RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 14/09/2026 | aceito: 19/10/2026 | publicação: 24/11/2026

Centros de operações agrícolas e gestão orientada por dados no setor sucroenergético: fundamentos para o desenho de procedimentos operacionais e seus impactos

Agricultural operations centers and data-driven management in the sugarcane sector: foundations for the design of operational procedures and their impacts

Centros de operaciones agrícolas y gestión basada en datos en el sector sucroenergético: fundamentos para el diseño de procedimientos operativos y sus impactos

Rafael Dinardi Gonçalves
Engenheiro Agrônomo pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, câmpus de Jaboticabal. Especialista em Manejo de Solos pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP). MBA em Gestão Empresarial pela Fundação Getulio Vargas (FGV).

RESUMO
A mecanização da colheita da cana-de-açúcar e a difusão de tecnologias digitais no campo ampliaram a quantidade de dados disponíveis sobre máquinas, caminhões e operações agrícolas, o que favoreceu a criação de centros de operações agrícolas dedicados ao acompanhamento em tempo real das frentes de trabalho. Este artigo, desenvolvido por meio de revisão narrativa da literatura científica, técnica e normativa, discute os fundamentos que devem orientar o desenho e o uso de procedimentos operacionais nesses centros, bem como os impactos esperados. A análise articula contribuições da agricultura digital, da engenharia de máquinas agrícolas, da logística do sistema de corte, transbordo e transporte, da ergonomia cognitiva, da teoria da decisão e dos estudos sobre monitoramento do trabalho. Os resultados indicam que o valor de um centro de operações depende menos da quantidade de dados coletados e mais da qualidade do registro, da definição de indicadores coerentes com as perdas reais do sistema, da clareza sobre quem decide e em que prazo, do tratamento dos alarmes e da integração das rotinas de análise ao ciclo de melhoria contínua. Conclui-se que procedimentos bem estruturados podem converter conectividade e telemetria em ganhos operacionais, de segurança e de sustentabilidade, desde que acompanhados de governança de dados, transparência com os trabalhadores e avaliação sistemática de resultados.
Palavras-chave: Agricultura digital; Telemetria; Cana-de-açúcar; Centro de operações; Procedimentos operacionais.

ABSTRACT
The mechanization of sugarcane harvesting and the spread of digital technologies in the field have increased the amount of data available on machines, trucks and agricultural operations, which has favored the creation of agricultural operations centers dedicated to real-time monitoring of field crews. This article, based on a narrative review of scientific, technical and regulatory literature, discusses the foundations that should guide the design and use of operational procedures in these centers, as well as their expected impacts. The analysis brings together contributions from digital agriculture, agricultural machinery engineering, harvest and transport logistics, cognitive ergonomics, decision theory and studies on workplace monitoring. The results indicate that the value of an operations center depends less on the amount of data collected and more on the quality of data recording, the definition of indicators consistent with the actual losses of the system, clarity about who decides and within what time frame, the handling of alarms and the integration of analysis routines into the continuous improvement cycle. It is concluded that well-structured procedures can convert connectivity and telemetry into operational, safety and sustainability gains, provided they are accompanied by data governance, transparency with workers and systematic evaluation of results.
Keywords: Digital agriculture; Telemetry; Sugarcane; Operations center; Operational procedures.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 14/09/2026 | aceito: 19/10/2026 | publicação: 24/11/2026

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar ocupa lugar de destaque na agricultura brasileira, e a Companhia Nacional de Abastecimento estimou a produção da safra 2025/2026 em 673,2 milhões de toneladas, a terceira maior da série histórica (CONAB, 2026). Nas últimas duas décadas, a colheita passou por um processo acelerado de mecanização, impulsionado pela eliminação gradativa da queima da palha e pelo Protocolo Agroambiental firmado em São Paulo em 2007 (Saiani; Perosa, 2016). A substituição do corte manual por frentes compostas de colhedoras, tratores com transbordo e caminhões transformou a colheita em uma operação logística de alta complexidade, na qual pequenas interrupções em um elo se propagam pelos demais e afetam o abastecimento da indústria (Iannoni; Morabito, 2006).

Paralelamente, a difusão de computadores de bordo, sistemas de posicionamento, telemetria e redes de comunicação no meio rural ampliou a quantidade de informação disponível sobre máquinas e operações. Levantamento realizado com 504 produtores brasileiros indicou que 84% deles utilizavam ao menos uma tecnologia digital e apontou os custos de aquisição e a conectividade como os principais desafios (Bolfe et al., 2020). Nesse contexto ganharam espaço os centros de operações agrícolas, estruturas dedicadas a acompanhar em tempo quase que real o desempenho das frentes de trabalho e a apoiar decisões operacionais. A literatura sobre agricultura digital alerta, contudo, que a disponibilidade de dados não se converte automaticamente em melhores decisões e que questões de organização, governança e relações de poder acompanham a adoção dessas tecnologias (Wolfert et al., 2017; Klerkx; Jakku; Labarthe, 2019).

Diante disso, este artigo tem como objetivo discutir, à luz da literatura científica, técnica e normativa, os fundamentos que devem orientar o desenho e o uso de procedimentos operacionais em centros de operações agrícolas do setor sucroenergético, bem como os impactos esperados desses procedimentos sobre a eficiência, a segurança, o ambiente, as relações de trabalho e a governança de dados. Busca-se oferecer um referencial teórico que auxilie gestores e pesquisadores a tratar o centro de operações não como uma sala de monitoramento, mas como parte de um sistema de gestão cujo desempenho depende da qualidade dos processos que o sustentam.

2 METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa de natureza qualitativa e caráter exploratório, conduzida por meio de revisão narrativa da literatura. A escolha dessa abordagem decorre da natureza interdisciplinar do tema, que envolve agricultura digital, engenharia de máquinas agrícolas, logística, ergonomia cognitiva, teoria

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 14/09/2026 | aceito: 19/10/2026 | publicação: 24/11/2026

da decisão, gestão da qualidade e estudos sobre monitoramento do trabalho. Diferentemente da revisão sistemática, orientada por protocolo rígido de busca e extração de dados para responder a uma pergunta delimitada, a revisão narrativa permite articular referenciais de campos distintos e construir uma síntese teórica voltada a um problema aplicado, o que corresponde ao propósito deste estudo.

As buscas foram realizadas em mecanismos de pesquisa acadêmica e em portais de periódicos e editoras, como SciELO, ScienceDirect, MDPI, SpringerLink e Taylor & Francis, além de repositórios institucionais de universidades brasileiras e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. As buscas e a seleção das obras abrangeram, em português e em inglês, temas relacionados a agricultura digital, telemetria, computador de bordo, eficiência de campo, colheita mecanizada de cana-de-açúcar, logística de corte, transbordo e transporte, consciência situacional, sobrecarga de informação, gestão de alarmes e monitoramento eletrônico do trabalho. Foram consultados também documentos técnicos e oficiais, como normas de gestão de máquinas agrícolas e de projeto de centros de controle, dados do Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e a legislação brasileira aplicável.

A seleção privilegiou artigos revisados por pares, dissertações de programas de pós-graduação reconhecidos, documentos oficiais e obras de referência amplamente citadas em seus campos, sem restrição rígida de período, já que parte dos fundamentos sobre decisão, automação e qualidade foi formulada entre as décadas de 1950 e 1990 e permanece atual. Os dados quantitativos foram extraídos das fontes originais e utilizados para ilustrar os argumentos, sem pretensão de generalização estatística. A análise foi organizada em seis eixos temáticos, que estruturam as seções seguintes. Por se tratar de revisão, o estudo não testa hipóteses empiricamente, e as proposições apresentadas devem ser entendidas como orientações teóricas a serem verificadas em pesquisas de campo.

3 DA AGRICULTURA DE PRECISÃO AO CENTRO DE OPERAÇÕES AGRÍCOLAS

A ideia de gerir operações agrícolas com base em dados não é nova. Bolfe et al. (2020) lembram que o uso de máquinas e equipamentos de agricultura de precisão desde a década de 1990 trouxe ganhos produtivos e maior eficiência no uso de insumos, e que a conectividade crescente no meio rural, associada à integração de sensores, equipamentos e telefones celulares, abriu caminho para os conceitos de agricultura 4.0 ou agricultura digital. Wolfert et al. (2017) distinguem a agricultura de precisão, centrada na variabilidade espacial dentro do talhão, da agricultura inteligente, que passa a basear as tarefas de gestão também em dados de contexto e em eventos detectados em tempo real. O centro de operações agrícolas pode ser compreendido como a materialização organizacional dessa segunda etapa, já que concentra, em um mesmo espaço, informações geradas por máquinas, veículos

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 14/09/2026 | aceito: 19/10/2026 | publicação: 24/11/2026

e equipes distribuídas no território.

Wolfert et al. (2017) descrevem a agricultura inteligente como um ciclo de gestão ciberfísico, no qual dispositivos conectados observam o sistema produtivo, os dados são analisados e as decisões retornam ao campo na forma de ações. Os autores destacam que os grandes volumes de dados já são usados para produzir previsões, apoiar decisões operacionais em tempo real e redesenhar processos de negócio. Kamilaris, Kartakoullis e Prenafeta-Boldú (2017), ao revisarem 34 estudos sobre análise de grandes volumes de dados na agricultura, concluíram que essa prática ainda se encontrava em estágio inicial e que diversas barreiras precisavam ser superadas. Para o setor sucroenergético, essa leitura sugere cautela, pois a coleta automatizada de informações é apenas o primeiro elo de uma cadeia que inclui armazenamento, tratamento, interpretação, decisão e verificação de resultados.

Tzounis et al. (2017) analisaram as tecnologias associadas à internet das coisas na agricultura e mostraram que sensores, redes sem fio, computação em nuvem e identificação por radiofrequência oferecem soluções promissoras para a modernização do setor, mas ainda enfrentam desafios para sua difusão no setor. Na colheita da cana, essas tecnologias aparecem sobretudo nos computadores de bordo, que registram os tempos de cada estado operacional e os motivos de parada das máquinas (Silva, 2018), e nos sistemas de rastreamento de veículos. O valor dessas informações, entretanto, depende de que sejam transmitidas com regularidade, integradas a uma base comum e associadas a regras claras de classificação, sem as quais os registros de diferentes máquinas e fornecedores não podem ser comparados.

A literatura de ciências sociais sobre digitalização agrícola amplia essa discussão. Klerkx, Jakku e Labarthe (2019) identificaram cinco agrupamentos temáticos nos estudos sobre o tema, que incluem a adoção e a adaptação das tecnologias nas propriedades, os efeitos da digitalização sobre a identidade e o trabalho dos agricultores, os sistemas de conhecimento e inovação, as cadeias de valor e as questões de ética e governança. Wolfert et al. (2017) apontam ainda que os grandes volumes de dados tendem a provocar mudanças nos papéis e nas relações de poder entre os diferentes atores da cadeia. Essas contribuições indicam que a implantação de um centro de operações não é apenas uma decisão tecnológica, mas uma mudança organizacional que redistribui informação, responsabilidades e capacidade de decisão entre áreas, níveis hierárquicos e parceiros.

Zuboff (1988) ofereceu uma distinção útil para compreender esse movimento ao diferenciar o uso da tecnologia para automatizar tarefas do seu uso para informar, isto é, para tornar visíveis processos que antes permaneciam opacos à organização. Segundo a autora, o potencial informativo da tecnologia só se realiza quando a organização desenvolve a capacidade de interpretar e agir sobre a nova informação. Aplicada ao centro de operações agrícolas, essa perspectiva sugere que o principal ganho não está na substituição de apontamentos manuais por registros automáticos, mas na

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 14/09/2026 | aceito: 19/10/2026 | publicação: 24/11/2026

possibilidade de enxergar, com regularidade e precisão, onde se perdem tempo, combustível e capacidade produtiva. Os procedimentos operacionais são o meio pelo qual essa visibilidade é convertida em aprendizado e em ação, tema que orienta as seções seguintes.

4 CONECTIVIDADE E QUALIDADE DO DADO COMO CONDIÇÕES DE BASE

A operação de um centro de acompanhamento em tempo real pressupõe conectividade no campo, condição que, segundo o último Censo Agropecuário, estava longe de ser generalizada no meio rural brasileiro. Segundo o Censo Agropecuário 2017, dos 5.073.324 estabelecimentos agropecuários do país, 1.430.156 produtores declararam ter acesso à internet, sendo cerca de 659 mil por banda larga e 909 mil por internet móvel, enquanto em 2006 apenas 75 mil estabelecimentos tinham acesso (IBGE, 2019). Ainda que o crescimento tenha sido expressivo, os números indicam que a maior parte dos estabelecimentos permanecia sem conexão naquele momento. Bolfe et al. (2020) confirmam essa limitação ao identificar a conectividade, ao lado dos custos de máquinas, equipamentos e programas, entre os principais desafios percebidos pelos produtores para a adoção de tecnologias digitais.

Para operações de grande escala, como as frentes de colheita de cana, a conectividade precisa ser tratada como infraestrutura de produção e não como serviço acessório. Tzounis et al. (2017), ao revisarem as tecnologias de comunicação sem fio empregadas na agricultura, mostram que a escolha entre elas envolve compromissos entre alcance, taxa de transmissão e consumo de energia, aspecto especialmente relevante em áreas extensas e afastadas dos centros urbanos. Do ponto de vista dos procedimentos, isso implica prever como o sistema se comporta quando a comunicação falha. Propõe-se, neste estudo, que os procedimentos definam o armazenamento local dos registros nos equipamentos, a sincronização posterior com a base central, a sinalização das lacunas de transmissão e as formas alternativas de comunicação entre o centro e as frentes, de modo que a perda de sinal não se converta em perda de informação ou em decisão baseada em dados incompletos.

A qualidade do dado é a segunda condição de base. Kamilaris, Kartakoullis e Prenafeta-Boldú (2017) destacam, entre as dimensões dos grandes volumes de dados, a veracidade, que se refere à exatidão e à credibilidade da informação. Nos computadores de bordo, boa parte dos registros é gerada automaticamente, como horas de motor e posição, mas outra parte depende do operador, como a indicação do motivo de cada parada. Quando o operador escolhe uma categoria genérica, deixa de apontar a parada ou registra um motivo incorreto, o dado perde valor analítico. Silva (2018), ao analisar registros de computador de bordo de oito colhedoras, trabalhou com milhares de horas de parada classificadas por causa, o que pressupõe uma classificação consistente dos registros. A padronização da lista de motivos, o treinamento dos operadores e a auditoria periódica dos

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 14/09/2026 | aceito: 19/10/2026 | publicação: 24/11/2026

apontamentos tornam-se, por isso, componentes essenciais do procedimento.

Wolfert et al. (2017) apontam a governança dos dados, que inclui propriedade, privacidade e segurança, como uma das questões centrais a serem enfrentadas na agricultura inteligente, ao lado da definição de modelos de negócio para o compartilhamento de informações. No setor sucroenergético, essa questão ganha contornos concretos, já que as frentes de colheita reúnem equipamentos de diferentes fabricantes, prestadores de serviço de transporte e fornecedores de cana, cada qual com seus próprios sistemas. A definição de quem é dono de cada dado, quem pode acessá-lo e para quais finalidades precisa anteceder a integração das bases. Sem esse acordo prévio, o centro de operações pode operar com informações parciais ou a gerar conflitos com parceiros que não reconhecem a legitimidade do uso dos seus dados.

Uma terceira condição diz respeito à integração entre sistemas. Lejars, Le Gal e Auzoux (2008) argumentam que as decisões tomadas em diferentes níveis da cadeia de abastecimento de cana não podem mais ser consideradas de forma independente, já que afetam a rentabilidade do conjunto, e propuseram uma abordagem de apoio à decisão baseada em simulação para facilitar a negociação entre produtores e usinas. Essa articulação pressupõe que os dados de campo, de transporte e de recepção na indústria possam ser relacionados entre si, por exemplo, pela identificação comum de talhões, frentes, viagens e cargas. Propõe-se que o desenho do centro de operações comece pela definição desse modelo comum de dados, porque é ele que permite responder a perguntas que atravessam diferentes etapas, como o efeito de uma parada na colheita sobre a fila de caminhões na balança ou sobre a moagem horária.

5 EFICIÊNCIA OPERACIONAL E TEMPOS PERDIDOS NO SISTEMA DE CORTE, TRANSBORDO E TRANSPORTE

A engenharia de máquinas agrícolas oferece os conceitos básicos para interpretar os dados gerados no campo. A norma de gestão de máquinas agrícolas da American Society of Agricultural and Biological Engineers define a eficiência de campo como a relação entre a capacidade efetiva e a capacidade teórica de uma máquina e associa as diferenças entre ambas a fatores como habilidade do operador, formato da área, padrão de trabalho, manobras, abastecimento e descarregamento (ASABE, 2006). Santos et al. (2014) avaliaram, por modelagem computacional, o impacto da eficiência de campo sobre a capacidade operacional e o custo de produção do sistema colhedora e transbordo na colheita mecanizada de cana. Esses conceitos permitem traduzir os registros dos computadores de bordo em indicadores comparáveis, desde que os tempos sejam classificados de maneira consistente.

Na colheita de cana, a máquina não opera isoladamente. A colhedora depende do transbordo para

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

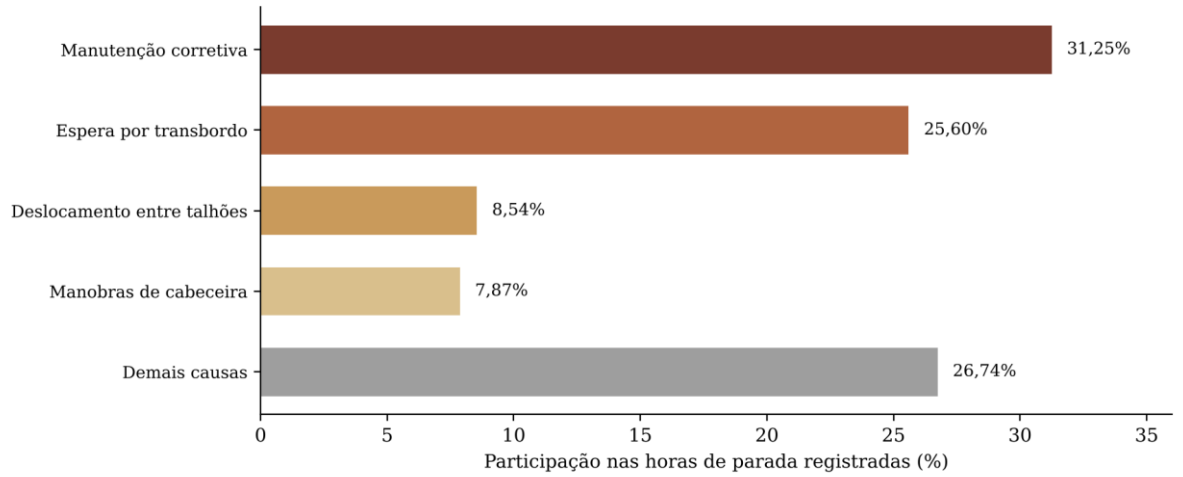
RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 14/09/2026 | aceito: 19/10/2026 | publicação: 24/11/2026

descarregar a cana picada, o transbordo depende do caminhão para transferir a carga, e o caminhão depende das condições de tráfego e da recepção na indústria. Iannoni e Morabito (2006) analisaram, por meio de simulação discreta, o sistema de recepção de cana de uma usina e mostraram que as medidas de desempenho, como tempo médio de espera dos caminhões e taxa de descarregamento, dependem da configuração e das políticas de operação adotadas. A consequência para o centro de operações é que os indicadores de cada equipamento precisam ser lidos em conjunto, já que uma colhedora parada pode refletir falta de transbordo, e um transbordo ocioso pode refletir problema na colhedora ou no caminhão.

Silva (2018) analisou dados de computadores de bordo de oito colhedoras, coletados entre abril e agosto de 2015, que totalizaram 29.346,3 horas, e identificou que a manutenção corretiva respondeu por 31,25% das horas de parada registradas, a espera por transbordo por 25,60%, o deslocamento da máquina entre talhões por 8,54% e as manobras no final da linha por 7,87%. No mesmo estudo, a disponibilidade mecânica das colhedoras foi de 74,6%, a eficiência operacional de 44,4% e a eficiência global de 27,9%. A Figura 1 sintetiza a distribuição das causas de parada e evidencia que mais da metade das horas paradas se concentrou em apenas duas causas, uma ligada à manutenção e outra à logística de apoio à colheita.

Figura 1 – Distribuição das horas de parada de oito colhedoras de cana-de-açúcar por causa, registradas por computador de bordo entre abril e agosto de 2015



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Silva (2018). Nota: a categoria demais causas foi obtida por diferença em relação ao total de horas de parada registradas.

A leitura desses dados ajuda a orientar o desenho dos procedimentos. Quando a maior parte das perdas se concentra em poucas causas, é razoável priorizar as análises e as ações sobre essas causas, em vez de dispersar esforços sobre todos os indicadores ao mesmo tempo. Nakajima (1988), ao estruturar a

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 14/09/2026 | aceito: 19/10/2026 | publicação: 24/11/2026

manutenção produtiva total, propôs a eficiência global do equipamento como indicador que combina disponibilidade, desempenho e qualidade, e organizou as perdas em categorias que permitem identificar onde a capacidade produtiva é consumida. Adaptada à colheita de cana, essa lógica sugere que o centro de operações acompanhe separadamente as perdas por manutenção, por espera logística, por deslocamento e por manobra, já que cada uma exige responsáveis e respostas diferentes.

A espera por transbordo, segunda maior causa no estudo de Silva (2018), ilustra bem o papel do centro de operações como coordenador do sistema. Esse tipo de perda não resulta de falha da colhedora, mas do desequilíbrio entre a capacidade de colheita e a capacidade de retirada da cana do talhão. Iannoni e Morabito (2006) mostraram que configurações e políticas alternativas de operação alteram o desempenho do sistema de recepção, e Lejars, Le Gal e Auzoux (2008) destacaram que decisões tomadas em diferentes níveis da cadeia de abastecimento influenciam o resultado do conjunto. Propõe-se, assim, que os procedimentos do centro incluam regras de redistribuição de transbordos e caminhões entre frentes, com critérios de acionamento baseados no tempo de espera acumulado, e que essas decisões sejam registradas para posterior avaliação de sua efetividade.

6 DECISÃO, CONSCIÊNCIA SITUACIONAL E O PAPEL DO OPERADOR

Um centro de operações é, antes de tudo, um ambiente de tomada de decisão. Simon (1955) mostrou que os decisores reais operam sob racionalidade limitada, com informação incompleta, tempo restrito e capacidade cognitiva finita, e que, nessas condições, tendem a buscar soluções satisfatórias em vez de ótimas. Klein (1998), ao estudar profissionais que decidem sob pressão de tempo, como bombeiros e militares, observou que decisões rápidas e eficazes costumam se apoiar no reconhecimento de padrões construídos pela experiência, e não na comparação exaustiva de alternativas. Esses dois referenciais indicam que o desenho do centro de operações deve reduzir a carga de busca e de interpretação imposta aos operadores, oferecendo informação já organizada em torno das decisões que eles precisam tomar.

Endsley (1995) definiu a consciência situacional em três níveis, que correspondem à percepção dos elementos do ambiente, à compreensão de seu significado e à projeção de seu estado futuro. Em um centro que acompanha dezenas de colhedoras e caminhões, a tela que mostra a posição e o estado de cada equipamento atende apenas ao primeiro nível. A compreensão exige que o operador saiba, por exemplo, se uma colhedora parada está em manutenção programada, aguardando transbordo ou com falha, e a projeção exige estimar o efeito dessa parada sobre a meta de entrega de cana à indústria nas horas seguintes. Propõe-se que as interfaces e os procedimentos sejam desenhados a partir dessas perguntas, de modo que a informação apresentada apoie a compreensão e a antecipação, e não apenas

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 14/09/2026 | aceito: 19/10/2026 | publicação: 24/11/2026

a observação.

O excesso de informação é um risco concreto nesses ambientes. Eppler e Mengis (2004), ao revisarem a literatura sobre sobrecarga de informação em diferentes campos, sistematizaram suas causas, efeitos e contramedidas e mostraram que, além de certo ponto, o aumento da quantidade de informação disponível pode prejudicar a qualidade das decisões. A norma ISO 11064, dedicada ao projeto ergonômico de centros de controle, estabelece princípios que incluem a centralidade do usuário, a análise das tarefas e a consideração das capacidades e limitações humanas no projeto de salas, postos de trabalho e interfaces (ISO, 2000). No centro de operações agrícolas, essas orientações sugerem limitar o número de indicadores exibidos simultaneamente, hierarquizar a informação por urgência e relevância e evitar telas que apenas reproduzam todos os dados disponíveis.

A gestão de alarmes merece tratamento específico. A norma ANSI/ISA-18.2, elaborada para a indústria de processos, estabelece um ciclo de vida para os sistemas de alarme que inclui filosofia, identificação, racionalização, projeto, implementação, operação, manutenção, monitoramento e avaliação, partindo do princípio de que cada alarme deve exigir uma resposta definida do operador (ISA, 2016). Transposta para o campo, essa lógica implica que alertas como excesso de velocidade, parada prolongada, desvio de rota ou consumo anormal de combustível só devem existir se houver uma ação associada, um responsável e um prazo de resposta. A própria norma prevê o monitoramento contínuo do desempenho do sistema de alarmes, inclusive dos alarmes incômodos e dos períodos de excesso de alarmes, o que reforça a necessidade de revisar periodicamente a pertinência de cada alerta configurado no centro.

Parasuraman, Sheridan e Wickens (2000) propuseram que a automação pode atuar em quatro funções, a aquisição de informação, a análise da informação, a seleção de decisões e a implementação de ações, cada uma com níveis distintos de autonomia. Bainbridge (1983) advertiu que, quanto mais automatizado é um sistema, mais o operador humano fica encarregado das tarefas difíceis e menos oportunidades tem de manter suas habilidades. No centro de operações agrícolas, a coleta e o processamento dos dados podem ser amplamente automatizados, enquanto decisões como realocar equipamentos entre frentes, interromper uma operação por risco ou acionar a manutenção de campo envolvem julgamento. Definir com clareza o que cabe aos sistemas e o que cabe às pessoas, em cada etapa, evita tanto a dependência excessiva da automação quanto a subutilização das ferramentas disponíveis.

7 DESENHO DE PROCEDIMENTOS E ROTINAS DE GESTÃO

Procedimentos operacionais são a forma pela qual uma organização transforma conhecimento em

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 14/09/2026 | aceito: 19/10/2026 | publicação: 24/11/2026

prática repetível. Ohno (1988), ao descrever o sistema de produção da Toyota, destacou o trabalho padronizado como elemento da organização da produção, com a definição da sequência de tarefas, do tempo de ciclo e dos estoques necessários a cada operação. Na tradição da produção enxuta, essa padronização é tratada como referência a partir da qual os desvios são identificados e as melhorias são avaliadas. No centro de operações agrícolas, essa ideia se aplica tanto ao trabalho dos operadores da sala quanto às interações com o campo. Propõe-se que o procedimento descreva, para cada tipo de evento relevante, o sinal que o identifica, o responsável pela primeira resposta, as informações a serem confirmadas, as ações possíveis, o prazo esperado e a forma de registro, de modo que a resposta não dependa exclusivamente da experiência individual de quem está no turno.

A padronização, porém, não é um fim em si mesma, mas o ponto de partida de um ciclo de aprendizagem. Deming (1986) apresentou o ciclo de Shewhart, de planejar, executar, verificar e agir, como método de melhoria contínua, no qual os resultados de cada intervenção são avaliados e incorporados ao padrão seguinte. Para o centro de operações, isso significa que as rotinas não se limitam a acompanhar indicadores durante o turno, mas incluem momentos estruturados de análise. Propõe-se uma hierarquia de rotinas que combine o acompanhamento contínuo durante a operação, reuniões breves de passagem de turno com foco nas ocorrências e pendências, análises semanais das principais causas de perda e revisões periódicas dos próprios procedimentos, com participação das lideranças de campo, da manutenção e da logística.

A escolha dos indicadores condiciona o comportamento da organização. Kaplan e Norton (1992) argumentaram que sistemas de medição de desempenho influenciam fortemente o comportamento de gestores e equipes e propuseram combinar indicadores financeiros e operacionais em um conjunto equilibrado. No contexto do centro de operações, esse alerta é especialmente pertinente, porque indicadores isolados podem induzir otimizações locais em prejuízo do sistema. Uma meta rígida de toneladas colhidas por colhedora, por exemplo, pode estimular aumento de velocidade com reflexos sobre perdas, impurezas e desgaste, enquanto uma meta exclusiva de consumo de combustível pode desestimular deslocamentos necessários. Propõe-se que os indicadores sejam definidos em conjunto, cubram a eficiência, a qualidade, a segurança e o custo e estejam explicitamente relacionados às principais causas de perda identificadas nos dados.

A aceitação dos procedimentos pelas equipes é outro determinante de seu sucesso. Davis (1989) mostrou que a utilidade percebida e a facilidade de uso percebida estão associadas à aceitação de tecnologias da informação pelos usuários, e Rogers (2003) descreveu a difusão de inovações como um processo social influenciado pela vantagem relativa, pela compatibilidade com práticas existentes, pela complexidade, pela possibilidade de experimentação e pela visibilidade dos resultados. Bolfe et al. (2020) registraram que 95% dos produtores entrevistados gostariam de aprender mais sobre novas

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 14/09/2026 | aceito: 19/10/2026 | publicação: 24/11/2026

tecnologias. Essas contribuições sugerem que a implantação de um centro de operações deve incluir capacitação dos operadores de máquinas e das lideranças, retorno regular das informações às equipes de campo e participação dos usuários na revisão das rotinas e das listas de motivos de parada.

Por fim, o desenho dos procedimentos precisa considerar a relação entre o centro e a liderança de campo. Klerkx, Jakku e Labarthe (2019) apontam, entre os temas da literatura, os efeitos da digitalização sobre o trabalho e as competências das pessoas envolvidas. Se o centro passa a ver em tempo real aquilo que antes só o líder de frente conhecia, existe o risco de sobreposição de comandos e de perda de autonomia de quem está no campo. Propõe-se que os procedimentos definam com clareza os papéis de cada instância, reservando ao centro a função de observar o sistema como um todo, identificar desvios e coordenar recursos entre frentes, e à liderança de campo a decisão sobre a execução local, com canais de comunicação definidos e registro das decisões tomadas por ambas as partes.

8 IMPACTOS OPERACIONAIS, DE SEGURANÇA, AMBIENTAIS, TRABALHISTAS E DE GOVERNANÇA

Os impactos operacionais e econômicos são os mais diretamente associados aos centros de operações. A literatura revisada discute o efeito da eficiência de campo sobre a capacidade operacional e o custo da colheita mecanizada (Santos et al., 2014) e indica e que uma parcela expressiva do tempo das colhedoras pode ser consumida por paradas ligadas à manutenção e à logística de apoio (Silva, 2018). Ao tornar essas perdas visíveis e organizar respostas padronizadas, o centro cria condições para reduzi-las. A magnitude desse efeito, contudo, depende do ponto de partida de cada operação, da qualidade dos dados e da efetividade das ações tomadas, razão pela qual os ganhos esperados devem ser estimados a partir de linhas de base próprias e não de valores médios genéricos.

No campo da segurança, o monitoramento de velocidade, de rotas e de tempos de condução oferece instrumentos para acompanhar comportamentos de risco e o cumprimento das regras de jornada. A Lei nº 13.103/2015 disciplina a jornada e o tempo de direção do motorista profissional e admite que a jornada seja controlada e registrada por sistemas e meios eletrônicos instalados nos veículos, a critério do empregador (Brasil, 2015), o que aproxima os registros de viagem das obrigações trabalhistas no transporte de cana. Os mesmos dados podem permitir a identificação de trechos de estrada com maior frequência de eventos de risco e a orientação de intervenções de infraestrutura ou de sinalização. Para que esses benefícios se concretizem, os procedimentos devem definir como os alertas de segurança são tratados, quem é responsável pela abordagem com o motorista ou operador e de que forma as ocorrências alimentam programas de treinamento, evitando que o monitoramento

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 14/09/2026 | aceito: 19/10/2026 | publicação: 24/11/2026

se reduza a um mecanismo punitivo.

Os impactos ambientais decorrem, sobretudo, do uso mais racional de máquinas e combustível. A redução de tempos ociosos com motor ligado, de deslocamentos desnecessários e de esperas tende a diminuir o consumo de combustível por tonelada colhida e transportada e, consequentemente, as emissões associadas. Wolfert et al. (2017) observam que as aplicações de dados na agricultura inteligente alcançam toda a cadeia de suprimentos, o que abre a possibilidade de utilizar os registros de campo também para a contabilização de emissões e para a rastreabilidade eventualmente exigida por certificações e por compradores. Esses benefícios, no entanto, só podem ser comprovados se o centro de operações mantiver séries históricas confiáveis de consumo, de horas trabalhadas e de volume transportado, o que reforça a importância da qualidade do dado discutida na seção 4.

O monitoramento eletrônico também produz efeitos sobre as relações de trabalho. Ball (2010) mostra que as organizações monitoram os empregados principalmente para proteger seus ativos, mas que a natureza e a intensidade da vigilância revelam como a empresa enxerga seus trabalhadores e produzem consequências sobre o bem-estar, a cultura, a produtividade, a criatividade e a motivação. A autora observa que o rastreamento de localização está entre as formas de monitoramento em expansão. No contexto dos centros de operações, esse alerta indica que a transparência sobre o que é monitorado, com que finalidade e de que forma os dados são usados nas avaliações individuais é condição para que a tecnologia seja percebida como apoio ao trabalho, e não apenas como controle.

A governança de dados completa o quadro de impactos. A Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais estabelece princípios como finalidade, adequação, necessidade, transparência e segurança no tratamento de dados pessoais, o que alcança informações vinculadas a operadores e motoristas identificáveis, como localização, jornada e comportamento de condução (Brasil, 2018). Wolfert et al. (2017) destacam que propriedade, privacidade e segurança dos dados estão entre as questões centrais da agricultura inteligente, e Klerkx, Jakku e Labarthe (2019) incluem a ética e a governança entre os temas da literatura sobre digitalização agrícola. Propõe-se que os procedimentos do centro definam bases legais, prazos de retenção, perfis de acesso e regras de compartilhamento com prestadores de serviço e fornecedores, tratando a governança como parte do desenho operacional e não como etapa posterior.

CONCLUSÃO

A mecanização da colheita da cana-de-açúcar transformou a operação agrícola em um sistema logístico interdependente, no qual colhedoras, transbordos e caminhões precisam funcionar de forma coordenada para garantir o abastecimento da indústria. A difusão de computadores de bordo,

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 14/09/2026 | aceito: 19/10/2026 | publicação: 24/11/2026

telemetria e redes de comunicação tornou possível acompanhar esse sistema em tempo quase real, e os centros de operações agrícolas surgiram como resposta organizacional a essa possibilidade.

A revisão sugere que o valor desses centros não decorre da tecnologia em si, mas da capacidade da organização de interpretar e agir sobre a informação que ela torna visível. A distinção entre automatizar e informar ajuda a compreender esse ponto, pois o principal ganho está em enxergar com regularidade onde se perdem tempo, combustível e capacidade produtiva, e em transformar essa visibilidade em decisões e aprendizado. Sem essa capacidade, os dados acumulados tendem a permanecer subutilizados, e o centro corre o risco de se tornar apenas um espaço de observação.

Conectividade, qualidade do dado e integração entre sistemas constituem condições de base. Os dados do Censo Agropecuário e da pesquisa com produtores mostram que a conectividade ainda é um desafio no meio rural brasileiro, e os procedimentos precisam prever o comportamento do sistema quando a comunicação falha. A padronização dos motivos de parada, o treinamento dos operadores e a auditoria dos apontamentos são indispensáveis para que os registros tenham valor analítico.

Os conceitos de eficiência de campo e de eficiência global do equipamento oferecem uma linguagem comum para interpretar os dados dos computadores de bordo. Dados de estudo com colhedoras de cana indicam que poucas causas, como a manutenção corretiva e a espera por transbordo, podem concentrar grande parte das horas paradas, o que recomenda priorizar análises e ações sobre essas causas e ler os indicadores de cada equipamento em conjunto com os demais elos do sistema.

O centro de operações é também um ambiente de decisão sujeito às limitações humanas. A racionalidade limitada, a importância do reconhecimento de padrões, os níveis de consciência situacional e os riscos de sobrecarga de informação indicam que interfaces e procedimentos devem ser desenhados a partir das decisões que os operadores precisam tomar. A gestão de alarmes, com cada alerta associado a uma ação, um responsável e um prazo, é parte essencial desse desenho.

Os procedimentos operacionais devem combinar padronização e aprendizagem contínua. A definição clara de sinais, responsáveis, ações e registros para cada tipo de evento, articulada a rotinas de análise em diferentes horizontes de tempo e a indicadores equilibrados, permite que o centro deixe de ser uma sala de observação e passe a funcionar como instrumento de melhoria do sistema como um todo, sem retirar da liderança de campo a autonomia sobre a execução local.

Os impactos de procedimentos bem estruturados alcançam diferentes dimensões. Podem contribuir para reduzir perdas operacionais, apoiar a segurança no transporte e o cumprimento das regras de jornada, diminuir o consumo de combustível e as emissões associadas e produzir registros úteis para rastreabilidade e certificação. Ao mesmo tempo, exigem atenção aos efeitos do monitoramento sobre os trabalhadores e ao tratamento de dados pessoais, temas que precisam ser incorporados ao desenho operacional desde o início.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 14/09/2026 | aceito: 19/10/2026 | publicação: 24/11/2026

Por se tratar de revisão narrativa, este estudo apresenta limitações, entre elas a ausência de verificação empírica das proposições e o uso de estudos realizados em contextos específicos, cujos resultados não podem ser generalizados para todas as operações. Recomenda-se que pesquisas futuras avaliem, em diferentes usinas e regiões, a relação entre a maturidade dos procedimentos dos centros de operações e os indicadores de eficiência, segurança e consumo, bem como a percepção dos trabalhadores sobre o monitoramento, de modo a consolidar uma base de evidências própria para o setor.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS (ASABE). **ASAE EP496.3 FEB2006**: agricultural machinery management. St. Joseph: ASABE, 2006.

BAINBRIDGE, L. Ironies of automation. **Automatica**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 775-779, 1983.

BALL, K. Workplace surveillance: an overview. **Labor History**, v. 51, n. 1, p. 87-106, 2010. DOI: 10.1080/00236561003654776.

BOLFE, E. L. et al. Precision and digital agriculture: adoption of technologies and perception of Brazilian farmers. **Agriculture**, Basel, v. 10, n. 12, art. 653, 2020. DOI: 10.3390/agriculture10120653.

BRASIL. Lei nº 13.103, de 2 de março de 2015. Dispõe sobre o exercício da profissão de motorista e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2015. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13103.htm.

BRASIL. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2018. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, Brasília, DF, v. 13, safra 2025/26, n. 4, quarto levantamento, abr. 2026.

DAVIS, F. D. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. **MIS Quarterly**, v. 13, n. 3, p. 319-340, 1989.

DEMING, W. E. **Out of the crisis**. Cambridge, MA: MIT Center for Advanced Engineering Study, 1986.

ENDSLEY, M. R. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. **Human Factors**, v. 37, n. 1, p. 32-64, 1995.

EPPLER, M. J.; MENGIS, J. The concept of information overload: a review of literature from organization science, accounting, marketing, MIS, and related disciplines. **The Information Society**, v. 20, n. 5, p. 325-344, 2004. DOI: 10.1080/01972240490507974.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 14/09/2026 | aceito: 19/10/2026 | publicação: 24/11/2026

IANNONI, A. P.; MORABITO, R. A discrete simulation analysis of a logistics supply system. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 42, n. 3, p. 191-210, 2006. DOI: 10.1016/j.tre.2004.10.002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário 2017**: resultados definitivos. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 11064-1**: ergonomic design of control centres, part 1, principles for the design of control centres. Geneva: ISO, 2000.

INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION (ISA). **ANSI/ISA-18.2-2016**: management of alarm systems for the process industries. Research Triangle Park: ISA, 2016.

KAMILARIS, A.; KARTAKOULLIS, A.; PRENAFETA-BOLDÚ, F. X. A review on the practice of big data analysis in agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 143, p. 23-37, 2017. DOI: 10.1016/j.compag.2017.09.037.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. The balanced scorecard: measures that drive performance. **Harvard Business Review**, Boston, v. 70, n. 1, p. 71-79, 1992.

KLEIN, G. **Sources of power**: how people make decisions. Cambridge, MA: MIT Press, 1998.

KLERKX, L.; JAKKU, E.; LABARTHE, P. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: new contributions and a future research agenda. **NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences**, v. 90-91, art. 100315, 2019. DOI: 10.1016/j.njas.2019.100315.

LEJARS, C.; LE GAL, P. Y.; AUZOUX, S. A decision support approach for cane supply management within a sugar mill area. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 60, n. 2, p. 239-249, 2008. DOI: 10.1016/j.compag.2007.08.008.

NAKAJIMA, S. **Introduction to TPM**: total productive maintenance. Cambridge, MA: Productivity Press, 1988.

OHNO, T. **Toyota production system**: beyond large-scale production. Cambridge, MA: Productivity Press, 1988.

PARASURAMAN, R.; SHERIDAN, T. B.; WICKENS, C. D. A model for types and levels of human interaction with automation. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans**, v. 30, n. 3, p. 286-297, 2000.

ROGERS, E. M. **Diffusion of innovations**. 5. ed. New York: Free Press, 2003.

SAIANI, C. C. S.; PEROSA, B. B. Saúde respiratória e mecanização da colheita da cana-de-açúcar nos municípios paulistas: a importância do Protocolo Agroambiental. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 54, n. 1, p. 29-50, 2016.

SANTOS, N. B.; CAVALCANTE, D. S.; FERNANDES, H. C.; GADANHA JÚNIOR, C. D. Simulação da eficiência de campo da colheita mecanizada de cana-de-açúcar (Saccharum spp.).

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 14/09/2026 | aceito: 19/10/2026 | publicação: 24/11/2026

Energia na Agricultura, Botucatu, v. 29, n. 1, p. 9-13, 2014.

SILVA, J. P. L. **Capacidades operacionais de colhedoras de cana-de-açúcar**. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

SIMON, H. A. A behavioral model of rational choice. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 69, n. 1, p. 99-118, 1955.

TZOUNIS, A.; KATSOULAS, N.; BARTZANAS, T.; KITTAS, C. Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. **Biosystems Engineering**, v. 164, p. 31-48, 2017. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007.

WOLFERT, S.; GE, L.; VERDOUW, C.; BOGAARDT, M. J. Big data in smart farming: a review. **Agricultural Systems**, v. 153, p. 69-80, 2017. DOI: 10.1016/j.agsy.2017.01.023.

ZUBOFF, S. **In the age of the smart machine**: the future of work and power. New York: Basic Books, 1988.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.