

V.21 nº45 (2025)

REVISTA DA
**AN
PE
GE**

ISSN 1679-768X

a

ANPEGE

Associação Nacional
de Pós-graduação e
Pesquisa em Geografia



Expressões do processo de digitalização no setor sucroenergético brasileiro: uma avaliação a partir do grupo BP Bunge Bioenergia

Expressions of the digitalization process in the Brazilian sugar-energy sector: an assessment based on the BP Bunge Bioenergia group

Expresiones del proceso de digitalización en el sector sucroenergético brasileño: una evaluación basada en el grupo BP Bunge Bioenergia

DOI: 10.5418/ra2025.v21i45.19494

MATHEUS EDUARDO SOUZA TEIXEIRA

Universidade Federal de Jataí (UFJ)

MIRLEI FACHINI VICENTE PEREIRA

Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

V.21 n°45 (2025)

e-íssn : 1679-768X

RESUMO: O presente texto analisa algumas expressões do processo em curso de digitalização no agronegócio brasileiro, com foco no setor sucroenergético, a partir das práticas do Grupo BP Bunge Bioenergia (entre os anos de 2019 e 2024). Para tal, o objetivo foi avaliar os encadeamentos e implicações territoriais resultantes da digitalização dos processos produtivos, revelando como o fenômeno assume importância para a racionalização técnica da produção sucroenergética então controlada pelo referido grupo no Brasil. A pesquisa envolveu revisão bibliográfica, análise de dados do grupo e trabalhos de campo em diversas regiões do país. Constatamos que o grupo BP Bunge se aproveitou das novas tecnologias para inaugurar uma nova etapa de racionalização técnica-digital da produção, otimizando tanto a produção agrícola (Agro 4.0) quanto a industrial (Usina 4.0).

Palavras-chave: setor sucroenergético; transformação digital; racionalização da produção; BP Bunge Bioenergia.

ABSTRACT: This text analyses some expressions of the ongoing process of digitalisation in Brazilian agribusiness, with a focus on the sugar-energy sector, based on the practices of the BP Bunge Bioenergy Group (between 2019 and 2024). To this end, the aim was to assess the territorial links and implications resulting from the digitalisation of productive processes, revealing how important the phenomenon is for the technical rationalisation of the sugar-energy production then controlled by the group in Brazil. The research involved a literature review, analysis of group data and fieldwork in various regions of the country. We found that BP Bunge Bioenergy Group took advantage of new technologies to inaugurate a new stage in the technical-digital rationalisation of production, optimising both agricultural production (Agriculture 4.0) and industrial production (Plant 4.0).

Keywords: sugar-energy sector; digital transformation; productive rationalization; BP Bunge Bioenergia.

RESUMEN: El presente texto analiza algunas expresiones del proceso de digitalización en curso en el agronegocio brasileño, con foco en el sector sucroenergético, a partir de las prácticas del Grupo BP Bunge Bioenergia (entre 2019 y 2024). Para ello, el objetivo fue evaluar los vínculos e



implicaciones territoriales resultantes de la digitalización de los procesos productivos, revelando la importancia del fenómeno para la racionalización técnica de la producción sucroenergética controlada por el grupo en Brasil. La investigación incluyó una revisión bibliográfica, análisis de datos de BP Bunge y trabajo de campo en diversas regiones del país. Encontramos que BP Bunge aprovechó las nuevas tecnologías para inaugurar una nueva etapa en la racionalización técnico-digital de la producción, optimizando tanto la producción agrícola (Agricultura 4.0) como la producción industrial (Planta 4.0).

Palabras-clave: sector sucroenergético; transformación digital; racionalización de la producción; BP Bunge Bioenergía.

INTRODUÇÃO

O processo de globalização e o arranjo neoliberal das práticas de mercado e do Estado, hoje cada vez mais marcados pela centralidade da alta finança (Chesnais, 2005), são recentemente potencializados por mecanismos atualizados de produção e acumulação, em muito caracterizados pelo processo de transformação digital, ou simplesmente “digitalização”. Trata-se de uma nova condição posta às sociedades e territórios, em que a produção da informação digital sobre a maior parte das esferas da vida (espaço, produção, consumo, dados e hábitos pessoais diversos etc.) é em muito produzida, manipulada e utilizada por um número restrito de grandes grupos e empresas, em diferentes setores de atividades.

Poupando trabalho e administrando de forma racionalizada o uso do território e comportamentos sociais diversos, o processo em curso de digitalização figura mesmo como condição de uma nova força produtiva, capaz de conferir aos agentes hegemônicos da economia e da política um poder de governo ainda maior sobre as sociedades.

Tal condição se estende, sobretudo a partir da segunda década do século XXI, também ao campo brasileiro, ainda que de modo restrito aos principais espaços acionados pelo agronegócio globalizado (Elias, 2022), ou seja, ao tipo de produção agropecuária realizado com base em parâmetros globais, mirando gêneros mais valorizados mercado (especialmente *commodities*), com produção padronizada e estabelecendo cadeias de valor globais, dependente de pacotes tecnológicos modernos e em geral controlados por grandes *tradings* e empresas multinacionais.

É essencialmente a partir deste tipo de produção, e pelos esforços empreendidos por um número restrito de grandes grupos que a controlam, somado ao habitual apoio do Estado, que o Brasil conhece a difusão recente da chamada Agricultura 4.0 (ou “Agro 4.0”), em que as práticas da digitalização se afirmam como elemento essencial.

O Brasil tem investido neste “Agro 4.0”, destacando a hiperconectividade do agronegócio com base em dados coletados. Desde a criação da Câmara do Agro 4.0 em 2019, como parte do Plano Nacional de Internet das Coisas, o país vem lançando editais direcionados principalmente ao agronegócio e grandes produtores rurais (Tygel *et al.*, 2023).

Milton Santos ([1996] 2017, p. 305) apontou o quanto o capital tecnológico busca contagiar as inúmeras atividades agrícolas, processo que marca a chamada agricultura científica globalizada (Santos, 2000) e é desta maneira que hoje se expande no campo tal razão hegemônica, impondo uma nova racionalidade técnica às ações, com novos usos territoriais e novas definições de uso do tempo social.

Compreendemos aqui a racionalização técnica da produção como o processo capitalista contemporâneo de aplicação de esquemas lógicos e procedimentos sistematizados para otimizar tarefas produtivas, maximizar a eficiência e minimizar perdas em diversas áreas, como a agricultura, a indústria, a engenharia e a gestão. Tal processo, em sua face atual, envolve a busca por soluções mais eficazes e previsíveis, por meio da análise de dados digitais numerosos, com planejamento detalhado e uso de tecnologias avançadas, incluindo, sobremaneira, algoritmos e dados geolocalizados.

No entanto, a atual ênfase na racionalização técnica da produção agropecuária quase sempre não leva em consideração os fatores humanos, sociais e políticos, gerados em abordagens que não alcançam completamente a complexidade do território em que são aplicadas. Deste modo, a racionalização técnica (e por estes moldes atualizada) da produção é também responsável por uma nova vaga de racionalização do território, processo que resulta de uma “corrida sem fim” pela acumulação ampliada, o que pode ser feito, essencialmente, apenas pelos maiores e mais capitalizados agentes do mercado. Nas palavras de Milton Santos, “numa situação de competitividade, a busca individual do maior lucro não tem outra fronteira senão a própria capacidade de criar e utilizar inovações produtivas e organizacionais. A cada momento, a maior mais-valia está sempre buscando ultrapassar a si mesma” (Santos, 1999, p. 09).

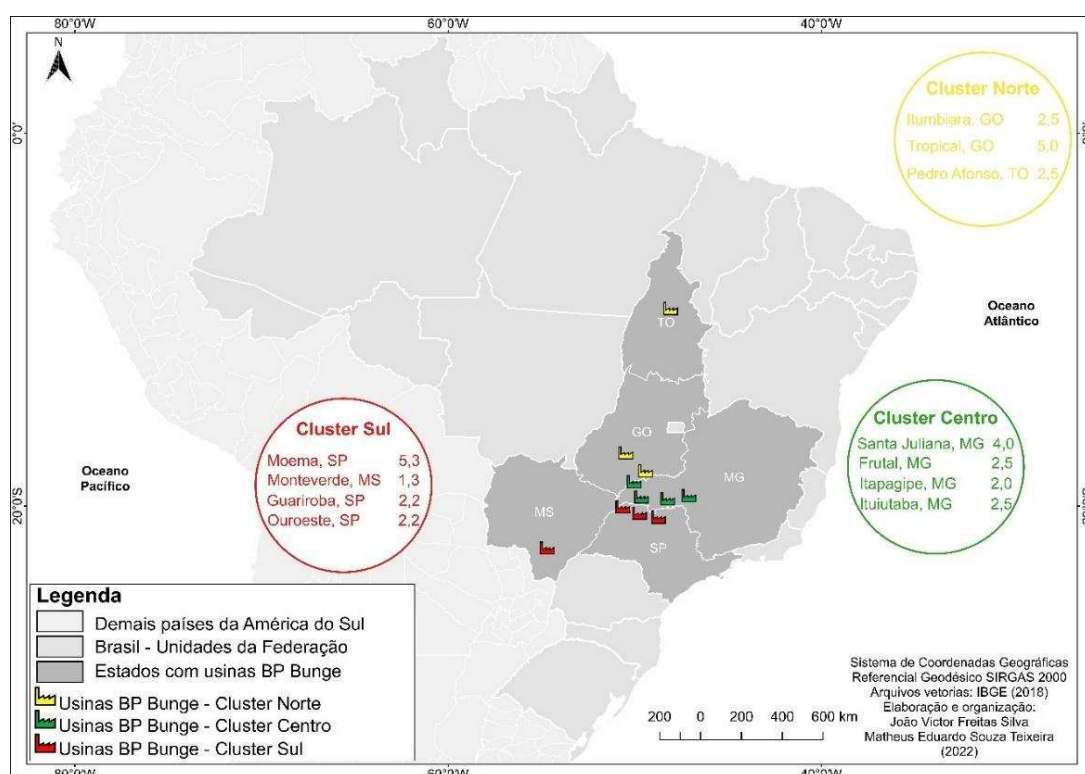
Na tentativa de alcançar tal processo em seu caráter mais atual, ou seja, a digitalização dos conteúdos territoriais e dos processos produtivos, avaliamos neste trabalho as práticas recentes do agronegócio brasileiro em um setor específico – o sucroenergético, responsável pela produção de cana-de-açúcar e derivados, a partir das práticas do Grupo BP Bunge Bioenergia, entre os anos 2019 e 2024.

O Grupo BP Bunge Bioenergia resultou de uma *joint venture* estabelecida em 2019 pelas duas multinacionais de capital aberto - British Petroleum (BP-LSE/NYSE, com sede no Reino Unido) e Bunge Limited (BG-NYSE, sede nos EUA), voltado a administrar de forma conjunta e otimizada os ativos do setor sucroenergético que ambas controlavam no país, desde o início do século atual, quando

os investimentos em energia renovável passam a figurar como interesse de grandes empresas de diferentes setores¹.

A criação do referido grupo insere no território brasileiro uma condição nova de concentração de capital no setor, já que, controlando onze unidades agroindustriais sucroenergéticas, o BP Bunge Bioenergia se estabeleceu como o segundo maior grupo em capacidade de processamento industrial de cana-de-açúcar no Brasil (atrás apenas da Raízen/Cosan S.A.).

Figura 1. Unidades sucroenergéticas, capacidade de processamento e *clusters* do Grupo BP Bunge (2020)



A estratégia de criação da *joint venture* entre a BP e a Bunge refletiu, ao mesmo tempo, as condições e os desafios de manutenção da competitividade e do valor de seus ativos, num setor que conhece um conjunto de adversidades e instabilidade a partir de 2015 (Santos *et al.* 2022; Teixeira; Pereira, 2023), ou seja, muito pouco tempo após a inserção destes agentes no setor sucroenergético brasileiro.

Assim, o referido grupo definiu um conjunto de estratégias de gestão, visando otimizar suas atividades e ampliar as capacidades de acumulação (Teixeira, 2024), ainda que isso não tenha sido suficiente para a manutenção da Bunge no negócio. Em junho de 2024, a BP sinalizou interesse em adquirir a totalidade dos ativos da empresa, comprando 50% das ações pertencentes à Bunge, fato que

¹ Bunge e BP se inseriram no setor sucroenergético brasileiro via aquisição e implantação de unidades agroindustriais sucroenergéticas, a partir dos anos 2007 e 2011, respectivamente.

se concretizou em setembro do mesmo ano. Assim, o estudo que aqui apresentamos se refere a um momento específico do grupo, hoje controlado exclusivamente pela BP, sob a marca BP Bioenergy (BP Bioenergy, 2024).

Neste curto intervalo de tempo e funcionamento da *joint-venture* (BP Bunge Bioenergia), os processos e operações do grupo foram otimizados no sentido de orientar estratégias à uma nova condição de competitividade e produtividade, o que implicou na introdução e emprego de inúmeras tecnologias novas de produção, quer seja no segmento agrícola, quer no industrial, a partir do uso de sistemas de informação digital e de geotecnologias modernas, especialmente internet das coisas (IoT), internet industrial das coisas (IIOT), Inteligência Artificial (IA) e *big data*, técnicas típicas do Agro 4.0.

Reconhecendo tais circunstâncias, a intenção do texto é avaliar os encadeamentos e implicações territoriais resultantes das estratégias praticadas entre 2019 e 2024 pelo então Grupo BP Bunge Bioenergia, revelando como a digitalização do processo produtivo assume importância para a racionalização técnica da produção sucroenergética controlada pelo referido grupo no Brasil.

Os procedimentos metodológicos incluíram revisão bibliográfica acerca do tema da digitalização, avaliando questões referentes à dinâmica produtiva do agronegócio e especialmente do setor sucroenergético brasileiro na atualidade, bem como a coleta e análise de dados relacionados ao processo produtivo do Grupo BP Bunge Bioenergia, divulgados pela própria empresa. De modo complementar aos levantamentos e análise de dados secundários, foram realizados trabalhos de campo em boa parte dos municípios que abrangem a área da atuação das unidades sucroenergéticas do grupo. Nos trabalhos de campo, efetuamos visitas nas unidades processadoras, objetivando levantar informações e compreender as especificidades da produção sucroenergética, tanto na área industrial, como no agrícola.

Para além desta introdução e das considerações finais, o texto é composto por outras três seções. Na primeira, contextualizamos brevemente a conjuntura do processo em curso de digitalização e a nova natureza que o espaço geográfico adquire a partir da profusão da informação digital sobre conteúdos territoriais e sociais. A segunda seção é destinada a avaliar como a produção agrícola da BP Bunge Bioenergia conhece um processo recente de transformação digital (agricultura 4.0) que implica em novas possibilidades de produção e de gestão do território. Uma terceira seção analisa o mesmo processo a partir do segmento industrial, com a emergência da chamada Usina 4.0.

Cremos que a avaliação das práticas do grupo endereçadas à digitalização do processo produtivo permite, ao mesmo, tempo capturar o caráter corporativo e hegemônico da agricultura 4.0, bem como revelar como o território é, corporativa e hierarquicamente, usado pelo agronegócio neste início de século.

O processo em curso de digitalização e a nova condição do território: breves apontamentos

Milton Santos (2017) afirma que as técnicas, em sistema, são por excelência fatores capazes de distinguir épocas, justamente porque revelam-se como novas autorizações ao fazer. Os sistemas técnicos abrangem os modos de produzir energia, bens e serviços, remodelando as formas de relação entre os homens e o território. Assim, na versão atual da tecnociência, situa-se a base material e ideológica em que se fundamentam o discurso e a prática da globalização, que tanto caracteriza o espaço e tempo contemporâneos (Santos, 2017, p. 177).

O aprofundamento da informatização do território, seja a partir de interesses corporativos, seja pela difusão e facilidade com que a informação é acessada e manipulada pela população em geral, permite hoje um processo em curso de digitalização de tudo e de todos, face mais atualizada do meio técnico-científico-informacional (Arroyo, 2021). É desta maneira que a informação (agora cada vez mais digital) alcança uma condição central na dinâmica atual do território, sincronizando suas diferentes porções e comunicando, instantânea e simultaneamente, o acontecer de cada lugar (Santos, 2017; Arroyo, 2021).

A informatização e digitalização do território são consequências da exigência hegemônica de reestruturar as demandas produtivas, alargando o espaço econômico capitalista à uma escala definitivamente mundial, dada a fluidez que os dados digitais hoje circulam e alcançam o mundo. Assim, o fenômeno da informatização se configura na densificação técnica e informacional do território, por meio da inserção de tecnologias de informação atribuídas ao uso de empresas hegemônicas (Curioso, 2015).

Os objetos informacionais que conferem a atual "velocidade do mundo" são o meio de realização daquilo que Milton Santos (2017, p. 333) denominara de "sincronização despótica" dos tempos. Contudo, somente alguns objetos, em lugares também precisos, conseguirão tornar-se efetivamente sincronizados, mesmo que os contextos se alarguem e se tornem mais espessos, estabelecendo e exigindo crescente interdependência entre os subespaços mais preparados para tal (Santos, 2017, p. 255). Nas palavras de Mónica Arroyo,

A digitalização do território em curso existe graças à complexidade que gradativamente adquire a tecnosfera. Os sistemas de engenharia que servem à *internet* atendem níveis de organização com uma diversidade de objetos e serviços que garantem o tráfego de dados e o seu acesso (computadores, roteadores, servidores, provedores, cabos de cobre, cabos modem, fibra ótica, rádio, antenas, satélites, cabos submarinos). A rede principal, ou o *backbone* ("espinha dorsal" na tradução literal), faz a conexão de todas as outras redes possibilitando a troca de informações entre servidores a longa distância, espalhados no território nacional e fora dele [...] (Arroyo, 2021, p. 146).

Tal processo está ligado diretamente à dinâmica de concentração e centralização do capital, e aparece mesmo como uma ferramenta a seu serviço. São necessários novos e sólidos investimentos para transformar e renovar mais uma vez a base técnica que lhe dá suporte, o que ratifica seu caráter oligopolizado (Arroyo, 2021, p. 147).

É sob tais condições, aqui brevemente apontadas, que o espaço geográfico hoje se apresenta, ganhando, portanto, conteúdos e uma feição ainda mais informacional. É esta nova condição do espaço que permite a agentes hegemônicos a prática de uma agricultura e pecuária em novos moldes e absolutamente carregadas de uma informação eletrônica e digital. Este campo, com tal configuração, corresponde ao que tem sido denominado como agricultura 4.0 ou “Agro 4,0”, e sucede àquilo que, na virada do século XXI, era comumente chamado por agricultura de precisão – são, de fato, novas autorizações da técnica, revelando formas ainda mais racionalizadas de produção no campo.

Tirando proveito das novas possibilidades técnicas do período, grupos como o BP Bunge Bioenergia inauguram um novo tipo de racionalização técnica da produção, mediante as novas possibilidades do emprego da informação digital, seja para otimizar a produção agrícola (agro 4.0), seja para a produção industrial (usina 4.0), como avaliamos nos próximos itens.

As práticas da agricultura digital pelo Grupo BP Bunge Bioenergia

A adoção de objetos e sistemas informacionais e de técnicas de digitalização no campo brasileiro se reforça e se estende à diversos ramos produtivos na atualidade. É cada vez mais presente a utilização de tecnologias como inteligência artificial (IA), a partir da produção e acesso, via internet, a dados digitais precisos (com armazenamento avolumado), além do emprego da robótica, o que caracteriza a emergência de uma “agricultura digital” ou 4.0. Bazzi, Schenatto e Sobjak (2023, p. 45) apontam que “(...) o termo Agro 4.0 surgiu como uma analogia ao termo Indústria 4.0, e faz referência ao processo de digitalização do agronegócio”. A lógica da Agricultura 4.0 é entendida como a tecnologia digital empregada no contexto agrícola, abrangendo as operações com conectividade e comunicação, objetivando a automação dos processos por meio de um sistema inteligente, altamente tecnificado (Ozdogan; Gacar; Aktas, 2017; Braun; Colangelo; Steckel, 2018).

No setor sucroenergético, objetos técnicos modernos, equipamentos e máquinas, conectados digitalmente a sensores, proporcionam a produção, o uso e o compartilhamento de dados com grande rapidez e precisão, alimentando a tomada de decisões em diversas etapas do processo produtivo, seja no segmento agrícola (produção de cana-de-açúcar), no industrial (produção de derivados como açúcares, etanol e energia elétrica), ou ainda na logística, a partir das mais variadas aplicações. Denise Elias reconhece o modo como tal processo se estende ao campo típico do agronegócio globalizado, da seguinte forma:

O meio técnico-científico informacional contém novas ferramentas de controle do território. Pensemos, por exemplo, na conectividade em um campo de produção de *commodities*, quando novos e modernos aplicativos permitem a automação na agropecuária, tal como de uma colheitadeira operada a distância por *smartphones* ou notebooks, ou de uma usina de cana-de-açúcar operada a partir de uma sala de controle da empresa localizada há quilômetros de distância (Elias, 2022, p. 117).

No Grupo BP Bunge Bioenergia, tais práticas foram traçadas a partir do estabelecimento de um “Plano Diretor”, que define diretrizes gerais para as inovações da agricultura digital, projetos em andamento e também futuros, visando alcançar um volume significativo de metas, a partir do cálculo preciso de indicadores compostos por numerosas variáveis.

Esta estratégia de gestão denominada “Plano Diretor de Agricultura Inteligente” (PDAI) definiu, em 2020, nada menos do que 1.125 ações estratégicas do grupo, sendo apresentadas pela própria empresa através dos segmentos “antes da fazenda”, “dentro da fazenda” e “depois da fazenda”².

Quadro 1. “Plano diretor de Agricultura Inteligente BP Bunge Bioenergia” (2020) – síntese das ações

| Etapas e número de ações | Segmentos específicos |
|---|--|
| “Antes da fazenda” (suporte prévio à produção agrícola) - 196 | Análise laboratorial; Controle biológico, Economia compartilhada; Fertilizantes e nutrientes; Biotecnologia; Nutrição e saúde animal; Sementes e mudas; Serviços financeiros. |
| “Dentro da fazenda” (produção agrícola propriamente dita) - 397 | Agropecuária de precisão; Aquicultura; Conteúdo, educação e rede social; Diagnóstico de imagem; Gestão de resíduos e água; Internet das Coisas; Máquinas e equipamentos; Meteorologia e irrigação; Monitoramento; Sensoriamento remoto; Sistema de gestão agropecuária; Telemetria e automação; Vant. |
| “Depois da fazenda” (produção industrial, logística, vendas, prospecção e planejamento de mercado) - 532 | Alimentos inovadores; Armazenamento e logística; Bioenergia e biodiversidade; Consultoria, aceleração e associação; novas formas de plantio; Indústria 4.0; Mercearia online; Plataforma de venda e marketplace; Restaurante online e ticket refeição; Segurança alimentar e rastreabilidade; Sistemas de embalagem, meio ambiente e reciclagem. |

Fonte: BP Bunge Bioenergia (2020).

Org. dos autores, 2024.

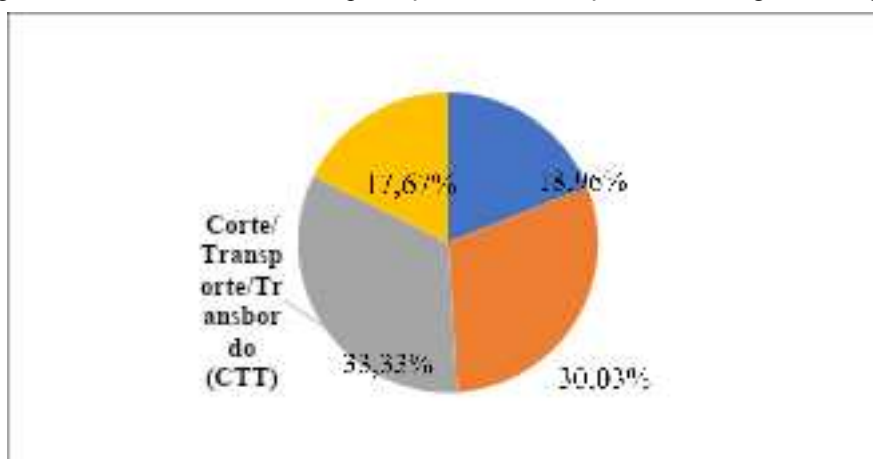
² As expressões “antes da fazenda”, “dentro da fazenda”, e “depois da fazenda”, compõem o léxico comumente empregado por agentes do agronegócio, e indicam as atividades em diferentes etapas produtivas (Delgado, 2012).

Assim, as operações inseridas na etapa “dentro da fazenda” são consideradas chave no processo produtivo do grupo, especialmente por ser compreendida como o maior gargalo do setor sucroenergético, tendo em vista necessidades de alta produtividade e elevado teor de sacarose da cana (Açúcar Total Recuperável – ATR) para a viabilização da competitividade da produção, além de fatores outros como proximidade territorial entre cultivos e unidades processadoras e a necessária articulação entre a produção no campo e processamento industrial da matéria prima (haja vista a rápida deterioração da cana após o corte), condições fundamentais à competitividade dos grupos e reconhecidas por Castillo (2015) como intrínsecas ao setor.

O segmento agrícola das unidades sucroenergéticas demanda inúmeros cuidados e é o mais afetado por um conjunto de vulnerabilidades, seja pelas intempéries climáticas (cada vez mais frequentes), incêndios, pragas, manejo incorreto etc., constituindo um conjunto numeroso de variáveis, difíceis de serem absolutamente controladas. É justamente visando o controle eficaz de procedimentos e condições produtivas como estas que a digitalização figura hoje como ferramenta estratégica ao setor sucroenergético.

Deste modo, o Grupo BP Bunge atuou de forma sistemática no campo, a partir do emprego de tecnologias digitais, com forte aparato na redução dos custos, ampliando ganhos com a racionalização técnica da produção. Para tal, a permanente avaliação do custo total da cana-de-açúcar (Gráfico 1) é um dos principais focos de trabalho do segmento corporativo da empresa.

Figura 2. Gráfico do custo total da produção de cana-de-açúcar - BP Bunge Bioenergia (2021)



Fonte: Trabalho de Campo (2021).

Org. dos autores, 2023.

A exaustão do plantio, que implica em um plantio totalmente novo (cana soca), é procedimento exigido em média a cada cinco safras, visando recuperar as condições de produtividade

dos cultivos. Tal procedimento equivale a cerca de 19% do custo total de produção da cana-de-açúcar e leva em consideração três atividades básicas – o preparo do solo (que corresponde a 32% deste custo), o próprio plantio (com cerca de 40%) e os tratos do cultivo (28% do custo desta etapa) (BP Bunge, 2021).

Na tentativa de alcançar redução significativa dos custos na etapa agrícola, o grupo, no momento em que a *joint venture* foi firmada, realizou um planejamento de dois anos para a redução de estrutura (custo fixo), propondo seis estratégias: redução de equipamentos; redução do raio de alcance dos canaviais; utilização de Meiosi³; parceria com produtores para a rotação; aumento do rendimento das operações; além da substituição do custo fixo por variável⁴ (BP Bunge, 2021).

O princípio técnico é o norteador para a identificar as oportunidades e executar as ideias do corporativo da empresa que, em um primeiro momento, leva em conta princípios de seletividade espacial, prática comum ao setor (Camelini, 2013), por meio de modelos digitais de terrenos, que permitem avaliar diversas virtudes da localização das unidades produtivas, como estratégias do ponto de vista logístico, elevação, declividade predominante, hidrografia, restrições de uso e diversidade das atividades agropecuárias, que eventualmente poderiam concorrer pelo uso do solo, a presença de outras unidades sucroenergéticas nas proximidades, dentre outros aspectos (Camelini, 2013, p. 125).

O grupo utilizou-se, por exemplo, de drones para auxiliar as práticas desde o levantamento planialtimétrico dos campos para preparação do plantio de cana, com mapeamento digital dos terrenos, trabalho que, no passado, era feito presencialmente por topógrafos. Atualmente, 100% do levantamento de falhas dos canaviais, por exemplo, é realizado por drones e de modo digital, assim como a identificação e pulverização local de áreas atacadas por ervas daninhas (BP Bunge, 2020). O mapeamento preciso e digitalizado de linhas de cana e também o monitoramento geral da lavoura, figuram como expressões de uma agricultura 4.0 que hoje se afirma no setor sucroenergético. Trata-se de um território “duplicado”, em que a correspondência entre o terreno real e a informação digital figura como ferramenta necessária ao novo modelo de manejo e controle racionalizado da produção.

Uma vez estabelecidos os campos de cultivo, o manejo permanente dos mesmos é necessário. A BP Bunge Bioenergia estabeleceu parcerias estratégicas junto a *startups* voltadas à inovação tecnológica no campo⁵. Um exemplo é o caso da *agtech* VOA, oferecendo serviços de veículo aéreo

³ Método Inter Ocupacional Simultâneo, que tem como principal objetivo formar o viveiro de mudas de cana-de-açúcar dentro da própria área de renovação. Desta maneira, logo após a colheita, o plantio é realizado por meio de mudas pré-brotadas.

⁴ A substituição do custo fixo por variável é uma estratégia de gestão financeira e operacional que visa flexibilizar os gastos de uma empresa, convertendo despesas fixas (aquelas que permanecem constantes independentemente do volume de produção ou vendas) em custos variáveis (que variam de acordo com o nível de atividade). O principal intuito é aumentar a flexibilidade financeira da empresa, permitindo que ela adapte suas despesas ao nível de receita ou demanda, reduzindo o risco em períodos de incerteza ou instabilidade.

⁵ A BP Bunge Bioenergia estabeleceu parceria no ano de 2021 com o AgTech Garage (denominado desde 2022 como Agtech Innovation), maior *hub* de *startups* do agronegócio do Brasil, localizado em Piracicaba-SP e criado a partir do apoio da Esalq-USP, centro de expertise em ciência e tecnologia para o setor sucroenergético. A partir

não tripulado (VANT), sobretudo na figura do drone, que permite operações tecnológicas e avançadas, reduzindo os custos de determinadas atividades de manejo agrícola.

Entre as aplicações das novas tecnologias para otimizar resultados no campo, o grupo utiliza drones telecomandados para distribuir larvas da vespa *Cotesia Flavipes* nos canaviais de suas onze unidades agroindustriais, visando o controle biológico da broca-da-cana, larva que ocasiona significativas perdas de produtividade. As *Cotesias* são inseridas em recipientes e lançadas pelos drones em meio aos canaviais, diante de um planejamento georreferenciado para a melhor eficiência de localização, alcançando resultados satisfatórios e substituindo o trabalho que outrora era realizado manualmente (BP Bunge, 2020), diminuindo, assim, custos de operação.

O uso do drone para dispersão do agente de controle biológico gera uma redução no tempo e de custo (entre 15% a 20% em relação ao sistema manual), além de gerar menor exposição de funcionários ao trabalho em meio aos canaviais. É por tais tipos de aplicação que a transformação digital no setor sucroenergético proporciona uma maior capacidade de ganhos e otimização de recursos, tornando-se hoje indispensável às operações do grupo.

Ainda visando o controle otimizado entre a produção no campo e o processamento industrial, a informação de uma máquina quebrada ou qualquer problema técnico nas operações agrícolas é, hoje, recebida de forma instantânea pelo setor responsável, que toma providências de forma rápida, o que não compromete as operações seguintes e aumenta a eficiência da produção. Deste modo, tratores em campo, por exemplo, são equipados com GPS e possuem tarefas previamente programadas, com o “condutor” apenas acompanhando o processo.

O grupo utiliza tecnologias 4.0 e inteligência artificial para otimizar rotas de veículos, reduzindo em 20% o consumo de combustível e aprimorando o posicionamento e a resposta a ocorrências (BP Bunge, 2023). Essa abordagem automatiza decisões com base em dados digitais, otimizando os trabalhos de Corte, Transbordo e Transporte (CTT), que representam um terço do custo de produção de cana.

Sistemas técnicos conectados e comunicação digital também permitiram maior prevenção aos incêndios, principalmente pelo monitoramento via satélite, das onze unidades produtivas no território nacional que, sob controle remoto do chamado SmartLog (central de inteligência integrada do grupo, localizada na cidade de São Paulo-SP), envia de forma contínua alertas de riscos. O monitoramento é feito por torres de observação estrategicamente posicionadas em campo, equipadas com câmeras de

de tal parceria, Grupo BP Bunge tem acesso facilitado ao trabalho e tecnologias desenvolvidas por mais de 900 *startups* ligadas ao *hub* (Ramos, 2022). Por meio de soluções desenvolvidas por estas *startups*, a BP Bunge objetiva o uso mais eficiente de soluções de conectividade e melhora da automação agrícola. Através de tais iniciativas, e pelas parcerias realizadas junto às *agtechs*, a BP Bunge aumentou cerca de seis horas diárias o tempo de operação de suas máquinas em campo, além de aumentar a quantidade de cana colhida diariamente por cada colhedora, cerca de 800 toneladas por dia em média, nas unidades do grupo, o que significa quase o dobro da média do setor (Ramos, 2022).

alta definição. As tecnologias não atuam somente na prevenção, mas também nas linhas de combate, e a chamada Brigada 4.0, que engloba 97 caminhões-bombeiro equipados com jato de água automatizados, controlado pelo operador através de *joystick* de dentro da cabine, evita a exposição de brigadistas a riscos. Nos anos de 2021 e 2022, foi alcançada redução de 52% de áreas queimadas por hectare e de 50% no número de incêndios em áreas próximas às unidades sucroenergéticas do grupo (Vital, 2023)⁶.

Tais sistemas, como avaliados, não funcionam sem a conectividade de internet e tipicamente compõem sistemas que empregam a chamada internet das coisas (IoT). Esta condição ainda encontra, no Brasil, desigual difusão espacial e social, constituindo, portanto, certo entrave, sobretudo devido ao alto investimento para aquisição de equipamentos e serviços de conexão prestados por operadoras privadas de telefonia, bem como pelas dificuldades de implementação de políticas públicas de universalização do acesso à banda larga no país (Steda, 2021; Castillo; Bertollo, 2022).

Visando superar tais constrangimentos territoriais, o Grupo BP Bunge Bioenergia estabeleceu em 2022 parceria com a operadora de telefonia TIM, para avançar, por meio da conectividade 4G, o processo de transformação digital nas áreas de canaviais sob seu controle no país. O contrato entre a BP Bunge e a TIM indicava o estabelecimento de 100 torres 4G para conectar 1.200 equipamentos agrícolas e de transporte, integrados à central logística em São Paulo (UDOP, 2022). Por meio de tal parceria, a TIM alcançou, em 2024, a cobertura de sinal de internet em mais de 16 milhões de hectares de áreas cultivadas pelo agronegócio (Portal R7, 2024), por meio do projeto “4G TIM no Campo”, dos quais três milhões de hectares correspondem à área cultivada com cana pela BP Bunge Bioenergia (maior projeto em extensão coberto pela TIM), em canaviais localizados nos estados de Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, São Paulo e Tocantins. Tal parceria, e o emprego de sistemas técnicos que dela deriva, são, assim, condições fundamentais para a digitalização dos processos produtivos da empresa, conferindo ao mesmo tempo uma nova condição de informatização do território.

Através da conexão 4G, a BP Bunge, deu um passo importante na sua estratégia de transformação digital, com a atualização, em 2022, da tecnologia utilizada nos computadores de bordo. Em torno de 1.070 equipamentos agrícolas mobilizados para o CTT, dispõem hoje da tecnologia MAG-X, da Solinftec (*agtech* sediada em Araçatuba-SP), tornando a operação e a gestão agrícola muito mais precisas.

Os computadores de bordo operam como um verdadeiro “raio x” no campo, recebendo, processando e armazenando dados. O equipamento é capaz de receber informações sobre o

⁶ O acompanhamento para o envio de alertas é feito por meio de inteligência artificial, que identifica de forma autônoma os focos de incêndios, emitindo alertas visuais e sonoros nas salas de monitoramento, com ligação de aviso às brigadas de combate a incêndios, o que também inclui também o envio de alertas via *WhatsApp* a funcionários. A plataforma adotada pelo grupo utiliza 13 satélites que monitoram áreas de plantio e seu entorno, viabilizando aplicabilidade que alcança rapidamente o atendimento a ocorrências e fornecendo relatórios para o planejamento preventivo (RPANEWS, 2021).

desempenho das máquinas e o tempo que se leva para executar as atividades (corte, transporte, intervalo para manutenção e abastecimento), além de outras informações. Todos os dados são remetidos ao setor de SmartLog, em São Paulo-SP, responsável por analisar os dados e propor, remotamente, as tomadas de decisão do grupo (BP Bunge, 2021).

A partir do momento em que as máquinas começaram a operar com os recursos permitidos pela conexão no campo, houve uma otimização do trabalho e redução de custos. Dados da BP Bunge (2022) revelam que, com as práticas de automação, as onze unidades sucroenergéticas demandaram cerca de 150 colhedoras para realizar o trabalho que, na mesma extensão de área, era feito com o dobro de máquinas até o ano de 2019, antes do estabelecimento da *joint-venture*.

Por meio da aquisição e manipulação de dados digitais em grande volume, a BP Bunge utiliza inteligência artificial (IA) para aprimorar outros procedimentos no segmento agrícola, como é o caso da previsão do tempo, podendo antecipar-se frente a adversidades climáticas. A tecnologia denominada IBM *Environmental Intelligence Suite* (EIS) analisa e acessa dados climáticos e meteorológicos das regiões produtoras, com o intuito de estimar tendências de produtividade e melhorar a precisão da modelagem de safras de cana, subsidiando o planejamento no segmento comercial do grupo (IBM, 2022). A análise geoespacial gera atualizações constantes relacionadas às condições de tempo, a partir de variáveis como precipitação, temperaturas mínimas e máximas, além de apontar a quantidade de água no solo, NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), entre outros. Tais informações permitem com que a BP Bunge obtenha uma visão ampla das variáveis que podem provocar aumento ou diminuição da produção nas safras, podendo prever tais impactos no desenvolvimento da cana (IBM, 2022).

Este arranjo atual do trabalho agrícola, agora permeado e mediado pela informação digital, passível de um controle unificado e realizado muitas vezes de forma remota, foi, ao mesmo tempo, somado às inovações no segmento industrial, que potencializam ainda mais os lucros do grupo, como avaliamos a seguir.

A racionalização técnica da produção agroindustrial: a “Usina 4.0”

O contexto produtivo da chamada indústria 4.0 é marcado pela priorização de investimentos, em geral por agentes hegemônicos, em setores que empregam objetos e sistemas técnicos sofisticados (segurança cibernética, IoT, IA, *big data*, entre outros). O termo indústria 4.0 se afirma, deste modo, para fazer referência ao processo geral de automatização nos processos industriais (Schwab, 2016), sendo por isso também capaz de promover e ampliar demandas tanto das indústrias de computadores, eletrônicos, *software* e telecomunicações, como das chamadas *big techs*, que oferecem sistemas de suporte a tais ferramentas.

No paradigma da indústria 4.0, um dos focos é interligar as máquinas em redes, capazes de controlar o processo de produção de forma autônoma. Assim, a lógica da IA atua também pela elaboração de *softwares*, simulando a capacidade humana de analisar dados e tomar decisões (Arroyo, 2021, p. 145; Steda, 2021). Deste modo, “combina-se o sistema industrial com o avanço da computação, facilitando a recolecção de grandes volumes de dados, seu armazenamento e processamento, e o desenvolvimento de ferramentas para gerar inteligência a partir da informação armazenada” (Arroyo, 2021, p. 145).

Tal processo, reconhecido potencialmente como uma “quarta Revolução Industrial”, assenta-se no uso de “uma internet mais ubíqua e móvel, por sensores menores e mais poderosos, que se tornaram mais baratos, e pela inteligência artificial e aprendizagem automática (ou aprendizagem da máquina)” (Schwab, 2016, p. 16). Ainda assim, como em outros momentos de propagação do meio técnico-científico-informacional, boa parcela da sociedade e dos sistemas produtivos tidos como tradicionais no planeta, estão excluídos de tais inovações tecnológicas (Steda, 2021).

A chamada Indústria 4.0 incorpora importantes avanços das tecnologias de informação e comunicação, que visam otimizar indicadores de produtividade e eficiência (Posada *et al.*, 2015). Coelho (2016) indica que a Indústria 4.0 não é apenas um movimento de digitalização dos processos produtivos, mas também uma combinação de diversas tecnologias produtivas baseadas em inovação.

Derivada desta concepção geral de Indústria 4.0, insere-se recentemente no setor sucroenergético brasileiro a noção de “Usina 4.0”, termo utilizado para se referir às aplicações da Indústria 4.0 voltadas para a unidade agroindustrial sucroenergética. Entre os fatores de alcance da chamada Usina 4.0, busca-se, de modo geral, reduzir custos de manutenção, viabilizar a otimização de recursos (especialmente do consumo de energia) e ampliar a eficiência da produção – tais requisitos, mais uma vez, estão presentes hoje nas unidades sucroenergéticas controladas pelos maiores e mais capitalizados grupos que atuam no país, racionalização técnica que lhes garante vantagens e melhora significativa dos indicadores de produção.

Venturelli (2015) destaca que a modernização da indústria sucroenergética começou nos anos 1980, com avanços em automação graças à eletrônica, sendo redefinida no início do século XXI pelas novas tecnologias e pela natureza informacional dos sistemas usados nas usinas. O mesmo autor argumenta que o conceito da Indústria 4.0, a partir do qual deriva a ideia de Usina 4.0, pode de certo modo ser traduzido pela “(...) criação de um ambiente industrial onde as pessoas, equipamentos e informações trafeguem nesta grande rede, podemos chamá-la de Internet Industrial” (Venturelli, 2015, p.1). Quando se trata dos processos industriais, é notória a diferença entre os sistemas anteriores e os utilizados no modelo 4.0, conforme revela o quadro 2.

Quadro 2. Sistemas Industriais das unidades sucroenergéticas

| Processos | Indústria (tradicional) | Usina 4.0 |
|----------------------------|--|---------------------------------|
| Instrumentação e medição | Protocolos Industriais | Ethernet e Wireless |
| Controle | Centralizado/Descentralizado | Descentralizado |
| Infraestrutura | Redes e Servidores | Internet, Virtualização e Cloud |
| Operação | Scada e IHM ⁷ | Mobile e Virtualizada |
| Manutenção | Gestão do Ativo | Gestão Baseado em Evento |
| Gestão da produção | MES (<i>Manufacturing Execution Systems</i>) | MOM ⁸ – IoT/Big Data |
| Apoio a tomada de decisões | Simuladores | Computação Cognitiva |

Fonte: Venturelli (2020).

Org. dos autores, 2023.

A Usina 4.0 possui todo seu processo produtivo conectado, integrando os instrumentos e equipamentos na planta industrial, conectividade que é possível através de uma “Internet Industrial das Coisas (IIoT)”, em que a maioria dos equipamentos opera através de redes sem fio (*Wireless*) (Venturelli, 2015; Boyes *et al.*, 2028; Reis, 2020).

As redes de conexão dentro das usinas, ou até mesmo as redes que as conectam com o ambiente externo, permitem a transferência de informações, que interagem e proporcionam uma sincronização e sinergia entre o fornecimento e a demanda, permitindo a oportunidade de reprodução de conceitos já conhecidos para a otimização de processos produtivos, como é o caso do *just-in-time* (Aires, 2021).

Helmiö (2017) aponta que a Internet Industrial das Coisas (IIoT) fora elaborada para objetos ou “coisas” maiores do que *smartphones* e dispositivos sem fio. Seu objetivo é conectar ativos industriais, como motores, redes de energia e sensores à nuvem, por meio de uma rede, viabilizando deste modo a integração de objetos em sistemas técnicos industriais de grande porte. Para tal, este sistema abrange objetos inteligentes em rede, ativos ciberfísicos, tecnologias de informação associadas e plataformas alternativas de computação em nuvem, proporcionando acesso, coleta, análise, comunicações e troca em tempo real, em processos inteligentes e autônomos, além de informações sobre processos, produtos e serviços, dentro do ambiente industrial, de modo a otimizar o valor geral da produção (Boyes *et al.*, 2018). Mais uma vez, a delegação das tomadas de decisão ao próprio aparato técnico-informacional contido nas infraestruturas produtivas aparece como uma meta.

⁷ Sistema Scada faz parte de uma arquitetura que inclui um ou mais computadores, que executam as funções de supervisão e implementam a interface homem e máquina (IHM).

⁸ O gerenciamento de operações de fabricação (MOM) é a arte de definir as políticas e regras necessárias para manter o valor da produção e garantir que tudo e todos operem da maneira adequada (AVEVA, 2024).

Através do emprego de IIoT foi possível ao grupo BP Bunge estabelecer conectividade e armazenamento de dados em tempo real, o que permite a análise de praticamente todas as variáveis de produção nas usinas sucroenergéticas, tecnologia esta empregada nas onze unidades agroindustriais.

Com os processos integrados, o uso da IIoT também é fundamental no reconhecimento permanente da demanda por açúcar ou etanol. Com os ambientes produtivos atuando de forma simultânea, a análise de mercado é feita diariamente pelo corporativo da empresa e, a partir de uma ordem estratégica, o *mix* operacional (volume definido para a produção de etanol ou açúcares em uma usina) é passível de ser direcionado instantaneamente. Assim, e a partir de estudo em tempo real das demandas de mercado, a indústria direciona sua produção prioritariamente para açúcar ou etanol. A comunicação é instantânea e gestão e produção são feitas em tempo real.

Poderíamos, assim, reconhecer que o caráter de *flex crop* da cana-de-açúcar (Borras Jr. *et. al.*, 2015), que confere ao setor a flexibilidade para produzir diferentes mercadorias (etanol, açúcares e energia elétrica), de fato só se torna uma vantagem aos grupos capazes de operar e gerir a produção de forma tecnicamente racionalizada e ligada às demandas flutuantes de mercado, com emprego de tecnologias de tal natureza.

Visando maximizar a produção e tornar eficiente os processos industriais, o grupo BP Bunge Bioenergia utiliza a lógica da Otimização em Tempo Real (RTO) do processo produtivo industrial. Para tal, emprega inteligência artificial para obter ganhos imediatos com a captura de perdas na indústria. O sistema S-PAA⁹ (*software* de Otimização em Tempo Real), controla as operações de açúcar e etanol, comandando de forma integral a planta em todo o processo produtivo, objetivando reduzir a variabilidade da produção, o que resulta na otimização de recursos (Reis, 2022).

Como parte da transformação digital, mecanismos de *big data* também são utilizados pelo grupo. A utilização deste tipo de ferramenta é indissociável ao serviço de nuvem, ou seja, para as aplicações e emprego de *big data* é indispensável a contratação de um serviço que permita o armazenamento de dados e arquivos por meio de um provedor. O armazenamento de dados através de nuvem utilizado pelo grupo BP Bunge ocorre a partir de serviços da *Amazon Web Services* (AWS), plataforma de nuvem mais adotada e mais abrangente do mundo (BP Bunge, 2023).

⁹ O S-PAA permite, através do emprego de inteligência artificial, avaliar o processo como um todo e em tempo real, possibilitando otimizar a operação e extrair o máximo de lucratividade da planta industrial. Entre as variáveis passíveis de monitoramento e gestão, o *software* pode atuar em: a) identificação de perdas; b) identificação de equipamentos ineficientes; c) balanços em tempo real (massa, vapor e condensado, energia); d) histórico de atuação; e) histórico de dados; f) visualização dos dados medidos, calculados e de qualidade em uma mesma plataforma. O *software* de RTO funciona em seus componentes principais permitindo, sobretudo, quatro ações integradas à Usina 4.0: *Big Data* (aquisição e tratamento matemático dos dados de processos e de laboratório); Gêmeo Digital (modelo que alimenta os dados tratados, as informações de qualidade e os medidores virtuais); *Machine Learning* (simulação e otimização de cenários, a partir de balanços de massa e energia e aplicação de algoritmo); Integração de sistema e IoT (atuação do cenário otimizando na planta real, que pode ser aplicada automaticamente ou manualmente) (S-PAA, 2023).

De acordo com os operadores do SmartLog da BP Bunge (2023), o uso de *big data* proporciona diversos benefícios para as operações da indústria, tais como facilidades de acompanhamento das demandas de cada unidade industrial, desenvolvimento de algoritmos com inteligência artificial, *machine learning*, além de absorção de grande volume de dados de dispositivos dispersos, geração de *insights* valiosos sobre tendências e necessidades da planta industrial e também a identificação de padrões para entender melhor os resultados industriais.

O emprego recente, por exemplo, das tecnologias de *big data*, gera otimização e aumento de eficiência dos processos na indústria. A coleta de informações, sobretudo as oriundas do campo, implica em melhorias e ganhos no processo industrial da BP Bunge, tal como elucida quadro 3.

Quadro 3. Eficiência industrial do grupo BP Bunge por meio de emprego de *big data*

| Resultado | Processo |
|---|--|
| Melhoria na extração | Modelagem para estabilização do processo, melhorando extração e estabilidade do preparo de cana-de-açúcar |
| Geração de vapor | Algoritmo busca estabilidade da geração do vapor no processo, maximizando exportação de energia |
| Monitoramento e controle do PH | Modelo para estabilizar o processo e oscilação, diminuindo a dosagem de produtos |
| Controle de vapor das colunas destilação | Modelo que monitora e gerencia de modo evitar perda de álcool na vinhaça e flegmaça (água com traços de óleo de fúsel, sendo produzidos, em média, 2,8 L para cada litro de álcool) |
| Eficiência industrial (atuando na embebição) | Relaciona a moagem hora e variáveis do processo como, por exemplo, a fibra da cana. O algoritmo faz um balanço observando a extração e umidade do bagaço para fazer um ajuste mais preciso da embebição, resultando também em melhor ATR |
| Controle de combustão e temperatura das caldeiras | Utilizando inteligência artificial, o sistema proporciona economia de biomassa, além de dar maior estabilidade na operação das caldeiras; |

Fonte: BP Bunge (2023).

Org. dos autores, 2023.

Um exemplo de práticas de gestão tecnológica-digital empregado pela BP Bunge é o monitoramento de estoques, especialmente o do etanol. É possível realizar, através do emprego de ferramentas inteligentes, o monitoramento dos tanques de armazenamento de etanol a partir de dados coletados através de sensores, repassados e armazenados em nuvem, permitindo uma análise precisa da quantidade disponível, auxiliando a gestão do estoque e evitando problemas de abastecimento, especialmente na entressafra (BP Bunge, 2021).

A digitalização dos processos na indústria também permite a empresa controlar se a moagem e, conseqüentemente, a produção, ocorrem de acordo com o planejado. Esta medida é importante para as tomadas de decisões e os possíveis ajustes ao longo da safra.

Embora tenhamos aqui apontado os mecanismos mais comuns empregados nas plantas industriais do grupo, a todo momento é evidenciado que um dos maiores avanços da Usina 4.0 é a interligação entre os segmentos industrial, agrícola, logística e corporativo. Se a integração otimizada entre os segmentos (procedimento necessário à viabilidade da produção) figurava como algo desafiador aos agentes do setor sucroenergético, atualmente, tal condição é tecnicamente possível e tornada em grande parte automática, resultado sobretudo do emprego generalizado de IoT, que conecta todas as etapas de produção e gestão.

Tais condições à produção no setor sucroenergético brasileiro e, particularmente à própria atuação do grupo avaliado, resultam do processo que Milton Santos (1999, 2000) reconhece como unicidade técnica, ou seja, a extensão, à diversos lugares e atividades, de um modo técnico global e unificado, obediente e oportuno à produção de uma mais-valia também global, resultado da ação convergente de grandes organizações e agentes privados e públicos (Santos, 1999, p. 09).

A possibilidade de emprego de tal modelo de produção, no campo e na indústria sucroenergética, também nos permite reconhecer, no espaço e na escala de atuação da BP Bunge Bioenergia, aquilo que o autor denomina como convergência dos momentos (Santos, 2000) – trata-se da possibilidade de conhecimento simultâneo e imediato dos eventos necessários à produção, não só diretamente pelo modo informal e precisamente assistido de cada tarefa (e em cada segmento do processo produtivo), mas isso tudo literalmente antenado e conectado à informação de um mercado global, onde preços, demanda e comportamentos outros exigem tomadas de decisão cada vez mais precisas em termos de tempo-espaço e rentabilidade da produção.

Cabe ainda pensarmos o quanto o modelo da agricultura 4.0 e da usina 4.0, como forças produtivas de nova natureza, implicam em uma nova condição de poder aos grandes grupos que de fato podem operá-las no país. Como apontam Tygel *et al.* (2023),

Essas tecnologias poderiam representar maior sustentabilidade se fossem mais bem distribuídas, chegando nas mãos de agricultores familiares. No entanto, o desenvolvimento e a propriedade dessas tecnologias são extremamente concentrados, de forma que um número muito reduzido de corporações multinacionais detém as patentes e tecnologias. Assim, apenas as grandes empresas que atuam ao longo da cadeia de valor do setor agrícola têm pleno acesso às vantagens competitivas de tecnologias que poderiam ter muita utilidade ambiental e social nas mãos da agricultura familiar (Tygel *et al.*, 2023, p. 50).

Tal é também a condição para um reforço do poder entre agentes já poderosos, levando potencialmente a uma oligopolização ainda maior no setor (Santos, 2018), processo este, neste início

de século, ainda acompanhado da estrangeirização e financeirização do setor sucroenergético, um dos mais estratégicos ao país e que, historicamente, tanto foi subsidiado e assistido pelo Estado brasileiro.

Considerações finais

As práticas produtivas no setor sucroenergético brasileiro, ou seja, a produção de cana-de-açúcar e derivados, aqui avaliadas por um de seus principais agentes econômicos, o Grupo BP Bunge Bioenergia, incorpora sistemas técnicos os mais recentes, revelando a adesão ao que também recentemente fora denominado como Agricultura 4.0 e Usina 4.0.

Acolhendo impulsos orientados à viabilização de um novo patamar de eficiência, próprios deste início de século, o que inclui desde a definição dos espaços de cultivo, o maquinário para a colheita, o emprego de modernos tratores e de drones na atividade agrícola, etc., passando pela digitalização de processos no segmento logístico, até aos instrumentos que compõem um processamento cada vez mais preciso e automatizado da cana-de-açúcar nas modernas unidades agroindustriais, quase tudo está e funciona conectado, permitindo com que tais objetos e processos “dialoguem” em diferentes instâncias produtivas e em diferentes regiões do território brasileiro acionadas pelo grupo.

Tal integração, viabilizada pela produção e gestão digital de um conjunto numeroso de dados, é, no mais das vezes, monitorada e controlada à distância, seja pelo centro de logística inteligente do grupo BP Bunge, localizado na capital paulista, seja pelo acompanhamento de gestores no campo, a partir de simples *smartphones* conectados, ainda que isso envolva a instalação de antenas receptoras corporativas.

Dessa forma, entender como funcionam, os propósitos que portam e as formas como hoje se constitui o processo de digitalização da agricultura e da indústria no Brasil, caracteriza-se como elemento essencial para o entendimento dos meios atualizados de poder do agronegócio globalizado. Assim, a digitalização dos processos produtivos confere a expressão mais atualizada da extrema racionalização técnica da produção no agronegócio.

É neste sentido que o Grupo BP Bunge se aproveitou dos mecanismos de digitalização da produção agrícola e industrial, onde o princípio básico é a otimização das operações como forma de alavancar os índices de produção. Tal estratégia, foi adotada em duas frentes, a Agricultura 4.0 e a Usina 4.0. A primeira com as atividades voltadas para o campo, como os computadores de bordo acoplados ao maquinário operado no campo, e que recebe, processa, envia e armazena volume significativo de dados. Acionando parceiros (como a empresa TIM de telecomunicações) para a difusão da tecnologia 4G no campo, ou ainda *agtechs* (como a Voa ou Solinftec), visando o emprego de objetos como drones e sistemas geolocalizados que permitem tornar preciso o trabalho nas áreas cultivadas, a BP Bunge alcançou um novo patamar de racionalização técnica da produção e do

território por ela acionado. O segmento industrial (Usina 4.0), que também conhece um processo de digitalização, com uso de *big data*, inteligência artificial, IIoT, e outros mecanismos, empregados para otimizar a produção de açúcar, etanol e cogeração de energia elétrica.

No entanto, é preciso reconhecermos que tais práticas de racionalização, via digitalização da produção, embora tenham permitido o alcance de melhores indicadores, não foram suficientes para a sustentação da *joint-venture*, haja vista a aquisição recente da totalidade dos ativos pela BP.

De todo modo, o novo paradigma das tecnologias digitais, atrelado ao modelo de negócios das grandes corporações, revela que os agentes com capacidade de adquirir novos sistemas técnicos, com potencial de coletar e manipular uma ampla base de dados digitais, alcançam novas vantagens competitivas, ampliando ainda mais as desigualdades (Tygel *et al.*, 2023, p. 51). Assim, podemos afirmar que o processo de digitalização hoje observado no setor sucroenergético, representa muito mais uma condição de competitividade, num setor de certo modo ainda instável.

A adoção de técnicas expressas no que hoje convencionou-se denominar por Agricultura 4.0 e também Usina 4.0 tendem a afirmar-se, cada vez mais, como uma condição aos grandes grupos que operam o setor sucroenergético no país. Trata-se, a nosso ver, do reforço e mesmo de uma nova condição para um uso do território ainda mais corporativo e interesseiro. Tudo indica que tal processo poderá implicar em uma nova vaga de concentração do processamento de cana-de-açúcar e centralização de capitais em um ainda menor número de agentes, ou seja, aqueles capazes de mobilizar as técnicas mais eficazes e típicas de um campo cada vez mais orientado por uma racionalidade técnica-digital contemporânea.

Agradecimentos

A pesquisa que deu origem a este artigo foi financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Referências

AIRES, M. Y. da L. *Automação aliada ao controle da produção na indústria sucroalcooleira: um estudo de caso sobre internet das coisas aplicada à produção de cachaça*. 2021. 45 f. Monografia (Curso de Engenharia de Produção) – UFCG, PB, 2021.

ARROYO, M. Digitalização e financeirização do território: uma imbricação que se renova no capitalismo do século XXI. In: RENA, N. et. al. (org.). *Urbanismo Biopolítico*. 1ª ed. Belo Horizonte: Agência de Iniciativas Cidadãs, 2021, p. 143- 156.

AVEVA. *MES e gerenciamento de operações de fabricação*. 2024. Disponível em: <https://www.aveva.com/pt-br/solutions/operations/mom/#:~:text=O%20gerenciamento%20de%20opera%C3%A7%C3%B5es%20de,todos%20operem%20da%20maneira%20adequada>. Acesso em: 19 jun. 2024.

BAZZI, C. L.; SCHENATTO, K.; SOBJAK, R. Conceitos sobre o Agro 4.0 e Indústria 4.0. In: DIAS, M. et. al. (org.). *Agro 4.0: fundamentos, realidades e perspectivas para o Brasil*. Rio de Janeiro: Autografia, 2023, p.44-57.

BORRAS JR, S. M. et. al. The rise of flex crops and commodities: implications for research. *The Journal of Peasant Studies*, 29 (1), 93-115, 2015. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03066150.2015.1036417>. Acesso em: 10 abr. 2022.

BOYES, H. et. al. The industrial internet of things (IIoT): an analysis framework. *Computers in Industry*, 2018, p. 1-12. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.04.015>. Acesso em: 06 dez. 2023.

BP Bioenergy. *Bp Bioenergy* (sítio na internet). 2024. Disponível em: https://www.bp.com/pt_br/brazil/home/produtos-e-servicos/bpbioenergy.html. Acesso em: 10 out. 2024.

BP BUNGE. *BP Bunge Bioenergia alcança r\$ 177 milhões em ganhos com programa de melhoria contínua*. 2023. Disponível em: <https://bpbunge.com.br/bp-bunge-bioenergia-alcanca-r-177-milhoes-em-ganhos-com-programa-de-melhoria-continua/>. Acesso em: 21 jan. 2024.

BP BUNGE. *BP Bunge Bioenergia emprega drones para auxiliar no controle biológico da lavoura de cana-de-açúcar*. 2020. Disponível em: <https://bpbunge.com.br/bp-bunge-bioenergia-emprega-drones-para-auxiliar-no-controle-biologico-da-lavoura-de-cana-de-acucar/>. Acesso em: 14 jun. 2023.

BP BUNGE. Sobre a BP Bunge no Brasil. *Relatórios*. 2021. Disponível em: <https://bpbunge.com.br/relatorio-de-sustentabilidade/>. Acesso em: 15 jan. 2022.

BRAUN, A. T.; COLANGELO, E.; STECKEL, T. Farming in the Era of Industrie 4.0. *Procedia CIRP*, v. 72, p. 979-984, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.176>. Acesso em: 14 dez. 2023.

CAMELINI, J. H. Racionalidade técnica, uso e ocupação do território. In: BENRARDES, J. A.; SILVA, C. A.; ARRUIZZO, R. C. (org.). *Espaço e energia: Mudanças no paradigma sucroenergético*. Rio de Janeiro: Lamparina, 2013, p. 121-13.

CASTILLO, R. Dinâmicas recentes do setor sucroenergético no Brasil: competitividade regional e expansão para o bioma Cerrado. *Revista GEOgraphia*, 17, nº 35, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.22409/GEOgraphia2015.1735.a13730>. Acesso em: 06 maio 2023.

CASTILLO, R.; BERTOLLO, M. Mobilidade Geográfica como Direito Social: uma discussão sobre o acesso à internet no campo brasileiro. *Revista da ANPEGE*, v. 18, n. 36, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5418/ra2022.v18i36.16303>. Acesso em: 14 dez. 2023.

CHESNAIS, F. O capital portador de juros: acumulação, internacionalização, efeitos econômicos e políticos. In: CHESNAIS, F. (org.). *A finança mundializada*. São Paulo: Boitempo, 2005, p. 35-67.

COELHO, P. M. N. *Rumo à Indústria 4.0*. 2016. 65 f. Dissertação (Engenharia e Gestão Industrial). Universidade de Coimbra, 2016. Disponível em: <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/36992>. Acesso em: 11 nov. 2023.

CURIOSO, R. Território, Informação e Redes Geográficas: Círculos dominantes de informação e interstícios de resistência através da internet. In: II Encontro Internacional Participação, Democracia e Políticas Públicas. *Anais [...]*. Campinas, 2015.

DELGADO, G. C. *Do capital financeiro na agricultura à economia do agronegócio: mudanças cíclicas em meio século (1965-2012)*. Porto Alegre: UFRGS, 2012.

ELIAS, D. Agronegócio globalizado, uso corporativo do território, pobreza e desigualdades socioespaciais no Brasil. In: ARROYO, M.; SILVA, A. M. B. (org.). *Instabilidade dos territórios: por uma leitura crítica da conjuntura a partir de Milton Santos*. São Paulo: FFLCH/USP, 2022, p. 113-135.

HELMIO, P. *Open source in Industrial Internet of Things: a systematic literature review*. 2017. Disponível em: <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201705236804>. Acesso em: 11 dez. 2023.

IBM. *BP Bunge Bioenergia otimiza projeções de cultura com IBM Environmental Intelligence Suite*. 2022. Disponível em: <https://www.ibm.com/blogs/ibm-comunica/bpbunge-bioenergia-ibm/>. Acesso em: 20 set. 2023.

OZDOGAN, B.; GACAR, A.; AKTAS, H. Digital agriculture practices in the context of agriculture 4.0. *Journal of Economics, Finance and Accounting*, v. 4, p. 186– 193, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.17261/Pressacademia.2017.448>. Acesso em: 14 dez. 2023.

POSADA, J. *et al.* Visual computing as a key enabling technology for industrie 4.0 and industrial internet. *IEEE computer graphics and applications*, v. 35, n. 2, p. 26–40, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/MCG.2015.45>. Acesso em: 14 dez. 2023.

PORTAL R7. *TIM cria frente para crescer no mercado IoT*. 2024. Disponível em: <https://noticias.r7.com/tim-5g/tim-cria-frente-para-crescer-no-mercado-iot-19032024/>. Acesso em: 12 jun. 2024.

RAMOS, C. S. De olho em novas soluções, BP Bunge faz parceria com o hub AgTech Garage. *Valor Econômico – Agronegócios*. 08 de março de 2022. Disponível em: <https://valor.globo.com/agronegocios/noticia/2021/12/14/de-olho-em-novas-solucoes-bpbunge-faz-parceria-com-o-hub-agtech-garage.ghtml>. Acesso em: 24 set. 2023.

REIS, A. BP Bunge usa inteligência artificial para maximizar produção e ser mais eficiente nos processos industriais. *Jornal Cana*. 03 de novembro de 2022. Disponível em: <https://jornalcana.com.br/bp-bunge-usa-inteligencia-artificial-para-maximizar-producao-e-ser-mais-eficiente-nos-processos-industriais/>. Acesso em: 17 dez. 2023.

REIS, A. Já sabe o que é Usina 4.0? Gestores de usinas explicam. *Jornal Cana*. 02 de julho de 2020. Disponível em: <https://jornalcana.com.br/voce-entendeu-o-que-e-usina-4-0-gestoresde-usinas-explicam/>. Acesso em: 11 dez. 2023.

RPANEWS. BP Bunge Bioenergia consolida adoção de sistema de monitoramento de incêndios por satélite. *Cana & Indústria*. 2021. Disponível em: <https://revistarpanews.com.br/bp-bunge-bioenergia-consolida-adocao-de-sistema-demonitoramento-de-incendios-por-satelite/>. Acesso em: 27 out. 2023.

SANTOS, H. F. dos. Oligopolização e financeirização do setor sucroenergético brasileiro no século XXI. *Revista de Geografia*, 35 (2), 113–133, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2018.230494>. acesso em 29 mai. 2024.

SANTOS, H. F. dos *et. al.* Crise do setor sucroenergético no Brasil e vulnerabilidade dos municípios canavieiros. *EURE*, 48 (145), 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.7764/EURE.48.145.02>. Acesso em: 21 set. 2022.

SANTOS, M. *A natureza do Espaço: técnica e tempo. Razão e emoção*. 4. Ed. 9 reimpr. São Paulo: Edusp, 2017.

SANTOS, M. Modo de produção técnico-científico e diferenciação espacial. *Território*, ano IV, nº 6, 1999.

SANTOS, M. *Por uma outra globalização: do pensamento único à consciência universal*. Rio de Janeiro: Record, 2000.

SCHWAB, K. *A quarta revolução industrial*. São Paulo: Edipro, 2016.

S-PAA. *A Ferramenta*. 2023. Disponível em: <https://s-paa.ind.br/spaa/#:~:text=O%20S%2DPAA%20%C3%A9%20a.atua%C3%A7%C3%A3o%20de%20um%20controle%20avan%C3%A7ado>. Acesso em: 22 dez. 2023.

STEDA, M. M. V. *Território e informação: produção e consumo de aplicativos na era da computação em nuvem*. 2021. 278 f. Tese (Geografia) – FFLCH-USP, São Paulo, 2021. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8136/tde-11112021-202312/publico/2021_MelissaMariaVeloSteda_VCorr.pdf. Acesso em: 21 nov. 2023.

TEIXEIRA, M. E. S. *Inserção e instabilidade do capital internacional no setor sucroenergético brasileiro: uso corporativo e estratégias territoriais do Grupo BP Bunge Bioenergia*. 2024. 224 f. Tese (Geografia) – IG/UFU, Uberlândia, 2024. Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2024.108>. Acesso em: 10 jun. 2024.

TEIXEIRA, M. E. S.; PEREIRA, M. F. V. A produção sucroenergética na MRG de Ituiutaba, Minas Gerais: retrato da expansão e da instabilidade do setor no início do século XXI. *Revista Campo-Território*, Uberlândia-MG, v. 18, n. 49, p. 98–119, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/RCT184967388>. Acesso em: 11 mar. 2023.


TYGEL *et al.* *Atlas dos Agrotóxicos: fatos e dados do uso dessas substâncias na agricultura*. 1 ed. Rio de Janeiro: Fundação Heinrich Böll, 2023. Disponível em: <https://br.boell.org/ptbr/atlas-dos-agrotoxicos>. Acesso em: 26 dez. 2023.

UDOP – União Nacional da Bioenergia. TIM anuncia parceria com BP Bunge bioenergia e alcança 12 milhões de hectares conectados com 4G. *Diversas*. 07 de novembro de 2022. Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2022/11/07/tim-anuncia-parceria-com-bpbunge-bioenergia-e-alcanca-12-milhoes-de-hectares-conectados-com-4g.html>. Acesso em: 23 set. 2023.


VENTURELLI, M. Usina 4.0: A Quarta Revolução Industrial no Setor Bioenergético. *Automação Industrial*. 2015. Disponível em: <https://www.automacaoindustrial.info/usina-4-0-a-quarta-revolucao-industrial-no-setor-bioenergetico/>. Acesso em: 12 dez. 2023.

VITAL, A. BP Bunge Bioenergia reduz 50% dos incêndios nos últimos 2 anos. *Jornal Cana*. 28 de julho de 2023. Disponível em: <https://jornalcana.com.br/bp-bunge-bioenergia-reduz-50-dos-incendios-nos-ultimos-2-anos/>. Acesso em: 20 out. 2023.

SOBRE OS AUTORES

Matheus Eduardo Souza Teixeira  - Doutor (2024), mestre (2020) e graduado em Geografia pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Pesquisador vinculado à Rede de Pesquisas sobre Regiões Agrícolas (REAGRI) e também do Grupo de Estudos e Pesquisas sobre Trabalho, Território e Políticas Públicas (TRAPPU) da UFG. Professor Adjunto do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Jataí (IGEO/UFJ). Pós-doutorando pelo Programa de Pós-graduação em Geografia do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás (PPGEO/IESA/UFG).

E-mail: matheus.teixeira@ufj.edu.br

Mirlei Fachini Vicente Pereira  - Doutor em Geografia pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP). Professor Associado do Instituto de Geografia, Geociências e Saúde Coletiva da Universidade Federal de Uberlândia (IGESC/UFU). Bolsista Produtividade em Pesquisa CNPq/Brasil.

E-mail: mirlei@ufu.br

Data de submissão: 20 de fevereiro de 2025

Aceito para publicação: 01 de setembro de 2025

Data de publicação: 27 de outubro de 2025