

Artigo

Proposta para Implantação de Sistema de Gestão Ambiental Aplicada ao Processamento Agroindustrial de Polpas de Frutas na Região de Patos, Paraíba

Proposal for the Implementation of an Environmental Management System Applied to the Agro-industrial Processing of Fruit Pulp in the Patos Region, Paraíba

Propuesta para la Implementación de un Sistema de Gestión Ambiental Aplicado al Procesamiento Agroindustrial de Pulpas de Fruta en la Región de Patos, Paraíba

João Macário Neto¹, Macário de Araújo Cavalcante², Soraya Maria Bernardo Nunes Sousa³, Alexandre Magno e Silva Costa⁴, Silvana Alves Olegário⁵, José de Arimatéia Cruz Guedes⁶, Máximo Giusone de Oliveira Luiz⁷, Tamires Soares de Oliveira⁸, Náthaly Bernardo Sousa⁹ e Akyla Maria Martins Alves¹⁰

1– M. Sc. Gestão em Sistemas Agroindustriais e Secretário Executivo da UFCG – Patos – PB <http://lattes.cnpq.br/2819018187942277>
E-mail: joaodm@cstr.ufcg.com.br

2 M. Sc. Gestão em Sistemas Agroindustriais E-mail: mac@cstr.ufcg.edu.br <http://lattes.cnpq.br/4301111494315175>

3– <http://lattes.cnpq.br/8414661714665494> E-mail: soraya.bns@gmail.com

4– UFCG M. Sc. Gestão em Sistemas Agroindustriais E-mail:

5– UFCG. M. Sc. Gestão em Sistemas Agroindustriais <http://lattes.cnpq.br/5433685883723469> - E-mail: silvana.olegario18@gmail.com

6– UFCG - M. Sc. Gestão em Sistemas Agroindustriais <http://lattes.cnpq.br/3234683574946385> -

7– UFCG. M. Sc. Gestão em Sistemas Agroindustriais E-mail: máximo.luiz@ufcg.edu.br

<http://lattes.cnpq.br/5327303344554062> - Especialização

8- E-mail: tamiressoares.ufcg@gmail.com - <http://lattes.cnpq.br/1596426297010567>

9– Especialização em Educação Ambiental e Sustentabilidade.

E-mail: bsnathaly@gmail.com - <http://lattes.cnpq.br/5046615503756070>

10 <http://lattes.cnpq.br/1715572682948342> Email: akylamma@gmail.com

Resumo: A agroindústria de beneficiamento de polpa de frutas no semiárido paraibano configura-se como um arranjo produtivo estratégico para o desenvolvimento socioeconômico regional. Contudo, a ausência de diretrizes ecológicas padronizadas gera externalidades ambientais severas, caracterizadas pelo elevado consumo de recursos hídricos e pela geração massiva de resíduos sólidos orgânicos. Este trabalho apresenta uma proposta de implantação de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) customizado para unidades processadoras localizadas na região de Patos-PB. A metodologia de estruturação do projeto consistiu em uma abordagem aplicada, dividida em três fases executivas: mapeamento diagnóstico operacional, quantificação analítica dos fluxos de entrada e saída (balanço de massa) e desenvolvimento do plano de ação mitigador. Os diagnósticos de base indicam um consumo hídrico crítico de 4,5 L de água por quilograma de polpa produzida, associado a índices de desperdício de biomassa que chegam a 45% no processamento de frutos nativos como o umbu. Diante desse cenário, a proposta desenha ações práticas fundamentadas na transição do modelo linear para sistemas circulares de Produção Mais Limpa (P+L). As metas de implantação incluem o reúso de efluentes hídricos nas etapas de lavagem primária e caldeiras, além do aproveitamento biotecnológico dos resíduos sólidos (cascas e sementes) para compostagem e alimentação animal. Conclui-se que a execução desta proposta é um vetor indispensável para garantir a sobrevivência econômica a longo prazo dessas agroindústrias e salvaguardar a resiliência ecológica do ecossistema da Caatinga.

Palavras-chave: Gestão Ambiental. Produção Mais Limpa. Ecoeficiência Hídrica. Valorização de Resíduos. Semiárido Paraibano.

Abstract: The agro-industry of fruit pulp processing in the semi-arid region of Paraíba is a strategic productive arrangement for regional socio-economic development. However, the absence of standardized ecological guidelines generates severe environmental externalities, characterized by high water consumption and the massive generation of organic solid waste. This work presents a proposal for the implementation of a customized Environmental Management System (EMS) for processing units located in the Patos-PB region. The project structuring methodology consisted of an applied approach, divided into three executive phases: operational diagnostic mapping, analytical quantification of input and output flows (mass balance), and development of a mitigating action plan. Baseline diagnoses indicate a critical water consumption of 4.5 L of water per kilogram of pulp produced, associated with biomass waste rates reaching 45% in the processing of native fruits such as umbu. Given this scenario, the proposal outlines practical actions based on the transition from a linear model to circular Cleaner Production (CP) systems. Implementation goals include the reuse of

Aceito para publicação em: 22 de maio de 2026 e publicado em: de 19 junho de 2026.

water effluents in primary washing and boiler stages, as well as the biotechnological use of solid waste (peels and seeds) for composting and animal feed. It is concluded that the execution of this proposal is an indispensable vector to guarantee the long-term economic survival of these agro-industries and safeguard the ecological resilience of the Caatinga ecosystem.

Keywords: Environmental Management. Cleaner Production. Water Eco-efficiency. Waste Valorization. Paraíba Semi-arid Region.

Resumen: La agroindustria del procesamiento de pulpas de fruta en la región semiárida de Paraíba constituye un encargo productivo estratégico para el desarrollo socioeconómico regional. Sin embargo, la ausencia de directrices ecológicas estandarizadas genera graves externalidades ambientales, caracterizadas por un alto consumo de agua y la generación masiva de residuos sólidos orgánicos. Este trabajo presenta una propuesta para la implementación de un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) personalizado para las plantas procesadoras ubicadas en la región de Patos-PB. La metodología de estructuración del proyecto consistió en un enfoque aplicado, dividido en tres fases ejecutivas: mapeo de diagnóstico operacional, cuantificación analítica de flujos de entrada y salida (balance de masas) y desarrollo de un plan de acción de mitigación. Los diagnósticos iniciales indican un consumo crítico de agua de 4.5 L por kilogramo de pulpa producida, asociado a tasas de desperdicio de biomasa que alcanzan el 45% en el procesamiento de frutas nativas como el umbu. Ante este escenario, la propuesta describe acciones prácticas basadas en la transición de un modelo lineal a sistemas circulares de Producción Más Limpia (PPL). Los objetivos de implementación incluyen la reutilización de efluentes de agua en las etapas de lavado primario y de ebullición, así como el aprovechamiento biotecnológico de residuos sólidos (cáscaras y semillas) para compostaje y alimentación animal. Se concluye que la ejecución de esta propuesta es un vector indispensable para garantizar la supervivencia económica a largo plazo de estas agroindustrias y salvaguardar la resiliencia ecológica del ecosistema de la Caatinga.

Palabras clave: Gestión ambiental. Producción más limpia. Ecoeficiencia hídrica. Valorización de residuos. Región semiárida de Paraíba.

INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana de Patos, estrategicamente encravada na porção central do Sertão do estado da Paraíba, desempenha um papel de centralidade socioeconômica regional proeminente, atuando como um dinâmico polo de comércio, prestação de serviços e escoamento da produção agrícola do Baixo Sertão paraibano. Sob a perspectiva geográfica e morfoestrutural, o território localiza-se na unidade geomorfológica da Depressão Sertaneja, apresentando uma topografia predominantemente ondulada a suavemente ondulada, com cotas altimétricas que variam entre 240 e 580 metros acima do nível do mar (Pereira, 2018; Maia & Araújo, 2021). É nesse cenário territorial e socioeconômico que as unidades agroindustriais voltadas ao beneficiamento e processamento de polpas de frutas emergem como Arranjos Produtivos Locais (APLs) de elevado valor agregado. Essas indústrias operam como ferramentas fundamentais para a verticalização econômica da agricultura familiar regional, viabilizando o aproveitamento de safras sazonais e minimizando as severas perdas pós-colheita que historicamente penalizam o pequeno produtor. Essa dinâmica abrange tanto espécies exóticas perfeitamente aclimatadas quanto matrizes nativas e endêmicas do bioma Caatinga, a exemplo do umbu (*Spondias tuberosa*) e do caju (*Anacardium occidentale*), cujas cadeias de valor possuem forte apelo biocultural e comercial (Santana, 2022).

Todavia, a consolidação e a expansão desse parque agroindustrial impõem pressões ecológicas complexas sobre um ecossistema intrinsecamente marcado por severas vulnerabilidades climáticas. De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o município de Patos apresenta o clima Semiárido Quente (BSh), condicionado por elevadas taxas de radiação solar global, baixos índices de umidade relativa do ar e temperaturas médias anuais em torno de 27,6 °C, com máximas absolutas históricas que frequentemente superam os 40 °C nos meses de estiagem mais severa (Santos, 2019; Matos, 2020). O regime pluviométrico local é marcado por uma extrema irregularidade espaço-temporal, com média histórica de precipitação pluvial oscilando em torno de 800 mm anuais, severamente concentrados em um curto período de três a quatro meses. Esse comportamento hidrológico é regulado pela dinâmica macroclimatológica da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e intensificado por anomalias climáticas globais, como os episódios de *El Niño* e *La Niña* (Rodrigues, 2017). Este balanço hídrico historicamente negativo, associado a taxas de evapotranspiração potencial que superam largamente a precipitação, restringe a perenidade dos corpos d'água locais, inserindo as

agroindústrias em uma condição de estrita dependência de mananciais superficiais intermitentes e de poços tubulares profundos vinculados à sub-bacia do Rio Espinharas (Silva, 2025).

Sob a ótica operacional e ecológica, o beneficiamento de frutas é uma atividade industrial de elevado nexos água-energia-alimento, sendo intensiva no uso de recursos hídricos. Volumes expressivos de água são demandados nas etapas de lavagem das matérias-primas, sanitização de instalações e equipamentos, além do suprimento de caldeiras para geração de vapor (Zugaib, 2023). Como contrapartida desse balanço de massa, a atividade gera efluentes líquidos agroindustriais de alta complexidade (Levy & Oliveira, 2012). Esses despejos apresentam elevada carga de matéria orgânica dissolvida expressa por altos valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), flutuações extremas de pH e sólidos suspensos (Queiroz, 2017). Adicionalmente, o processo gera volumes massivos de subprodutos e resíduos sólidos constituídos por cascas, sementes, caroços e bagaços que, em muitas realidades locais, são descartados sem critérios técnicos preliminares ou planos de manejo integrados (Nascimento Filho & Franco, 2015). Diante de um cenário pedológico caracterizado por solos regionalmente rasos, pouco profundos e altamente suscetíveis a processos de erosão acelerada e desertificação, a ausência de mecanismos institucionais rígidos de monitoramento ambiental, aliada à carência de Sistemas de Gestão Ambiental (SGA) robustos nas empresas locais, configura um gargalo crítico (Pereira, 2012). Tal panorama ameaça sobrecarregar a capacidade de resiliência ecológica da bacia hidrográfica, acelerar a degradação dos corpos receptores e comprometer seriamente a segurança hídrica e a sustentabilidade socioeconômica da população regional (Santos, 2015).

Diante dessa problemática, este documento configura-se como uma Proposta de Implantação de Gestão Ambiental Aplicada, estruturada para converter o atual panorama de vulnerabilidade em um modelo operativo ecoeficiente. Não se trata apenas de um diagnóstico de impactos, mas de um projeto de intervenção técnica desenhado para integrar ferramentas de Produção Mais Limpa (P+L) e Economia Circular à rotina de processamento das agroindústrias locais, conciliando o desenvolvimento econômico do Baixo Sertão com a salvaguarda ecológica do semiárido paraibano.

JUSTIFICATIVA TÉCNICA E DIRETRIZES DA PROPOSTA

A relevância científica, socioeconômica e ecológica para a implantação imediata desta proposta de engenharia e gestão ambiental fundamenta-se nos seguintes aspectos justificadores:

Mitigação da Escassez Hídrica Regional e Gestão do Nexos Água-Energia

A proposta fornece subsídios técnicos e projetos de engenharia para reduzir drasticamente a pressão sobre a sub-bacia do Rio Espinharas (Silva, 2025). Por meio do fechamento de circuitos hidráulicos e da automação de fluxos, estabelece-se uma meta de redução do consumo hídrico em uma região marcada por balanço hídrico severamente negativo e dependência de mananciais vulneráveis.

Controle de Impactos Pedológicos e Prevenção da Desertificação

O projeto desenvolve diretrizes executivas para reverter o descarte inadequado de efluentes ácidos (pH entre 4,0 e 5,2) e de alta carga poluidora (Queiroz, 2017). A implantação de sistemas modulares de neutralização e tratamento biológico visa proteger os solos rasos da Depressão Sertaneja contra processos crônicos de salinização, erosão acelerada e degradação edáfica (Pereira, 2012).

Conformidade Legal e Regularização Ambiental Coletiva

A proposta desenha arranjos operacionais específicos e viáveis para auxiliar as micro e pequenas agroindústrias de Patos-PB a cumprirem integralmente os requisitos legais de licenciamento e as metas estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS - Lei nº 12.305/2010), mitigando riscos de sanções jurídicas e passivos ambientais (Nascimento Filho & Franco, 2015).

Viabilização de Cadeias Circulares na Caatinga

O plano estratégico identifica e quantifica oportunidades de valoração biotecnológica e termoquímica para as biomassas residuais geradas (cascas, sementes e bagaços). Ao propor rotas de reaproveitamento para matrizes nativas como o umbu e o caju (Santana, 2022), o projeto transforma o que hoje é tratado como passivo ambiental em novos ativos de mercado (compostagem orgânica, ração animal e bioenergia), gerando receita extra para o setor.

Salvaguarda Econômica e Fixação do Homem no Campo

A modernização ambiental proposta atua diretamente na blindagem econômica das agroindústrias familiares. Ao reduzir desperdícios e otimizar o uso de insumos caros como água e energia (Zugaib, 2023), o projeto garante a perenidade de longo prazo de um setor vital para a geração de renda no Sertão paraibano, condicionando seu crescimento aos limites ecológicos locais (Santos, 2015).

Aplicações Práticas Baseadas em Evidências Territoriais

Esta proposta preenche uma lacuna crítica ao converter dados puramente acadêmicos em soluções de engenharia customizadas para as características morfológicas dos frutos da região e para a infraestrutura instalada no município de Patos-PB, servindo como modelo replicável para outras sub-bacias do semiárido nordestino.

REFERENCIAL TEÓRICO

O Processo Produtivo e o Diagnóstico de seus Aspectos e Impactos Ambientais

Para a consolidação desta proposta de implantação, o beneficiamento agroindustrial de polpas de frutas estruturar-se-á a partir de um fluxograma operacional sequencial e padronizado. Este fluxo compreende as etapas de recepção, seleção, lavagem, sanitização, despulpamento mecânico, envase e congelamento ultrarrápido (Coelho, 2023). Cada uma dessas operações unitárias, embora essencial para garantir os padrões de identidade, qualidade e segurança microbiológica do alimento fluido, atua como uma fonte geradora de aspectos ambientais específicos. No âmbito de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA), estes aspectos precisam ser rigorosamente quantificados e monitorados para mitigar os impactos ambientais potenciais associados à atividade no semiárido paraibano.

A estruturação prática das auditorias e do plano de monitoramento desta proposta toma como base a Matriz de Aspectos e Impactos Ambientais detalhada na Tabela 1.

Tabela 1: Matriz de Planejamento do SGA: Aspectos e Impactos Ambientais no Processamento de Polpas.

Etapa Operacional	Principais Ambientais	Aspectos	Impactos Ambientais Potenciais	Diretriz de Intervenção da Proposta
1. Recepção e Seleção	<ul style="list-style-type: none"> Geração de resíduos sólidos orgânicos (frutas avariadas, folhas, ramos). Atração de vetores e sinantrópicos. 		<ul style="list-style-type: none"> Degradação do solo por descarte inadequado. Proliferação de vetores de doenças e odores desagradáveis. 	Segregação imediata na fonte e encaminhamento para rotas de valorização biotecnológica.
2. Lavagem e Sanitização	<ul style="list-style-type: none"> Consumo hídrico intensivo. Geração de efluentes líquidos clorados. Arraste de sujidades e resíduos de defensivos agrícolas. 		<ul style="list-style-type: none"> Pressão sobre a disponibilidade hídrica local. Poluição química e alteração de pH nos corpos receptores. Risco de contaminação de aquíferos. 	Implantação de macromedidores e circuitos fechados para o reúso escalonado da água.
3. Despolpamento	<ul style="list-style-type: none"> Geração massiva de coprodutos orgânicos (cascas, sementes, caroços). Descarte acidental de sucos e polpa residual (alta DBO/DQO). 		<ul style="list-style-type: none"> Eutrofização e desoxigenação de corpos d'água brutos. Acidificação e impermeabilização do solo por percolação de lixiviados. 	Instalação de calhas de contenção e conversão da biomassa em ativos bioenergéticos ou ração.
4. Envase e Congelamento	<ul style="list-style-type: none"> Consumo intensivo de energia elétrica. Geração de resíduos sólidos inorgânicos (embalagens plásticas e caixas). 		<ul style="list-style-type: none"> Emissão indireta de gases de efeito estufa (matriz energética). Pressão sobre a capacidade de aterros sanitários locais. 	Otimização dos tempos de congelamento e estabelecimento de parcerias para logística reversa.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026), com base em Coelho (2023) e Silva, Dutra & Cadima (2010).

Sob a ótica dos aspectos ambientais quantitativos, as etapas iniciais de lavagem por imersão ou aspersão da matéria-prima, combinadas com a higienização rigorosa das instalações e dos equipamentos frequentemente conduzida por meio de sistemas automatizados *Clean-In-Place* (CIP), constituem os principais pontos de consumo hídrico e de pressão sobre as fontes de captação locais (Silva, Dutra & Cadima, 2010). Esta proposta reconhece que o manejo inadequado dessas etapas resulta não apenas em um severo desperdício hídrico, mas na geração de expressivos volumes de águas residuárias de difícil descarte (Almeida, 2024).

O efluente líquido gerado nesse setor industrial caracteriza-se por apresentar valores extremamente críticos de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO). Essa elevada carga poluidora orgânica é intrinsecamente decorrente do arraste e descarte acidental de sucos, polpas residuais, ácidos orgânicos (como o ácido cítrico e o málico) e açúcares solúveis (frutose e sacarose) ao longo das linhas de processamento e despolpamento (Beltrame, 2000).

Além do forte apelo orgânico, esses efluentes exibem flutuações acentuadas de pH e teores elevados de óleos, graxas e Sólidos Suspensos Totais (SST). O lançamento desses efluentes brutos, sem um tratamento físico-químico e biológico prévio, desencadeia a rápida desoxigenação dos corpos d'água receptores por eutrofização ou promove a salinização e a impermeabilização do solo. Diante disso, esta proposta preconiza a implantação de sistemas de tratamento descentralizados e modulares como solução para essas limitações (Beltrame, 2000).

Gestão Ambiental e Engenharia de Produção Mais Limpa (P+L) no Semiárido

A evolução da gestão ambiental contemporânea aplicada ao setor produtivo exige a transição gradual do modelo tradicional de controle corretivo de "fim de tubo" (*end-of-pipe*) para a adoção de estratégias preventivas e integradas ao cerne do processo industrial (Kiperstok, 2002). Enquanto as tecnologias de fim de tubo focam estritamente no tratamento e na remediação do resíduo já gerado, incorrendo em elevados custos operacionais de captação e destinação, a abordagem integrada desta proposta busca interceptar a ineficiência operacional antes que ela se materialize como poluição ambiental.

Nesse horizonte metodológico, as diretrizes de Produção Mais Limpa (P+L) atuam de forma estratégica na redução ou eliminação da geração de resíduos e efluentes diretamente na fonte geradora. Para isso, o projeto utiliza como ferramenta diagnóstica a otimização rigorosa do balanço de massa e de energia da planta industrial. Em regiões semiáridas, onde a severa restrição de disponibilidade hídrica atua como o principal fator limitante ao desenvolvimento industrial e agropecuário, as práticas de P+L deixam de ser apenas um diferencial mercadológico e passam a configurar uma estratégia mandatória de sobrevivência operacional e resiliência econômica (Almeida, 2024).

Portanto, as ferramentas de gestão ambiental propostas para a região de Patos-PB priorizam, obrigatoriamente, o fechamento de circuitos hídricos industriais. Isto é projetado por meio do reúso interno de águas em cascata para atividades menos restritivas, como o reaproveitamento das águas de condensado de caldeiras ou do enxágue final de tanques para as etapas de lavagem bruta de pisos e pátios.

Paralelamente, o plano estratégico confere centralidade à valoração biotecnológica dos coprodutos orgânicos (cascas, sementes e caroços). Sob a égide da economia circular, o projeto prevê a transição em que esses materiais deixam de ser classificados como passivos ambientais onerosos e passam a ser integrados como ativos econômicos na região. Eles servirão como substrato para a extração de compostos bioativos de alto valor, produção de ração animal para suporte da pecuária local ou geração de bioenergia por meio de processos integrados de compostagem e digestão anaeróbia (Santos Júnior, 2025).

ESTRUTURA METODOLÓGICA E ROTEIRO DE IMPLANTAÇÃO DO PROJETO

O delineamento executivo desta proposta de engenharia ambiental caracteriza-se por uma natureza aplicada com abordagem de dados mista (quali-quantitativa), utilizando objetivos descritivos e exploratórios para a consolidação de melhorias nas plantas industriais. O cenário geográfico para a aplicação do projeto compreende o município de Patos, localizado na mesorregião do Sertão Paraibano, sob coordenadas geográficas de 7°01'28" S e 37°16'48" W, região que demanda soluções customizadas de ecoeficiência devido à criticidade de seu balanço hídrico (Santos, 2017; Sousa, 2019; Oliveira, 2023). O roteiro de intervenção técnica foi estruturado em três fases sequenciais e complementares, conforme detalhado na Tabela 2.

Tabela 2: Fases de Execução e Escopo Operacional da Proposta de Gestão Ambiental.

Fase do Projeto	Denominação Executiva	Escopo Operacional de Campo	Ferramentas de Gestão e Indicadores
Fase 1	Mapeamento Diagnóstico Inicial	Identificação, localização e cadastramento das unidades de beneficiamento de polpa de frutas atuantes na microrregião de Patos-PB.	Classificação por porte industrial; aplicação de questionários estruturados e vistorias técnicas baseadas na ISO 14001:2015.
Fase 2	Engenharia de Fluxos e Auditoria Mássica	Mensuração e análise quantitativa das entradas e saídas de insumos do processo produtivo em regime permanente.	Avaliação do consumo específico de água em (L/kg de polpa) e cálculo do índice específico de geração de resíduos sólidos.
Fase 3	Proposição de Diretrizes Circulares	Desenvolvimento de um modelo estratégico de ecoeficiência industrial adaptado às restrições ecológicas locais.	Matrizes de impacto ambiental; engenharia de processos em Produção Mais Limpa (P+L) e reengenharia de ecodesign.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026), com base em Santos (2017), Sousa (2019) e Oliveira (2023).

Amostragem Estratégica e Enquadramento Normativo (ABNT NBR ISO 14001:2015)

O projeto executivo prevê, inicialmente, o mapeamento completo do universo de agroindústrias processadoras de polpa de frutas formalmente registradas nos órgãos de fiscalização sanitária, fazendária e ambiental na região de Patos-PB. Para delimitar o universo de intervenção e garantir um tamanho amostral estatisticamente representativo das agroindústrias de pequeno e médio porte em operação, adota-se o critério analítico da equação de amostragem aleatória simples voltada para populações finitas (Field, 2010; Field, 2012; Fernandes, 2017).

Este método matemático fundamenta o plano amostral de segurança ao correlacionar o tamanho total da população mapeada na microrregião à distribuição bimodal padrão do fenômeno (pautada em variabilidade estimada máxima de cinquenta por cento), sob um nível de confiança institucional estabelecido em noventa e cinco por cento e uma margem de erro amostral máxima tolerada de cinco por cento (Fernandes, 2017).

Uma vez estabelecido o universo de empresas participantes, o enquadramento do diagnóstico operacional toma como referencial normativo e analítico os requisitos técnicos internacionais estabelecidos pela norma ABNT NBR ISO 14001:2015 (Sistemas de Gestão Ambiental - Requisitos com orientações para uso) (Brasil, 2015). O foco da auditoria técnica concentra-se na Seção 6.1.2, que rege o levantamento e a classificação dos Aspectos Ambientais. Esta análise é conduzida sob a perspectiva do ciclo de vida do produto, avaliando as entradas e saídas de recursos desde a extração e recepção da matéria-prima até a destinação final de seus efluentes e subprodutos (Brasil, 2015).

Balanco de Massa Descritivo e Métricas de Ecoeficiência Operacional

A análise do desempenho operacional real e do potencial poluidor das unidades processadoras fundamenta-se na aplicação sistemática do balanço de massa em regime permanente, técnica de engenharia balizada pela Lei de Conservação das Massas (Cenci, 2011). Este procedimento de campo permite o mapeamento quantitativo integral dos fluxos de materiais, rastreando fisicamente a matéria-prima em cada balança e sensor da planta, desde a recepção dos frutos até a pesagem do produto final embalado e a quantificação dos subprodutos gerados (Anacleto et al, 2012). No setor de polpas, a contabilização rigorosa dessas frações mássicas é um requisito indispensável para identificar gargalos operacionais, estimar perdas invisíveis por vazamentos ou retenções mecânicas nas linhas de despulpamento e fornecer dados de base para estratégias sustentáveis de Produção Mais Limpa (Gonella, 2018).

A partir dos dados consolidados de entrada e saída de materiais na fábrica, o projeto estabelece métricas adimensionais de ecoeficiência para mensurar a eficiência de conversão agroindustrial e o índice específico de geração de resíduos sólidos de cada planta. O rendimento de polpa é monitorado como uma métrica que reflete diretamente a viabilidade econômica do negócio e a eficiência tecnológica do maquinário e das despulpadeiras utilizadas (Silva et al. 2019; Oliveira, 2025).

Em contrapartida, o índice de resíduos sólidos quantifica o volume exato da biomassa descartada na forma de cascas, sementes e caroços em relação à fruta bruta inserida. Esse indicador serve como balizador direto do potencial poluidor ou do reaproveitamento biotecnológico da empresa em cadeias secundárias de valor (Morais, 2025).

Adicionalmente, o projeto avalia a pegada hídrica real das plantas por meio do indicador de intensidade hídrica industrial, o qual expressa a quantidade exata de litros de água consumidos para cada quilograma de polpa produzida. O controle e o monitoramento setorial desse recurso natural são realizados por meio de macromedição física por hidrômetros instalados em três pontos críticos da linha: nas etapas de lavagem primária, nos tanques de sanitização biológica e nos sistemas de geração de vapor das caldeiras (Ferreira, 2018).

Em regiões sob severa vulnerabilidade climática, como o semiárido paraibano, a determinação precisa desse indicador é crucial para diagnosticar de forma fidedigna o nível de pressão que as indústrias exercem sobre a sub-bacia do Rio Espinharas, direcionando as metas futuras de programas de reúso interno e ecoeficiência hídrica (Lobão, 2025).

Protocolo de Tratamento Estatístico e Validação dos Dados do Projeto

A validação científica e a interpretação dos indicadores operacionais e ambientais levantados em campo apoiam-se em um rigoroso protocolo de análise estatística descritiva e inferencial (Dias, 2025). Inicialmente, os indicadores de intensidade hídrica e os índices de geração de resíduos orgânicos de cada agroindústria são submetidos a testes estatísticos de aderência à normalidade (Soares, 2022). Essa triagem computacional preliminar é indispensável para constatar se a distribuição das variáveis experimentais segue o comportamento

simétrico de uma curva gaussiana, validando as premissas matemáticas exigidas para a aplicação segura de testes estatísticos paramétricos (Marcolan, 2024).

Considerando a acentuada variabilidade morfológica e estrutural existente entre as espécies frutícolas avaliadas no projeto, emprega-se a Análise de Variância (ANOVA) de fator único. O propósito desta ferramenta inferencial é comprovar se as flutuações e discrepâncias observadas nos rendimentos de polpa e nas taxas de descarte decorrem de variações meramente casuais do ambiente fabril ou se são influenciadas significativamente pelas características biológicas de cada fruta processada (Nogueira, 2025).

Nos cenários operativos em que o teste F da ANOVA aponta diferenças estatísticas altamente significativas, o protocolo técnico aplica o teste de comparações múltiplas de Tukey. Esse procedimento permite discriminar, classificar e agrupar as médias das matrizes frutícolas que apresentam comportamentos ecoeficientes semelhantes, adotando-se o nível de significância padrão de cinco por cento (Silva, 2024).

Por fim, o plano metodológico investiga a correlação matemática existente entre a escala produtiva instalada das agroindústrias (capacidade diária de processamento) e os seus respectivos desempenhos no uso de insumos naturais. Para tanto, utiliza-se o Coeficiente de Correlação de Pearson, ferramenta que quantifica com precisão a força, o grau e a direção da associação linear entre o volume de processamento da empresa e o seu índice de intensidade hídrica (Gonella, 2018).

Essa abordagem analítica torna possível diagnosticar se o ganho de escala tecnológica atua como um fator de mitigação do consumo hídrico, gerando subsídios científicos e de engenharia para o planejamento de políticas ecológicas e planos de outorga no semiárido paraibano.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diagnóstico do Processamento e Balanço de Massa Descritivo

As auditorias operacionais e os levantamentos de campo realizados nas unidades processadoras da região de Patos-PB revelam um cenário de expressiva pressão sobre os recursos naturais, evidenciado por um consumo hídrico médio global de 4,5 litros de água para cada quilograma de polpa final acabada e comercializável (Bezerra Neto, 2025). A decomposição analítica do fluxo hídrico setorial aponta que as etapas iniciais de lavagem por imersão e o enxágue subsequente por aspersão absorvem a maior fração desse recurso, correspondendo a exatamente sessenta por cento do volume total demandado, o que equivale a um consumo específico isolado de 2,7 litros de água por quilograma de fruto processado.

Os quarenta por cento restantes do balanço, representativos de 1,8 litros por quilograma, são integralmente consumidos nas rotinas de higienização sanitária predial e de maquinários — conduzidas por sistemas automatizados *Clean-In-Place* (CIP) — e nos processos de resfriamento mecânico das linhas de despolpamento.

Esse indicador de intensidade hídrica posiciona o parque agroindustrial de Patos em um patamar de consumo considerado de moderado a alto quando contrastado com polos produtivos hidricamente eficientes do país, os quais operam historicamente em uma faixa de excelência situada entre 2,0 e 3,0 litros de água por quilograma de polpa (Morelli, 2018). Esta proposta de intervenção identifica que a baixa ecoeficiência local decorre do uso predominante de tanques de lavagem por imersão estática sem sistemas de recirculação. Nesses cenários, o descarte do efluente ocorre de forma intermitente e empírica, baseado em critérios visuais de turbidez da água, gerando picos críticos de desperdício hídrico diário que oneram os mananciais da bacia do Rio Espinharas.

No que tange à fração sólida do processamento, as auditorias mássicas demonstraram que a geração de resíduos orgânicos possui estrita dependência das características morfológicas de cada matriz vegetal, conforme estruturado na Tabela 3, que serve de base para o plano de manejo da proposta.

Tabela 3: Diagnóstico Mássico de Processamento e Cenário de Destinação de Subprodutos.

Matriz Frutícola Processada	Fração Aproveitável Média (Polpa Comercial) (%)	Fração de Resíduo Sólido Gerada (Casca e Caroço) (%)	Cenário de Destinação Atual Predominante na Região	Rota de Destinação na Proposta Projeto	Valoração pelo
Manga	60%	40%	Descarte em lixões a céu aberto ou alimentação rudimentar.	Compostagem animal termofílica integrada ao solo.	aerada
Caju	85%	15%	Queima rudimentar em caldeiras ou venda <i>in natura</i> .	Formulação de farelada e extração comercial de LCC.	ração
Goiaba	90%	10%	Descarte comum aos resíduos de Patos.	misturado com resíduos sólidos urbanos para extração de óleos finos.	Prensagem mecânica contínua
Umbu	55%	45%	Descarte em lixões locais ou alimentação animal informal.	Compostagem orgânica e recuperação de polpa aderida.	de polpa

Fonte: Baseado em dados de campo e parametrizado com base em Bezerra Neto (2025) e Morelli (2018).

A análise comparativa dos fluxos mássicos evidencia que as matrizes nativas e endêmicas do bioma Caatinga, com destaque para o umbu (*Spondias tuberosa*), manifestam o menor rendimento em polpa útil do ecossistema (cinquenta e cinco por cento), gerando em contrapartida o maior volume específico de endocarpo e epicarpo residual da região, equivalente a quarenta e cinco por cento de toda a matéria-prima que adentra a fábrica. Sob a ótica da engenharia ambiental, o descarte atual dessas toneladas de biomassa em lixões regionais representa tanto um grave desperdício de potencial biotecnológico quanto um vetor de contaminação e proliferação de vetores em Patos-PB.

Este projeto diagnóstico aponta que a baixa eficiência de conversão do umbu decorre do grande diâmetro do seu endocarpo (caroço) em relação ao volume total do fruto. Essa característica morfológica impõe desafios operacionais nas despoldadeiras, exigindo regulagens e aberturas de telas que evitem o esmagamento da semente — o que elevaria o amargor do produto final —, mas que, conseqüentemente, resultam no descarte de frações expressivas de polpa útil ainda aderidas ao resíduo sólido fibroso.

Impactos Ambientais Diagnosticados e Vulnerabilidades Ecológicas Locais

A disposição inadequada e sem critérios técnicos dos efluentes líquidos e resíduos sólidos gerados pelas agroindústrias impacta diretamente a estabilidade do ecossistema semiárido de Patos-PB. Os efluentes líquidos gerados nas etapas de lavagem intensiva e despoldamento exibem um caráter severamente ácido, com pH oscilando em faixas críticas entre 4,0 e 5,2, associado a uma carga poluidora orgânica expressiva. Esta carga é caracterizada por valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) situados na faixa de 3.000 a 6.000 mg/L e Demanda Química de Oxigênio (DQO) que flutua entre 5.000 e 10.000 mg/L.

Ao infiltrarem no solo da Depressão Sertaneja sem qualquer tratamento físico-químico ou biológico prévio, essas águas residuárias alteram a microbiota edáfica benéfica, aceleram os processos de salinização pelo acúmulo de sais minerais e contaminam, por lixiviação profunda, o lençol freático vinculado à sub-bacia do Rio Espinharas, cuja disponibilidade e vazão já são criticamente sazonais.

Paralelamente, a decomposição anaeróbica da biomassa sólida descartada de forma difusa nos lixões ou no entorno das unidades fabris libera chorume altamente concentrado e gases de efeito estufa na atmosfera, com destaque para o gás metano (CH_4), cujo potencial de aquecimento global é vinte e cinco vezes superior ao do dióxido de carbono. No contexto climático de Patos, marcado por taxas extremas de evapotranspiração potencial, escassez hídrica e alta fragilidade dos solos frente à erosão eólica e hídrica, o estresse químico crônico gerado por esses resíduos não tratados atua como um catalisador de núcleos locais de

desertificação, comprometendo a biodiversidade nativa da Caatinga e a segurança hídrica das populações humanas ribeirinhas.

Propostas de Diretrizes e Ações Executivas de Gestão Ambiental

Como resposta direta aos gargalos operacionais, hidrológicos e mássicos diagnosticados na região de Patos-PB, esta proposta desenha a implementação imediata de um modelo integrado de ecoeficiência industrial, estruturado em quatro eixos de intervenção tecnológica e gerencial executiva:

Reúso Hídrico em Contracorrente e Monitoramento Setorial

Propõe-se a engenharia e instalação de circuitos hidráulicos fechados onde a água purificada oriunda do enxágue final dos equipamentos e das embalagens seja bombeada em fluxo reverso para alimentar os tanques de primeira lavagem grosseira dos frutos brutos no setor de recepção. Integrando filtros rápidos de areia para a retenção mecânica de sólidos suspensos e um sistema de cloração secundária automatizado para manter o teor de cloro residual livre em 2,0 mg/L, projeta-se uma redução real de até trinta e cinco por cento na captação de água doce subterrânea ou da rede concessionária pública, aliviando o estresse hidrológico do município de Patos-PB (Matsumura, 2007).

Valoração Biotecnológica e Energética da Biomassa Residual

Propõe-se a conversão sistemática dos passivos orgânicos descritos na Tabela 3 em coprodutos de alto valor comercial para a região. Recomenda-se o direcionamento das cascas e caroços de manga e umbu para pátios de compostagem termofílica aerada conduzida nas próprias propriedades rurais dos fornecedores parceiros (Padrinho, 2018). O composto orgânico estabilizado gerado atuará como condicionador de solo para o Sertão, elevando a capacidade de retenção de água e nutrientes na camada cultivável e mitigando os efeitos da seca (Galvão, 2018; Santos et al., 2023). Para a cadeia do caju, o pedúnculo residual deve ser submetido à secagem solar para a formulação de ração animal farelada enriquecida para suporte da pecuária local, enquanto o Líquido da Casca da Castanha (LCC) deve ser segregado e comercializado para indústrias químicas. As sementes de goiaba serão limpas, submetidas à desidratação e destinadas à prensagem mecânica contínua para extração de óleos finos ricos em ácidos graxos essenciais, gerando receita acessória para as agroindústrias.

Logística Reversa, Ecodesign e Consórcios Verdes Intermunicipais

Propõe-se a articulação de um consórcio empresarial setorial englobando as indústrias de polpa de Patos e municípios vizinhos para estruturar o fluxo de logística reversa das embalagens plásticas descartadas de Polietileno de Baixa Densidade (PEBD). A ação prevê a inserção de selos de responsabilidade ambiental nas rotulagens e o estabelecimento de parcerias formais com as associações locais de catadores de materiais recicláveis de Patos-PB. O objetivo executivo é garantir que no mínimo vinte e dois por cento do volume total de plástico inserido no mercado consumidor retorne ao ciclo industrial de reciclagem, assegurando o estrito cumprimento das metas nacionais estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS - Lei nº 12.305/2010).

Adequação Normativa e Padronização Baseada na ABNT NBR ISO 14001:2015

Recomenda-se a implementação progressiva de Procedimentos Operacionais Padrão (POPs) focados na mentalidade de risco e na análise do ciclo de vida exigidas pela norma ISO 14001. As ações de gestão incluem a criação de um inventário permanente de aspectos e impactos ambientais atualizado anualmente, o treinamento técnico contínuo dos operadores das despoldadeiras para redução de perdas de polpa aderida aos caroços e a construção física de bacias de contenção impermeabilizadas nas áreas de armazenamento de lenha ou

combustíveis das caldeiras e de produtos químicos de higienização, mitigando riscos de acidentes ambientais e vazamentos graves na planta industrial.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O beneficiamento agroindustrial de polpas de frutas na microrregião de Patos-PB consolida-se como um vetor estratégico indispensável para a verticalização da produção agrícola e para a fixação do homem no campo. No entanto, os diagnósticos e análises reunidos nesta proposta demonstram de forma inequívoca que a sustentabilidade operacional e econômica desse setor, a longo prazo, está severamente ameaçada caso persista o modelo linear e corretivo de produção nas plantas industriais locais.

O panorama levantado aponta para um cenário alarmante sob a perspectiva da gestão ambiental. O indicador de intensidade hídrica média global de 4,5 litros de água consumidos por quilograma de polpa produzida reflete uma ineficiência no uso dos recursos que se choca diretamente com a realidade de escassez hídrica crônica e vulnerabilidade climática características do Sertão paraibano. Quando se constata que sessenta por cento desse recurso, equivalente a 2,7 litros por quilograma, é descartado na forma de efluente líquido severamente poluidor — com caráter fortemente ácido, registrando pH de até 4,0, e cargas críticas de Demanda Bioquímica de Oxigênio e Demanda Química de Oxigênio —, o processo produtivo passa a atuar como um agente acelerador da salinização do solo e da degradação dos corpos d'água superficiais e subterrâneos vinculados à sub-bacia do Rio Espinharas.

Ademais, a expressiva fração de resíduos sólidos descartada inadequadamente nos lixões regionais que atinge o ápice de quarenta e cinco por cento no processamento do umbu e quarenta por cento na manga deixa de ser apenas um passivo gerador de chorume e de gases de efeito estufa, como o metano. Sob a ótica da economia circular, esse descarte representa um substancial desperdício de potencial bioeconômico para o município de Patos. Esses subprodutos possuem viabilidade técnica e biotecnológica comprovada para reinserção em cadeias de valor, como a compostagem agrícola, a formulação de ração animal farelada e a extração de compostos de alto valor agregado, como óleos finos e bioativos.

Conclui-se, portanto, que a transição para as diretrizes de ecoeficiência propostas — baseadas no reúso hidráulico em contracorrente, na valoração integrada da biomassa residual e na articulação de consórcios de logística reversa alinhados à norma ABNT NBR ISO 14001:2015 — não configura um mero diferencial mercadológico ou um custo adicional de conformidade para as indústrias locais. Trata-se, em verdade, de uma condicionante obrigatória de sobrevivência institucional para as empresas e de preservação dos ecossistemas vulneráveis da Caatinga.

Como recomendações para o desdobramento e a execução futura desta proposta técnica, sugere-se a elaboração de planos de negócios e estudos de viabilidade econômica detalhados para a instalação física das centrais de compostagem e destilação de subprodutos em Patos-PB. Paralelamente, aponta-se a necessidade de o poder público municipal formular políticas de incentivo fiscal verde e programas de assistência tecnológica continuada para as agroindústrias de pequeno porte, viabilizando a consolidação de um polo agroindustrial genuinamente sustentável na região.

METAS

Importância Estratégica do Setor: A agroindústria de polpas de frutas atua como um arranjo produtivo vital para o desenvolvimento econômico do município de Patos-PB e para o fortalecimento socioeconômico da agricultura familiar.

Inviabilidade do Modelo Linear Atual: O formato produtivo baseado no fluxo extrair-produzir-descartar impõe forte pressão ecológica e ameaça de forma crítica os recursos naturais escassos do semiárido.

Gargalo Hídrico e Potencial Poluidor: Constatou-se o consumo hídrico de 4,5 litros por quilograma de polpa, associado ao descarte de efluentes com elevada carga orgânica e pH severamente ácido, comprometendo corpos receptores.

Desperdício Massivo de Biomassa: Perda contínua de matéria-prima útil que atinge quarenta e cinco por cento no processamento do umbu e quarenta por cento na manga, atualmente destinados de forma inadequada a lixões locais.

Risco de Desertificação Regional: A disposição inadequada e difusa de resíduos orgânicos e efluentes brutos sem tratamento acelera a salinização do solo e compromete a segurança hídrica da sub-bacia do Rio Espinharas.

A Ecoeficiência como Fator de Sobrevivência: A transição para a Engenharia de Produção Mais Limpa (P+L) e para o reúso de água deixa de ser um custo acessório e passa a ser uma exigência para a perenidade das indústrias.

Ações Técnicas Projetadas: Implantação imediata de circuitos de reúso hídrico em contracorrente, pátios de compostagem aerada para cascas e caroços, e estruturação de logística reversa de embalagens plásticas via consórcios verdes.

Recomendação de Políticas Públicas: Necessidade de articulação com a gestão municipal de Patos-PB para a criação de incentivos fiscais verdes, linhas de crédito ambientais e assistência técnica continuada para as microempresas locais.

CRONOLÓGICAS PARA IMPLANTAÇÃO DO SGA e P+L

Para viabilizar a execução prática e a transição operacional das agroindústrias de polpa de frutas na Região de Patos, as quatro diretrizes propostas foram desmembradas em metas cronológicas e integradas. Esse faseamento garante que as empresas realizem investimentos e adequações de forma escalonada, respeitando sua saúde financeira e capacidade técnica.

Curto Prazo (1 a 6 meses): Diagnóstico Estrutural, Padronização e Monitoramento Inicial

O foco inicial concentra-se em ações de baixo custo financeiro, organização administrativa, mapeamento de processos e estancamento dos desperdícios mais críticos.

Ação 1 (Gestão Hídrica)

Instalação física dos macromedidores analógicos (hidrômetros de alta precisão) nos três pontos críticos identificados (linhas de lavagem, sanitização e caldeiras) para início da coleta de dados diários de consumo.

Ação 2 (Valorização de Biomassa)

Interrupção imediata do descarte de cascas e caroços nos lixões comuns. Cadastramento e estabelecimento de parcerias com produtores rurais locais para destinação emergencial do resíduo *in natura* para alimentação animal pontual e compostagem rudimentar.

Ação 3 (Logística Reversa)

Mapeamento e abertura de rodadas de negociação com as cooperativas e associações de catadores de materiais recicláveis de Patos-PB para desenhar o fluxo de recolhimento do Polietileno de Baixa Densidade (PEBD).

Ação 4 (Adequação Normativa - ISO 14001)

Elaboração e homologação dos primeiros Procedimentos Operacionais Padrão (POPs) focados na operação das despoldadeiras e na redução de perdas de frutas. Criação do Inventário de Aspectos e Impactos Ambientais inicial da planta industrial.

Médio Prazo (6 a 12 meses): Infraestrutura, Automação e Engenharia de Processos

Nesta fase, realizam-se as intervenções de engenharia nas linhas de produção e pátios, exigindo pequenos aportes de capital e obras civis/hidráulicas internas.

Ação 1 (Gestão Hídrica)

Engenharia e montagem física do sistema de reúso em contracorrente. Instalação das tubulações de retorno, bombas de recalque, filtros rápidos de areia e dosadores automáticos de cloro para direcionar a água do enxágue final para a lavagem primária na recepção.

Ação 2 (Valorização de Biomassa)

Estruturação física dos pátios de compostagem termofílica aerada nas propriedades parceiras, seguindo critérios técnicos de controle de umidade, temperatura e reviramento. Início da secagem solar do pedúnculo do caju para ração farelada.

Ação 3 (Logística Reversa)

Fundação formal do Consórcio Verde Intermunicipal entre as indústrias de Patos e municípios vizinhos. Lançamento das novas rotulagens de ecodesign contendo os selos de responsabilidade ambiental e instruções de descarte para o consumidor final.

Ação 4 (Adequação Normativa - ISO 14001)

Execução do plano de treinamento continuado para 100% dos operadores da fábrica sobre mentalidade de risco e eficiência hídrica. Construção civil das bacias de contenção impermeabilizadas nas áreas de armazenamento de combustíveis de caldeiras e insumos químicos de higienização.

Longo Prazo (12 a 24 meses): Consolidação, Biotecnologia e Certificação Ambiental

A última etapa foca na estabilização dos sistemas implantados, inserção em mercados de alta tecnologia e auditorias formais de conformidade ecológica.

Ação 1 (Gestão Hídrica)

Consolidação da meta de redução de até 35% na captação de água doce subterrânea ou da rede pública. Automação completa do monitoramento hídrico e início de estudos para o aproveitamento de águas pluviais em telhados industriais.

Ação 2 (Valorização de Biomassa)

Aquisição e instalação de prensas mecânicas contínuas para o esmagamento e extração de óleos finos a partir das sementes de goiaba. Comercialização formal do composto orgânico estabilizado e do Líquido da Casca da Castanha (LCC) como novas fontes de receita acessória.

Ação 3 (Logística Reversa)

Atingimento e consolidação da meta de retorno de no mínimo 22% do volume total de embalagens plásticas inseridas no mercado local, por meio do fluxo consolidado do Consórcio Verde e das cooperativas de Patos-PB.

Ação 4 (Adequação Normativa - ISO 14001)

Realização da primeira Auditoria Interna completa do Sistema de Gestão Ambiental implantado. Preparação documental e operacional das plantas para o pleito e obtenção da certificação formal ABNT NBR ISO 14001:2015.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), pela excelência institucional e pela sólida infraestrutura acadêmica disponibilizada, que serviram de alicerce para a fundamentação e o amadurecimento científico deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Sistemas Agroambientais (PPGGSA/UFCG - Campus Pombal-PB), e a todo o seu corpo docente e técnico, pela imensurável contribuição na formação conceitual, pelo constante incentivo à pesquisa aplicada no semiárido e pelo direcionamento crítico que permitiu converter dados analíticos em uma proposta de intervenção de alto impacto para a agroindústria frutícola paraibana.

Às tecnologias de Inteligência Artificial (IA), utilizadas estrategicamente neste projeto como ferramentas colaborativas de suporte à coautoria e ao refinamento de linguagem, atuando na otimização da fluidez textual, na estruturação lógica do plano executivo e na ampliação da densidade acadêmica das diretrizes de engenharia ambiental propostas.

Aos produtores da agricultura familiar e aos gestores das agroindústrias da Região de Patos-PB, que abriram as portas de suas realidades operacionais e compartilharam os dados essenciais para que este diagnóstico se tornasse um instrumento real de transformação socioambiental na Caatinga.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Sandra Valéria de. **Escassez hídrica: desafios mitigatórios**. 2024. 93 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista - Unesp, Ilha Solteira, 2024 Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/d9a66ed9-fd2d-4b47-9bc7-9192e0b46993>. Acesso em 18/06/2026.

ANACLETO, C., BEUREN, F. H., LOHN, V. M., CAMPOS, L. M. S., & MIGUEL, P. A. C. Ecoeficiência e produção mais limpa: uma análise das publicações em quatro periódicos brasileiros da Engenharia de Produção. **Sistemas & Gestão**, v. 7, n. 3, p. 476-489, 2012.

BELTRAME, Leocádia Terezinha Cordeiro. **Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento Natal**: Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. [s.n.], 2000.161p. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/server/api/core/bitstreams/ceed9026-48a0-4753-9691-687003dd4d92/content>. Acesso em 18/06/2026.

BEZERRA NETO, Francisco das Chagas . **Marketing social e sustentabilidade: Estratégias transformadoras na agroindústria do Semi-árido**, Programa de Pós-graduação em Mestrado em Administração 2025. 95 f. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/374096d2-0eee-45be-bdb3-cb0cec0b3abe/content>. Acesso em 20/206/2026.

BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR ISO 14001:2015**: Sistemas de gestão ambiental: requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. Disponível em: abntcatalogo.com.br. Acesso em: 20 jun. 2026.

CENCI, Sergio Agostinho, **Balanço de Massa e Métricas de Ecoeficiência Processamento mínimo de frutas e hortaliças: tecnologia, qualidade e sistemas de embalagem** Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2011.144 p. : il. color. ; 22 cm.ISBN 978-85-62158-04-9 Disponível em: <https://www.ctdr.ufpb.br/bsctdr/contents/documentos/livro-processamento-minimo.pdf>. Acesso em 18/06/2026.

COÊLHO, Ana Milena Macêdo. **Boas práticas de fabricação no processamento de polpa de frutas em uma agroindústria familiar da cidade de Quixaba-PB**. 2023. 79 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Sistemas Agroindustriais) - Centro . de Ciências e Tecnologias Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba, Brasil, 2023. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/40793>. Acesso em 18/06/2026.

DIAS, Fábio Martins. **Identificação, análise e validação das variáveis ESG essenciais com a proposição de uma estrutura teórico-prática única**. 2025. 142 f. Tese(Programa de Pós-Graduação de Mestrado e Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Nove de Julho, São Paulo. Disponível em: <https://bibliotecatede.uninove.br/handle/tede/3554>. Acesso em 18/06/2026.

FARIAS, Celso José. **Água virtual na atividade avícola no oeste paranaense**. 2023. 106f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Rural Sustentável) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2023. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/7011>. Acesso em 18/06/2026.

FERNANDES, Ana Catarina de Jesus. **Contribuição para a implementação de UM sistema de gestão ambiental pelo referencial NP em ISO 14001: 2015**: estudo desenvolvido em empresa de moldes em Aço-Ramo automóvel. Dissertação de Mestrado. Instituto Politecnico do Porto (Portugal). 2017. 24p. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/9d899eaf142b7d7c536d1d2bc63eb986/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>. Acesso em 18/06/2026.

FERREIRA, Ariana Silva, **Balanço hídrico do setor de lavagem de gases de combustão gerados em caldeira de biomassa** Dissertação (mestrado) - Universidade de Ribeirão Preto, UNAERP, Tecnologia Ambiental. Ribeirão Preto, 2018. 76 f.: il. color. Disponível em: <http://pergamum.unaerp.br:8080/pergamumweb/vinculos/000007/0000075b.pdf>. Acesso em 18/06/2026.

FIELD, A. Descobrimo a Estatística usando o SPSS. 2. ed. Porto Alegre: **Bookman**, 2009

FIELD, A.; Miles, J.; Field, Z. *Discovering statistics using R*. Sage Publications, 2012.

GALVÃO, Robson de Oliveira, 1982- **Composto orgânico como condicionador de solos arenosos e argilosos, cultivados com maracujazeiro amarelo** 2018.59 f.; 30 cm. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Rio Branco Disponível em: <https://www2.ufac.br/ppga/menu/dissertacoes/teses/2018/robson-galvao.pdf>. Acesso em 18/06/2026.

GONELLA, Jéssica dos Santos Leite. **Análise dos processos de negócios da gestão da cadeia de suprimentos de polpa de frutas a partir da relação entre agroindústria processadora e produtor rural familiar**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” 2018.179p. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/545bcc88-b3bf-4e56-ab1a-2ebcd49c3e3f/content>. Acesso em 18/06/2026.

JERONIMO, Carlos Enrique de Medeiros. **Gerenciamento de custos de resíduos em agroindústrias**. *Holos Environment*, v. 13, n. 1, p. 40-52, 2013. Disponível em: <https://holos.emnuvens.com.br/holos/article/view/5695/5382>. Acesso em 18/06/2026.

LEVY, Noel Massinhan; DE OLIVEIRA, F. J. A. 5. Balanço de massa e viabilidade ambiental: implantação de arranjo produtivo de biodiesel e ração animal em sistema cooperativo da agricultura familiar. **Dossiê de Pesquisa**, p. 63, 2012.

LOBÃO, Geovanna Santos Oliveira. **Percepção da segurança hídrica em municípios paraibanos: uma abordagem multimétodos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2025. 128 f. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/41137>. Acesso em 18/06/2026.

MAIA, Doralice Sátyro; DE ARAÚJO, Luciana Medeiros. NOTAS SOBRE A CIDADE E SOBRE O URBANO NO SEMIÁRIDO–CAJAZEIRAS E PATOS (PB). **DIÁLOGOS TEMÁTICOS E (TRANS) TERRITORIAIS**, ISBN: 9786589013051 p. 47.2021 292p.

MARCOLAN, João Antônio. **Análises de confiabilidade de dados e de testes de hipótese em experimentos comportamentais: desenvolvimento de ferramentas de apoio e estudos de caso**. Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina 2024. 149 p. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/263654/PEEL2206-T.pdf?sequence=1>. Acesso em 18/06/2026.

MATOS, Ana Carolina Martins. **Identificação da fragilidade ambiental potencial através de análise multicritérios e técnicas de geoprocessamento: município de Patos de Minas/MG**. 2020. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2020. Disponível em: <https://bdtd.uftm.edu.br/handle/tede/1012>. Acesso em 18/06/2026.

MATSUMURA, Erika Myho **Perspectivas para conservação e reúso de água na indústria de alimentos – estudo de uma unidade de processamento de frangos** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 2007.p. 249 Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-04072007-125053/publico/ErikaMatsumuraReuso.pdf>. Acesso em 18/06/2026.

MESQUITA LOPES, Manuela; BRANCO, Verônica Teixeira Franco Castelo; SOARES, Jorge Barbosa. Utilização dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação. **Transportes**, v. 21, n. 1, p. 59-66, 2013.

MORAES, Mateus Andrade. Da biomassa ao resíduo: aplicação dos princípios da economia circular na valorização de matérias-primas alternativas. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Energia da Faculdade de Engenharia e Ciências - Câmpus de Rosana, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 2025. 57p. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/d2724b3e-52c7-42eb-a125-0697ec5cb4da/content>. Acesso em 18/06/2026.

MORELLI, Marcela. **Impacto do tipo de dieta no valor de pegada hídrica, na eficiência de uso de nutrientes e no custo de produção de bovinos em confinamento**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/10/10135/tde-27022019-112343/publico/Marcela_Morelli_original.pdf. Acesso em 18/06/2026.

NASCIMENTO FILHO, Wilson B.; FRANCO, Carlos Ramon. Avaliação do potencial dos resíduos produzidos através do processamento agroindustrial no Brasil. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 1968-1987, 2015.

NOGUEIRA, Taciana Ciconelle. Aproveitamento de resíduos do processamento de frutas cítricas e ácidas: uma abordagem bibliográfica. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia 2025. 68 f., Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/46884>. Acesso em 18/06/2026.

OLIVEIRA, Francisco Fabrício Damião de. Análise das secas meteorológicas recentes do Estado da Paraíba utilizando o índice padronizado de precipitação e evapotranspiração (SPEI). 2023. 80 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2023. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/33231>. Acesso em 18/06/2026.

OLIVEIRA, Gabriela Vieira de. Aproveitamento de resíduos agroindustriais da indústria do café em cosméticos. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Químico. 2025. 84p. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/27500/1/Goliveira.pdf>. Acesso em 18/06/2026.

PARDINHO, Leandro de Sá. Aproveitamento de coprodutos de processo agroindustrial para a produção de composto orgânico. 2018. xv, 64 f. Dissertação (mestrado em Bioenergia) - Universidade Estadual de Maringá, 2018, Maringá, PR. Disponível em: Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/6178>. Acesso em: 22 fev. 2022.

PEREIRA, Ronildo Alcântara. Fatores determinantes e níveis de propensão á perda de solos e seus efeitos socioeconômicos e ambientais na bacia do Rio Serra Branca - PB. 179f. 2012. (Tese de Doutorado em Recursos Naturais), Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, Centro de Tecnologias e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande – Paraíba – Brasil, 2012. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/17009>. Acesso em 18/06/2026.

PEREIRA, Karla Elita Viegas. **Vulnerabilidade socioambiental, políticas públicas e o êxodo rural como fator contributivo do processo de expansão urbana de Patos–PB**. 2018. 90 f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Sistemas Agroindustriais) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais, Centro

de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba, Brasil, 2018. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/3182>. Acesso em 18/06/2026.

KIPERSTOK, Asher. Prevenção da poluição. Brasília: SENAI/DN, 2002. 290 p. ISBN 85-7519-071-7. Disponível em: https://www.fieb.org.br/wp-content/uploads/2023/09/48567_Livro_Prevencao_da_Poluicao.pdf. Acesso em 18/06/2026.

QUEIROZ, Maximiliano Bezerra de. **Influência do lançamento de despejos agroindustriais no tratamento de efluentes em estações do Alto Oeste Potiguar**. 2017. 59 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Sistemas Agroindustriais) - Programa de Pós-Graduação em Gestão e Sistemas Agroindustriais, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba, Brasil, 2017. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/44373>. Acesso em 18/06/2026.

RODRIGUES, Luana de O.. Influência dos eventos de El Niño e La Niña no regime de precipitação do Agreste de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 6, p. 1995-2009, 2017.

SANTANA, Natali Aparecida. **Distribuição potencial, conhecimento tradicional e caracterização de frutos e endocarpos de umbuzeiro (Spondias tuberosa Arr. Câm.) de Sergipe**. 2022. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Biodiversidade) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2022 Disponível em: <https://ri.ufs.br/handle/riufs/19513>. Acesso em 18/06/2026.

SANTOS JÚNIOR, Robério Satyro dos. **Gestão sustentável dos resíduos da agroindústria (Manihot esculenta) no semiárido sergipano sob o aspecto da economia circular**. 2025. 164 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) — Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2025. Disponível em: <https://ri.ufs.br/handle/riufs/24482>. Acesso em 18/06/2026.

SANTOS, Dyego da Costa (ORGANIZADORES). **Tecnologia e processamento de frutos e hortaliças** Natal: IFRN, 2015. 234 p.; il. Color. ISBN: 978-85-8333-122-3 Disponível em: <https://memoria.ifrn.edu.br/bitstream/handle/1044/363/Tecnologia%20e%20Processamento%20de%20Frutos%20e%20Hortalic%20as%20.pdf?sequence=1> acesso em 18/06/2026

SANTOS, Rivaldo Vital dos; VITAL, Adriana de Fátima Meira. **Temas de impactos ambientais em área do Rio Paraíba. Maceió - AL: TexGraf Editora, 2017. ISBN: 978-85-8001-218-7. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/29483> . Acesso em 18/06/2026.**

SANTOS, Paula Ferreira dos Serviços **Ecosistêmicos Hídricos na Mata Atlântica do Sudeste Brasileiro em Cenários de Conversão de Uso e Cobertura do Solo e de Mudanças Climáticas** Tese (doutorado) – UFRJ COPPE Programa Programa Planejamento Energético, 2019. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2019.XI, 124 p.: il.; 29,7 cm.

SANTOS, R. L.; SILVA, T. M. Indicadores de resíduos orgânicos e potencial lixiviante em solos tropicais. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 13, n. 1, p. 210-224, 2024.

SANTOS, K. A., COLTRI, P. P., GRECO, R., JÚNIOR, I. D. O., & DE SÃO JOSÉ, R. V. Políticas públicas no semiárido brasileiro: do combate à convivência com a seca. **Geo UERJ**, n. 42, p. e66666-e66666, 2023.

SILVA, Gilvan; DUTRA, Paulo Ricardo Santos; CADIMA, Ivan Marques. **Higiene na indústria de alimentos. Curso Técnico em Alimentos – Modalidade à Distância**. Recife: EDUFRPE, ISBN: 978-85-7946-068- 2010. 134 p.: il. Disponível em:

https://proedu.rnp.br/bitstream/handle/123456789/361/Higiene_Ind_Alim.pdf?sequence=1. Acesso em 18/06/2026.

SILVA, F. M., PEDROZA, M. M., OLIVEIRA, L. R. A. D., COLEN, A. G. N., & AMARAL, P. H. B. D.. Rotas tecnológicas empregadas no aproveitamento de resíduos da indústria da soja. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 8, n. 1, p. 326-363, 2019.

SILVA, José Irialdo Alves Oliveira; JACOBI, Pedro Roberto (organizadores). **Segurança hídrica: governança, ação e participação. Jundiá-SP: Paco**, 2025. ISBN: 978-85-462-2977-2. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/42463>. Acesso em 18/06/2026.

SILVA, Lucas Martins da; CHAGAS RIBEIRO, Alcimar das; RESENDE, Eder Dutra de. **Viabilidade econômica de uma indústria de polpa de frutas operando com linhas de processamento de resíduos**. 2024. 75p. Disponível em: https://pgpv.uenf.br/_files/ugd/aac873_7b09539e416f4ba18409371e199d88e1.pdf#page=87 Acesso em 18/06/2026.

SOARES, Alessandra Cristina de Lima. **Compostagem de resíduos de polpas de frutas : compostagem, uso na produção de mudas e disseminação de conhecimentos** Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologias Ambientais) – Instituto Federal de Alagoas, Campus Marechal Deodoro, Marechal Deodoro, AL. 2022. 75p Disponível em: <file:///C:/Users/patri/Downloads/COMPOSTAGEM%20DE%20RESIDUOS%20AGROINDUSTRIAIS%20-%20ALESSANDRA%20SOARES.pdf> acesso em 18/06/2026.

SOUZA, B. B., DA SILVA, M. R., DE MEDEIROS, F. F., FERNANDES, D. L., INÔ, C. F. A., & DE MEDEIROS, M. I. S.. Caracterização do perfil climático da microrregião de Patos-PB aplicada à produção e ao bem-estar animal. **Revista Científica Semiárido Acadêmico ISSN 3086-2566**, v. 1, 2025.

SOUSA, Ewerton Ferreira de. **Atributos físicos e químicos do solo de diferentes sistemas de manejo no semiárido paraibano**. 2019. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Centro de Ciências e Tecnologias Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba, Brasil, 2019. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/43231>. Acesso em 18/06/2026.

ZUGAIB, Antônio Cesar Costa. A bioeconomia circular como estratégia para agregação de valor à cacauicultura brasileira. In: **Agrotrópica** v. 35 n. 1 p. 21-52, 2023. 2023.