaguá, Paraná. Antes da intervenção, os apontamentos eram realizados em papel e transcritos diariamente para planilhas pelo engenheiro de produção, atividade estimada em quatro horas. O objetivo foi analisar como a digitalização contribuiu para a confiabilidade, a disponibilidade e o uso gerencial das informações. A pesquisa é aplicada, qualitativa, conduzida como estudo de caso único e orientada pela Design Science Research. O artefato foi implantado em celulares corporativos, com operação offline, identificação dos usuários, registros temporais, prevenção de duplicidades e trilha auditável de correções. Entre 2 e 31 de agosto de 2026, foram registrados 2.158 basculamentos por seis motoristas e sete caminhões, correspondentes a volume estimado de 41.724 m³. A intervenção eliminou a transcrição diária, antecipou a disponibilidade dos registros e ampliou a rastreabilidade. A avaliação comparativa dos erros permanece limitada pela ausência de base histórica estruturada do processo em papel. O trabalho contribui com uma solução replicável de transformação digital incremental para ambientes produtivos sujeitos a conectividade instável.

Palavras-chave: Gestão de operações, Apontamento operacional, Rastreabilidade, Mineração, Design Science Research.

DIGITALIZATION OF OPERATIONAL REPORTING IN A CRUSHING PLANT: DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR TRACEABILITY AND DECISION SUPPORT

Abstract: The digitalization of operational reporting can reduce information fragmentation and improve traceability in mining operations. This article presents the development and application of a digital system for recording truck dumps, hour-meter readings, and stoppages at a migmatite crushing plant in Paranaguá, Brazil. Before the intervention, events were recorded on paper and transcribed daily into spreadsheets by the production engineer, requiring an estimated four hours. The objective was to analyze how digitalization contributed to information reliability, availability, and managerial use. This applied, qualitative, single-case study was guided by Design Science

Research. The artifact was deployed on company mobile phones and includes offline operation, user identification, timestamps, duplicate prevention, and an auditable correction trail. From August 2 to 31, 2026, 2,158 truck dumps were recorded by six drivers and seven trucks, representing an estimated volume of 41,724 m³. The intervention eliminated daily transcription, accelerated record availability, and improved traceability. Comparative error assessment remains limited by the lack of a structured historical database for the paper-based process. The study contributes a replicable incremental digital transformation solution for production environments with unstable connectivity.

Keywords: Operations management, Operational reporting, Traceability, Mining, Design Science Research.

1. Introdução

Operações de britagem dependem da coordenação entre equipamentos móveis, pontos de descarga, materiais, turnos e metas de produção. Embora a movimentação física seja visível no processo, sua representação informacional pode permanecer dispersa em anotações manuais, planilhas isoladas ou comunicações informais. Quando o registro de um basculamento não contém horário, origem, destino, material, equipamento e responsável de forma padronizada, a organização perde capacidade de reconstruir eventos, conciliar volumes e explicar desvios. O apontamento operacional, portanto, não é apenas uma atividade administrativa: ele constitui a base de dados a partir da qual se mede o desempenho e se coordena a produção.

A transformação digital oferece recursos para aproximar o registro do momento em que o evento produtivo ocorre. Entretanto, a adoção de tecnologia não produz valor por si só. Uma solução útil precisa ser compatível com o ambiente operacional, reduzir ambiguidades, definir responsabilidades, conservar a facilidade de uso e transformar registros em informação acionável. Em plantas com conectividade variável e alta pressão por continuidade, interfaces excessivamente complexas ou cadastros pouco governados podem apenas deslocar o problema do papel para o sistema.

O sistema digital de apontamento operacional foi concebido como uma intervenção para registrar basculamentos, horímetros e paradas em uma planta de britagem/mineração. Seu propósito é estruturar os eventos, associá-los a dimensões relevantes para a gestão e disponibilizar uma base rastreável para consultas e indicadores. O artefato permite identificar o que ocorreu, quando, com qual caminhão ou equipamento, envolvendo qual material e sob responsabilidade de qual usuário.

A questão de pesquisa é: como a digitalização do apontamento operacional pode contribuir para a rastreabilidade, a confiabilidade das informações e o apoio à decisão em uma operação de britagem? O objetivo geral é descrever o desenvolvimento e analisar a aplicação do artefato. Especificamente, busca-se mapear o processo anterior; definir requisitos; relacionar funcionalidades a problemas operacionais; comparar os fluxos antes e depois; e estabelecer indicadores para avaliações futuras.

A pesquisa é aplicada e utiliza estudo de caso único, com orientação da Design Science Research (DSR), pois parte de um problema organizacional e desenvolve um artefato para intervir nesse contexto. A escolha é coerente com a necessidade de articular rigor teórico e relevância prática. Como ainda não foram disponibilizados dados da implantação, este texto delimita o diagnóstico, o desenho da solução e a estratégia de avaliação, mantendo campos explícitos para preenchimento posterior e evitando a atribuição de resultados não observados.

Além desta introdução, a segunda seção apresenta os fundamentos teóricos. A terceira descreve o método e o caso. A quarta detalha o sistema e sua lógica de intervenção. A

quinta apresenta os resultados da comparação do processo. A sexta discute as contribuições e limitações, e a sétima apresenta as conclusões.

2. Referencial teórico

2.1 Gestão de operações e apontamento operacional

A gestão de operações trata do projeto, da execução e da melhoria dos processos que transformam recursos em bens e serviços. Em uma planta de britagem, essa transformação depende da alimentação adequada do processo, da disponibilidade dos ativos, da compatibilidade dos materiais e da sincronização entre transporte e processamento. Decisões sobre ritmo, prioridade e alocação exigem uma representação confiável do estado da operação. Sem dados de eventos, análises de capacidade, produtividade e perdas ficam sujeitas a estimativas e memórias individuais.

O apontamento operacional converte acontecimentos físicos em registros gerenciais. Sua qualidade pode ser analisada por completude, consistência, exatidão, unicidade e tempestividade. Completude indica se os campos necessários foram preenchidos; consistência verifica se valores e relações seguem regras; exatidão corresponde à aderência ao evento real; unicidade evita duplicidades; e tempestividade mede a proximidade entre ocorrência e disponibilidade. Essas dimensões são interdependentes: um registro completo, porém tardio, pode não apoiar a decisão do turno; um registro rápido, porém ambíguo, pode gerar uma leitura incorreta.

Em ambientes produtivos, a qualidade do dado deve ser construída no processo de captura. Campos obrigatórios, listas controladas, carimbo de data e hora, identificação do usuário e validações de coerência reduzem a variabilidade de preenchimento. Ainda assim, regras excessivas podem aumentar o tempo de interação e estimular contornos informais. O desenho do apontamento deve equilibrar controle e fluidez, concentrando-se nas informações que têm uso operacional ou analítico definido.

2.2 Rastreabilidade e confiabilidade da informação

Rastreabilidade é a capacidade de recuperar o histórico, a aplicação ou a localização de um objeto por meio de identificações registradas. Adaptada ao contexto deste estudo, significa reconstruir a sequência dos basculamentos e suas associações com material, caminhão, horário e motorista. A origem e o destino não são digitados porque decorrem do material selecionado e da regra operacional da planta. Essa reconstrução favorece auditoria, conciliação e investigação de desvios.

A confiabilidade informacional decorre tanto da tecnologia quanto da governança. Cadastros desatualizados, credenciais compartilhadas, regras desconhecidas e ausência de tratamento de exceções comprometem a confiança mesmo em sistemas tecnicamente estáveis. Por isso, a implantação deve definir responsáveis por cadastros, critérios de correção, tratamento de indisponibilidade, política de acesso e rotina de verificação. A confiança também cresce quando usuários compreendem como seus registros retornam em forma de indicadores úteis.

Para a tomada de decisão, a informação precisa ser relevante e chegar no tempo compatível com a decisão. No processo anterior, os registros somente se tornavam analisáveis após recolhimento dos papéis e transcrição para Excel. A captura direta reduziu essa defasagem e tornou os dados consultáveis sem nova digitação.

2.3 Transformação digital e Design Science Research

A Indústria 4.0 é associada à integração entre sistemas físicos e digitais, conectividade e uso de dados ao longo dos processos. Em organizações com diferentes níveis de maturidade, a transformação pode começar por soluções delimitadas, orientadas a um problema e integradas progressivamente. Uma aplicação leve de apontamento pode ser

relevante quando cria disciplina de dados e visibilidade operacional, desde que esteja vinculada a objetivos claros e a uma rotina de gestão.

Na mineração, a digitalização conecta pessoas, equipamentos e sistemas de informação e pode começar por processos delimitados antes de alcançar níveis avançados de automação. Zhironkina e Zhironkin (2023) situam a captura e o processamento de dados entre os fundamentos da Mineração 4.0. Bi et al. (2022) destacam que a transformação da gestão da produção mineral depende da integração entre tecnologias da informação e as necessidades operacionais.

A Design Science Research investiga e desenvolve artefatos destinados a resolver classes de problemas. Hevner et al. (2004) destacam a necessidade de relevância para o ambiente e rigor na construção e avaliação. Peffers et al. (2007) organizam o processo em identificação do problema, definição dos objetivos da solução, projeto e desenvolvimento, demonstração, avaliação e comunicação. O sistema estudado constitui um artefato sociotécnico, pois inclui aplicação, modelo de dados, regras de uso e mudanças na rotina.

A avaliação de um artefato deve considerar não apenas funcionamento técnico, mas utilidade, qualidade e efeitos no processo. A DSR não autoriza inferir resultados antes da demonstração. Ao contrário, exige tornar explícitos os critérios, o contexto e as evidências. Neste artigo, a avaliação é proposta em três níveis: qualidade do registro, desempenho do processo de informação e capacidade de apoiar decisões. Resultados somente poderão ser reportados após coleta e análise documentadas.

3. Metodologia

3.1 Caracterização e unidade de análise

A pesquisa é de natureza aplicada, pois busca produzir conhecimento orientado a um problema real de gestão da produção. A abordagem é predominantemente qualitativa, complementada por medidas quantitativas dos registros. O procedimento é um estudo de caso único em uma planta de britagem/mineração, tendo como unidade de análise o processo de apontamento de basculamentos. A unidade incorporada é o evento de basculamento, observado desde sua ocorrência até sua disponibilização para consulta gerencial.

O caso foi conduzido em uma empresa de mineração mantida anônima, localizada em Paranaguá, Paraná. A planta transforma migmatito extraído da jazida em pó de pedra, brita e pedrisco. A operação possui duas equipes com jornadas sobrepostas, das 6h às 16h e das 8h às 18h. Seis motoristas registram basculamentos de caminhões e um operador registra atualmente horímetros e paradas. As descargas atendem ao britador JC12080, da linha principal; ao britador 8050, da linha secundária; e a uma linha terceirizada, cuja empresa foi anonimizada.

3.2 Ciclo de desenvolvimento da intervenção

O ciclo metodológico segue seis etapas inspiradas em Peffers et al. (2007). Na primeira, o problema é identificado por mapeamento do fluxo atual, análise de formulários ou planilhas, observação da rotina e entrevistas semiestruturadas. Na segunda, os objetivos da solução são traduzidos em requisitos mensuráveis. Na terceira, o artefato é projetado e desenvolvido. Na quarta, a solução é demonstrada em cenário controlado. Na quinta, é avaliada por indicadores e evidências qualitativas. Na sexta, os resultados e lições são comunicados.

O diagnóstico foi realizado pelo engenheiro de produção responsável pelo processo, que também atuou como pesquisador e idealizador do artefato. Foram considerados os formulários em papel, a rotina de seis motoristas e dos operadores da britagem, o

lançamento diário em Excel e as dificuldades relatadas no uso. A etapa manual de recolhimento, conferência e transcrição consumia aproximadamente quatro horas por dia.

O desenvolvimento foi iterativo. O sistema entrou em uso real com motoristas em julho de 2026 e foi ajustado a partir das dificuldades observadas. A interface foi simplificada para celulares corporativos, com botões grandes, fluxo guiado e funcionamento offline devido à instabilidade de conexão na jazida. No módulo de horímetros, a participação foi concentrada em um operador, e campos, sequência de leitura e validações foram refinados para reduzir erros de uso.

Tabela 1 - Etapas executadas no desenvolvimento e avaliação do artefato

Etapa	Atividade realizada	Evidência utilizada
Diagnóstico	Mapeamento do registro em papel e da digitação no Excel	Formulários, rotina observada e estimativa do responsável
Objetivos	Conversão dos problemas em requisitos operacionais	Matriz problema-requisito-indicador
Projeto	Modelagem da interface, dos dados e das regras	Protótipos, dicionário de dados e histórico de versões
Demonstração	Implantação em celulares corporativos	Registros reais, sincronizações e ocorrências de uso
Avaliação	Comparação do fluxo e análise de indicadores agregados	Painel administrativo no período de 2 a 31/08/2026
Comunicação	Consolidação das evidências, contribuições e limites	Relatório técnico e artigo

Fonte: elaboração própria (2026)

Figura 1 - Fluxo do apontamento operacional antes e depois da intervenção



Fonte: elaboração própria (2026)

3.3 Coleta, análise e ética

A análise adotou comparação qualitativa do fluxo antes e depois da intervenção. Foram examinados meio de captura, necessidade de transcrição, disponibilidade da informação, possibilidade de rastreamento, tratamento de erros e acesso a indicadores. As aproximadamente quatro horas diárias do processo anterior constituem estimativa do engenheiro responsável, e não medição cronometrada. Os indicadores agregados foram extraídos do painel administrativo em 31 de agosto de 2026, considerando a janela de 2 a 31 de agosto de 2026. Não foram calculados percentuais de redução de erros porque os formulários em papel não constituíam base histórica estruturada e comparável.

Os dados qualitativos serão obtidos por entrevistas e observação, codificados em categorias como facilidade de uso, aderência à rotina, confiança, utilidade e barreiras. A triangulação entre logs, documentos e relatos deve reduzir dependência de uma única

fonte. Evidências divergentes serão mantidas e discutidas, pois podem revelar que desempenho técnico e aceitação operacional evoluem de modo diferente.

Devem ser observadas as regras institucionais aplicáveis à pesquisa com participantes, à confidencialidade empresarial e à proteção de dados. Nomes de pessoas, credenciais, placas e outros identificadores devem ser anonimizados no banco analítico. O protocolo final deve registrar autorizações, finalidade de uso, controle de acesso e prazo de retenção. Este artigo não apresenta dados pessoais nem resultados empresariais não autorizados.

4. Sistema digital como artefato de intervenção

4.1 Problema, objetivos e requisitos

No processo anterior, cargas basculadas, horímetros e paradas eram anotados em papel por motoristas e operadores. Os documentos eram recolhidos e digitados diariamente em Excel pelo engenheiro de produção. O fluxo estava sujeito a perda de formulários, letra ilegível, campos vazios, horários incorretos, duplicidade, atraso, dificuldade de localizar registros e esforço para gerar indicadores. O sistema atua no ponto de captura e elimina a transcrição intermediária.

Os requisitos funcionais mínimos são: autenticar ou identificar o registrador; selecionar equipamento, material, origem e destino a partir de cadastros; registrar data e hora; permitir observação controlada; confirmar o evento; consultar histórico; filtrar registros; corrigir erros com trilha de alteração; e exportar dados para análise. Requisitos não funcionais incluem simplicidade, legibilidade, resposta compatível com a operação, segurança, disponibilidade e manutenção dos cadastros.

A rastreabilidade é implementada pela combinação de identificador único do evento, carimbo temporal, identificação do usuário e dimensões do processo. A confiabilidade é apoiada por obrigatoriedade seletiva, domínios de valores, validações e registro de alterações. O apoio à decisão decorre da transformação da base em indicadores de volume de eventos, distribuição por material, equipamento, origem, destino e período, além de alertas ou exceções que venham a ser definidos.

Tabela 2 - Matriz entre problema, requisito e indicador proposto para acompanhamento

Problema	Requisito do sistema	Indicador proposto
Campos ausentes	Obrigatoriedade dos campos críticos	Percentual de registros completos
Nomenclaturas divergentes	Listas controladas e cadastros	Taxa de valores inválidos/inconsistentes
Duplicidade	Identificador único e validação	Taxa de registros duplicados
Atraso de consolidação	Registro no ponto de ocorrência	Latência evento-disponibilidade
Baixa auditabilidade	Usuário, tempo e histórico de alteração	Percentual de eventos rastreáveis
Dificuldade de análise	Filtros, exportação e indicadores	Tempo para produzir informação gerencial

Fonte: elaboração própria (2026)

4.2 Modelo de dados e fluxo operacional

O registro mínimo proposto contém: identificador do evento; data e hora do evento; data e hora de sincronização; usuário; turno; equipamento transportador; material; origem; destino/ponto de basculamento; status; observação; e versão do registro. Campos adicionais, como estimativa de carga, frente, rota ou condições operacionais, devem ser

incluídos somente se houver fonte confiável e uso definido. A separação entre horário do evento e horário de sincronização é importante para ambientes sujeitos a conectividade intermitente.

O fluxo nominal começa com a autenticação, passa pela seleção do contexto, preenchimento do evento, validação local, confirmação e persistência. Em seguida, o registro fica disponível para consulta e consolidação. O fluxo de exceção deve cobrir indisponibilidade, erro de seleção, cancelamento, correção e duplicidade. Nenhuma exclusão deve apagar a trilha necessária à auditoria; preferencialmente, registros anulados permanecem identificados com motivo e responsável.

A governança inclui o proprietário do processo, administrador de cadastros, suporte técnico, supervisor responsável pela validação e usuários registradores. Recomenda-se uma rotina diária de verificação de exceções e uma revisão periódica dos indicadores de qualidade. O artefato somente se sustenta se responsabilidades e tempos de resposta forem acordados.

Tabela 3 – Dicionário mínimo de dados do evento

Campo	Finalidade	Regra proposta
ID do evento	Unicidade e ligação entre registros	Gerado automaticamente; não reutilizável
Data/hora do evento	Sequência operacional	Automática, com regra para correção autorizada
Data/hora de sincronização	Medir tempestividade	Gerada pelo sistema
Usuário	Responsabilização e auditoria	Identidade individual ou mecanismo autorizado
Equipe/jornada	Agregação gerencial	Derivada do horário e da regra vigente
Caminhão/equipamento	Análise por ativo	Cadastro ativo e identificação única
Material	Rastreabilidade do fluxo	Vocabulário controlado; origem/destino implícitos
Status/motivo	Tratamento de exceções	Domínio controlado e trilha de alteração

Fonte: elaboração própria (2026)

4.3 Mecanismo esperado de contribuição

O mecanismo de contribuição proposto conecta recursos, mudanças no processo e resultados avaliáveis. Campos estruturados e validações tendem a reduzir registros incompletos e inconsistentes; captura próxima ao evento tende a diminuir latência; identificadores e histórico tendem a ampliar rastreabilidade; consultas e consolidações tendem a reduzir tempo de preparação de indicadores. Essas relações são hipóteses de projeto, não resultados.

Fatores contextuais podem moderar os efeitos: qualidade dos cadastros, estabilidade da rede, treinamento, carga de trabalho, participação da liderança, adequação do dispositivo e coexistência com controles paralelos. A avaliação deve registrar esses fatores para evitar atribuir ao software efeitos decorrentes de mudanças simultâneas ou, inversamente, atribuir ao artefato falhas originadas por governança inadequada.

5. Resultados da intervenção

5.1 Comparação do processo antes e depois

A comparação evidenciou uma mudança na arquitetura da informação. No processo anterior, o evento era registrado em papel, transportado fisicamente, conferido e redigitado em Excel. No processo digital, o registro é realizado pelo próprio responsável em celular corporativo e fica disponível para sincronização e consulta. A etapa diária de transcrição, estimada em quatro horas, deixou de fazer parte do fluxo.

Tabela 4 – Comparação qualitativa do processo de apontamento

Dimensão	Antes da intervenção	Após a intervenção
Meio de registro	Formulários de papel	Aplicação móvel em aparelho corporativo
Responsável pela captura	Motoristas e operadores	Motoristas e operador identificado no sistema
Consolidação	Digitação diária pelo engenheiro em Excel	Sincronização automática, sem redigitação
Tempo administrativo	Aproximadamente 4 horas por dia	Etapa de transcrição eliminada
Disponibilidade	Após recolhimento e lançamento dos papéis	Após registro e sincronização
Rastreabilidade	Dependente do formulário físico	Usuário, data, hora, caminhão/material ou equipamento
Correções	Anotações e ajustes externos	Alterações com autor, data e justificativa
Conectividade	Não aplicável ao papel	Operação offline com envio posterior
Consulta gerencial	Preparação manual de planilhas	Filtros, histórico e indicadores no painel

Fonte: elaboração própria (2026)

Tabela 5 - Indicadores agregados de 2 a 31 de agosto de 2026

Indicador	Resultado	Observação
Basculamentos registrados	2.158	Registros válidos na janela de 30 dias
Volume estimado	41.724 m³	Viagens multiplicadas pela capacidade cadastrada
Motoristas em operação	6	Apresentação agregada e anonimizada
Caminhões em operação	7	O cadastro possui oito opções; sete operaram no período
Material com maior frequência	Rocha: 1.322 registros	61,3% dos basculamentos do período
Faixa de ritmo da frota	24,2 a 37,3 min	Média entre viagens consecutivas do mesmo caminhão
Faixa horária de maior registro	9h às 10h	245 basculamentos

Fonte: elaboração própria (2026)

5.2 Confiabilidade, eficiência e usabilidade

Na janela de 2 a 31 de agosto de 2026, o painel registrou 2.158 basculamentos válidos, realizados por seis motoristas e sete caminhões em operação. O volume de 41.724 m³ é uma estimativa calculada pelo produto entre o número de viagens e a capacidade cadastrada dos caminhões; não representa pesagem nem massa efetivamente processada. A distribuição compreendeu 1.322 registros de Rocha, 339 da linha terceirizada, 255 de Saibro, 135 de Limpeza e 107 classificados como Outros.

O ritmo médio entre registros consecutivos do mesmo caminhão variou de 24,2 a 37,3 minutos no período. A maior concentração horária ocorreu entre 9h e 10h, com 245 basculamentos. Esses indicadores não equivalem à massa efetivamente britada nem demonstram, isoladamente, produtividade; eles oferecem visibilidade sobre o fluxo de transporte e apoiam a identificação de padrões e desvios.

A confiabilidade foi favorecida por campos estruturados, identificação individual, carimbo temporal e prevenção de duplicidades. Os basculamentos recebem identificadores únicos gerados no dispositivo, e o reenvio após perda de conexão não cria uma segunda ocorrência. O motorista não apaga registros; cancelamentos ou correções administrativas preservam o valor original e a autoria da mudança.

A eficiência decorreu principalmente da retirada da transcrição diária. O engenheiro de produção deixou de atuar como intermediário entre o papel e a planilha, podendo direcionar o tempo antes consumido na digitação para conferência, análise e acompanhamento da operação. A disponibilidade mais rápida também reduziu o esforço para localizar registros antigos e preparar informações gerenciais.

A usabilidade foi tratada como requisito desde o projeto. O fluxo de basculamento utiliza um botão dominante, listas simples de caminhão e material e feedback imediato. A interface móvel foi ajustada em ciclos de uso real. No módulo de horímetros, dificuldades do operador motivaram mudanças na proporção dos campos, nos rótulos, na sequência e nas possibilidades de correção. O processo iterativo permitiu adequar o artefato ao nível de familiaridade dos usuários sem retirar controles necessários.

Os materiais disponíveis incluem Rocha, Saibro, material proveniente da linha terceirizada, Limpeza e outros cadastros operacionais. Por confidencialidade, o nome da empresa terceirizada foi substituído por “linha terceirizada”. A seleção do material determina implicitamente a origem e o destino, evitando campos adicionais na tela do motorista.

5.3 Limites da evidência

Os resultados apresentados demonstram mudança de processo e utilidade percebida, mas não permitem estimar estatisticamente reduções de erro ou ganhos de produtividade. Os formulários anteriores existem, porém não foram digitalizados como base comparável, e não foi estabelecida amostragem prévia. Assim, termos como maior assertividade e confiabilidade são sustentados pelos mecanismos de controle e pelo relato do responsável, não por taxas antes e depois.

Avaliações futuras podem calcular completude, duplicidade, tempo entre ocorrência e disponibilidade, frequência de correções, adesão dos usuários e tempo de preparação de relatórios. Para isso, recomenda-se definir uma janela prospectiva, critérios de inclusão e metas antes da análise.

6. Discussão

A principal contribuição do sistema é tornar explícita a ligação entre o evento produtivo e sua representação gerencial. Em vez de tratar o aplicativo como fim, a intervenção o posiciona como parte de um sistema sociotécnico que inclui regras, cadastros, responsabilidades e rotinas de análise. Essa visão é consistente com a DSR, que avalia o artefato em seu ambiente e exige evidência de utilidade (HEVNER et al., 2004).

A matriz problema-requisito-indicador oferece rastreabilidade metodológica: cada função deve responder a um problema e possuir uma medida. Essa disciplina reduz o risco de desenvolver recursos sem finalidade operacional. Também permite discutir resultados negativos. Se a latência não cair, por exemplo, a análise pode investigar conectividade,

momento do registro ou necessidade de transcrição. Se a completude aumentar mas o tempo de apontamento crescer excessivamente, o conjunto de campos deverá ser revisto.

O enquadramento como estudo de caso permite captar fatores contextuais que uma avaliação exclusivamente laboratorial não mostraria. Yin (2018) observa que estudos de caso são adequados a fenômenos contemporâneos examinados em profundidade e em contexto. No presente desenho, entrevistas, observação e logs complementam os indicadores. A triangulação é especialmente importante porque aceitação percebida não prova qualidade de dados, assim como uma base tecnicamente consistente não prova utilidade gerencial.

A proposta se relaciona à transformação digital incremental. Sistemas ciberfísicos e arquiteturas avançadas são referências da Indústria 4.0, mas a maturidade depende também da capacidade de capturar, contextualizar e usar dados. Lee, Bagheri e Kao (2015) destacam a conexão entre ativos, dados e aplicações analíticas. O sistema atua em uma camada elementar dessa conexão ao estruturar eventos que podem alimentar análises posteriores.

A intervenção eliminou uma etapa administrativa concreta e criou mecanismos verificáveis de rastreabilidade. Entretanto, a ausência de uma linha de base estruturada impede atribuir percentuais de redução de erros ou aumento de produtividade. Essa distinção protege a validade do estudo: há evidência de transformação do fluxo e de uso real, mas a magnitude dos efeitos deve ser objeto de avaliação futura.

Outras limitações incluem o caso único, potencial influência dos pesquisadores no desenho, dependência da qualidade da linha de base e possível efeito de aprendizagem. Também pode haver diferença entre basculamentos registrados e massa efetivamente processada; o evento não deve ser convertido em tonelagem sem uma regra validada. A integração com balanças, despacho, manutenção ou sistemas corporativos deve ser tratada como trabalho futuro até que interfaces e responsabilidades sejam formalmente definidas.

7. Conclusões

Este artigo analisou um sistema digital de apontamento operacional implantado em uma planta de britagem de migmatito. O objetivo foi descrever o desenvolvimento do artefato e sua contribuição à rastreabilidade, à confiabilidade informacional e ao apoio à decisão. Para isso, foram articulados gestão de operações, qualidade de dados, transformação digital, estudo de caso e Design Science Research.

O método proposto começa pelo diagnóstico do fluxo atual, converte problemas em requisitos, desenvolve e demonstra o artefato e, por fim, avalia indicadores antes e depois juntamente com evidências qualitativas. Foram definidos campos mínimos, regras de governança, matriz de rastreabilidade e indicadores de completude, inconsistência, duplicidade, latência, tempo de apontamento, auditabilidade, adoção e disponibilidade.

A comparação qualitativa mostrou a substituição do papel por captura direta, a eliminação da etapa de transcrição - anteriormente estimada pelo responsável em aproximadamente quatro horas diárias -, maior disponibilidade e uma trilha auditável de registros e correções. Esses resultados não equivalem a uma estimativa estatística de produtividade ou erro, pois a linha de base em papel não foi estruturada para comparação.

A contribuição prática é demonstrar como uma aplicação simples, offline e orientada à usabilidade pode se tornar instrumento de gestão. A contribuição metodológica é a ligação entre problema, requisito, evidência e indicador. Trabalhos futuros podem digitalizar uma amostra histórica, medir indicadores prospectivos, testar integrações e investigar efeitos de longo prazo sobre a disciplina de dados e a rotina de decisão.

Referências

BI, L.; WANG, Z.; WU, Z.; ZHANG, Y. A new reform of mining production and management modes under Industry 4.0: cloud mining mode. Applied Sciences, v. 12, n. 6, 2781, 2022. DOI: 10.3390/app12062781.

HEVNER, A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J.; RAM, S. Design science in information systems research. MIS Quarterly, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: final report of the Industrie 4.0 Working Group. Frankfurt: Acatech, 2013.

LASI, H.; FETTKE, P.; KEMPER, H. G.; FELD, T.; HOFFMANN, M. Industry 4.0. Business & Information Systems Engineering, v. 6, n. 4, p. 239-242, 2014.

LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H. A. A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. Manufacturing Letters, v. 3, p. 18-23, 2015.

PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M. A.; CHATTERJEE, S. A design science research methodology for information systems research. Journal of Management Information Systems, v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. Operations management. 9. ed. Harlow: Pearson, 2019.

WANG, R. Y.; STRONG, D. M. Beyond accuracy: what data quality means to data consumers. Journal of Management Information Systems, v. 12, n. 4, p. 5-33, 1996.

YIN, R. K. Case study research and applications: design and methods. 6. ed. Thousand Oaks: Sage, 2018.

ZHIRONKINA, O.; ZHIRONKIN, S. Technological and intellectual transition to Mining 4.0: a review. Energies, v. 16, n. 3, 1427, 2023. DOI: 10.3390/en16031427.