

# GESTÃO DE CONTAMINANTES NA FÁBRICA DE CELULOSE: ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS PARA REDUÇÃO DE SUJIDADE, UMA VISÃO ALÉM DO *PITCH*

Jônatas Carlos Pereira de Araujo<sup>1</sup>, Carlos Verciano Costa Santos<sup>1</sup>, Vinicius Azevedo de Medeiros<sup>1</sup>, Arnaldo Almeida Barroso<sup>1</sup>, Paulo José de Castro<sup>1</sup>, Yoni Armando Minchola Robles<sup>1</sup>, Ghustavo Henrique Fabris Petri<sup>1</sup>, Luiz Gustavo Proença<sup>1</sup>, Edson Helio Alves de Melo Filho<sup>1</sup>, Marcos Antonio Almeida Coelho<sup>1</sup>, Arthur Lima Marino<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Suzano, S.A. Brasil

## RESUMO

Na indústria de celulose a busca por processos mais sustentáveis e soluções inovadoras é essencial para garantir competitividade e alinhamento com as demandas globais. A exigência por produtos com baixa sujidade tem exigido gestão eficiente dos insumos no processo produtivo e olhar atento para o controle de contaminantes no produto acabado, garantindo, assim, maior qualidade e estabilidade operacional. O presente artigo aborda os desafios e soluções adotados na Suzano, Unidade Imperatriz, estado do Maranhão, para a mitigação da sujidade na fábrica de celulose, considerando não apenas o *pitch*, mas também outros contaminantes, como oxalato, pintas pretas provenientes da evaporação, pintas pretas provenientes de fungo, além de maior eficiência operacional e a qualidade do produto final. A substituição do talco por polímeros no tratamento de *pitch* representou um avanço significativo na unidade industrial, embora tenha sido um desafio devido à eficácia superior do talco no controle de deposições. A eliminação do talco ocorreu em duas etapas, sendo um pré-requisito para a implementação do conceito *talco free* na unidade da Suzano-Imperatriz. Durante os testes, a correta distribuição da carga química, o balanceamento entre dosagem em polpa marrom e branqueada e a compatibilidade com outros insumos do processo foram fatores determinantes para evitar depósitos indesejados oriundos de mistura de insumos químicos. Além disso, estratégias complementares para controle de oxalato e pintas pretas foram desenvolvidas, considerando ajustes operacionais, otimização de dosagens químicas e monitoramento contínuo da formação desses contaminantes ao longo do processo. Os resultados demonstraram que, embora a substituição do talco por polímeros não tenha gerado ganhos financeiros imediatos, a iniciativa trouxe benefícios importantes, como equipamentos mais limpos, pois foi observado redução de obstrução dos furos das prensas, possibilitando menor impacto na capacidade de lavagem das prensas, além de redução do risco de deposição nos circuitos de branqueamento e secagem. Esse estudo reforça a importância da inovação na gestão de sujidade como um fa-

tor essencial para a sustentabilidade da produção de celulose, ao integrar novas abordagens para o controle de contaminantes, a indústria avança na construção de um processo produtivo mais eficiente e alinhado às exigências ambientais e de qualidade do mercado de celulose global.

**Palavras-chave:** *Pitch*, polímero, *pitch coloidal*, sujidade, produto acabado.

## INTRODUÇÃO

Na indústria de celulose, a qualidade da celulose produzida é um dos principais fatores requeridos pelos clientes, diversos itens de qualidade fazem parte da especificação dos clientes para o produto final, dentre eles, sujidade, seja por *pitch*, materiais inorgânicos, metal, shives, pinta preta por carvão etc., além de teor de areia, viscosidade e propriedades de resistência, como, por exemplo, índice de tração.

Segundo Manji *et al.* (2005), “em função das rigorosas regulamentações e da necessidade de conservação da água, praticamente todas as fábricas de celulose têm fechado seus circuitos de água branca ou estão caminhando nesse sentido”. Este tipo de necessidade tem acarretado o aumento de *carry over* no processo e tem dificultado e aumentado os desafios para manter os índices de sujidade dentro das especificações. O que é mencionado por Manji *et al.* (2005), “com o fechamento do circuito de água branca, novos problemas têm surgido: sujeira (areia, plástico, carvão etc.) e *pitch*, os quais são reciclados em vez de lançados para o efluente”. E Barbosa *et al.* (2005) ressalta que “corroborar com esta tendência devido à escassez de água; as indústrias de papel e celulose tendem a reduzir o consumo de água e implantando circuitos fechados”.

O controle de contaminantes tem sido historicamente focado no *pitch*, devido ao seu potencial de causar depósitos em equipamentos, prejudicar a eficiência operacional e impactar a qualidade da celulose. No entanto, diante de exigências cada vez maiores por estabilidade do processo e por um produto final com baixa sujidade, tem se tornado necessário adotar uma abordagem mais

ampla, que vá além do *pitch* e inclua outros elementos críticos, diante deste cenário, o presente trabalho pretende abordar as experiências industriais da Unidade Imperatriz com o item sujidade, porém, restringindo o estudo em quatro desses contaminantes, pinta preta, proveniente da madeira; pinta preta do sistema de evaporação; oxalato/carbonato, e *pitch*.

A qualidade do material genético tem fator primordial, para garantir a entrega no processo produtivo de produtos com qualidade de excelência, principalmente nos quesitos de resistência físico-mecânicas e sujidade por *pitch*, além disto, tem sido observado recentemente outros impactos provenientes da madeira que causam sérias dificuldades de controle na parte industrial e que têm gerado transtornos no controle de qualidade do produto final, como, por exemplo, o aparecimento de sujidade causadas por madeira com proliferação de estromas negros do fungo *Hypoxylon* spp.

Mafia *et al.* (2003) relata que “as camadas apodrecidas devem contribuir para o aparecimento de pontuações negras na polpa celulósica, além dos estromas negros que aparentemente não são dissolvidos por completo pelos produtos químicos utilizados nos processos de cozimento e branqueamento”. “A ocorrência em toras de *Eucalyptus* spp. está associada a condições de alta umidade (Mafia *et al.*, 2003)”. Além desse parâmetro, cita ainda que “é possível inferir que em regiões com predominância de temperaturas mais elevadas, principalmente em épocas de maior umidade relativa do ar, os problemas possam ser agravados. Não obstante a isto, o tempo recomendado de pós-corte não deve exceder a dois meses, para evitar esse tipo de proliferação por este fungo”.

Leite *et al.* (2018), mostrou que “a sujidade encontrada no produto acabado é causada pelo fungo *Hypoxylon* spp. presente no eucalipto. Isso foi concluído com base nas análises das características dos fungos presentes na madeira e do depósito no produto acabado, bem como a relação entre presença de toras contaminadas no pátio de abastecimento da fábrica e ocorrência de desclassificação”.

Quanto à recente observação da presença de sujidade por pintas pretas no produto acabado, essas podem ser oriunda de outra etapa do próprio processo produtivo, com por exemplo via condensado do sistema de evaporação do licor preto da fábrica. Este tipo de contaminante também é proveniente da madeira, uma vez que normalmente são caracterizados como partículas compostas por *pitch* e lignina. A formação deste tipo de partículas ainda carece de bons estudos para chegar em conclusões definitivas. Meyer *et al.* (2024), relatou “sérios problemas com partículas pretas (pintas pretas) aparecendo na polpa lavada oriunda do condensado da evaporação”. Menciona também “que não se sabe como esses depósitos são formados e quais parâmetros operacionais podem influenciar sua formação, pois ainda não são bem compreendidos. A caracterização química desses depósitos é difícil, pois eles são pouco solúveis em água e em solventes orgânicos. Embora não haja literatura publicada sobre como os depósitos se formam em sistemas de *stripping*”.

Quanto a controles para evitar formação de oxalato, já é bastante conhecido que as melhores alternativas estão relacionadas a redu-

ção de pH, principalmente no primeiro estágio de branqueamento com dióxido e ácido. Contudo, em momentos com dificuldades operacionais, com alto teor de casca, madeira rica em cálcio, associado a problemas de alto teor de sólidos suspensos no licor branco, podem favorecer formação de oxalato. Zolio (2000) comenta que “depósitos de oxalato de cálcio são muito duros, levemente amarelados e difíceis de remover, uma vez depositados sobre uma superfície”. Segundo Haara *et al.* (2011) “o oxalato de cálcio é um dos principais responsáveis pela incrustação inorgânica nos processos de polpação e fabricação de papel. Essa incrustação dura causa sérios problemas operacionais relacionados à qualidade”.

O grande desafio no controle de oxalato está no fato de que o cálcio entra naturalmente no processo oriundo da madeira e do licor branco, além disso, a formação de ácido oxálico faz parte das reações de remoção do ácido hexenurônicos no estágio Dhot. Isto foi comentado por Rudie e Hart (2006): “a maior parte do cálcio que chega à planta de branqueamento entra na fábrica junto com a madeira. O cálcio precipita como carbonato de cálcio no digestor e é transportado até a planta de branqueamento. Em seguida, o cálcio se dissolve quando o pH cai abaixo de sete. Uma vez em solução, ele pode reagir com o ácido oxálico para formar oxalato de cálcio. O ácido oxálico está presente naturalmente na madeira e se forma também durante o processo de polpação”. A Unidade Imperatriz passou por um momento como este que proporcionou uma formação de oxalato e carbonato que poderia ter comprometido o sistema de qualidade do produto final. No entanto, medidas foram adotadas para contornar tal situação.

Por fim, tratando do problema de *pitch*, nos últimos anos, observou-se uma evolução significativa nas estratégias de controle deste contaminante do produto acabado. O uso tradicional do talco para controle de *pitch*, com sua reconhecida eficiência como adsorvente, passou a ser questionado por fatores regulatórios e de saúde para a humanidade, devido à presença de asbestos neste químico, porém, isso foi desencadeado pelas diversas ações que a Johnson & Johnson sofreu nos Estados Unidos, como noticiado em diversos meios de comunicação, como no jornal *Valor Econômico* (2022). Esse cenário abriu espaço para o uso de polímeros, que exigem uma abordagem diferente, focada não apenas na remoção do *pitch*, mas em um entendimento das interações químicas entre os diversos insumos utilizados para esta finalidade.

Entretanto, a substituição do talco, com sua efetiva eficiência de tratamento para *pitch*, por outro químico para esta finalidade, como os polímeros, requer muito cuidado e mapeamento adequado do processo, visto que *pitch* é um dos maiores vilões para sujidade nas fábricas, como cita Barbosa *et al.* (2005): “a formação de *pitch* e de outras incrustações é responsável por redução de produção, alta no custo de manutenção e operação dos equipamentos, além de aumento incidente de imperfeições no produto final, acarretando queda de qualidade”. Diante disso, torna-se um desafio fazer uma substituição adequada entre os químicos.

Não obstante, a aplicação de outros químicos no processo para os mais diversos controles, sejam geração de espuma, auxiliar de

drenagem, anti-incrustante para carbonato, sejam outros, podem proporcionar deposições pegajosas que correm o risco de ser associadas como *pitch*, não sendo necessariamente um *pitch* proveniente de extrativos da madeira. Conforme Meirelis [s.d], “o uso de aditivos na indústria de papel e celulose é de uso comum tanto na melhoria da qualidade final da polpa como para controle de incrustações, mas o seu uso de maneira inadequada pode gerar mais problemas para o processo, em vez de melhorá-lo”. Os pontos de aplicação desta gama de insumos devem fazer parte da estratégia de controle de contaminantes em uma fábrica de celulose.

Na Unidade Imperatriz da Suzano, a substituição do talco por polímeros foi conduzida em duas etapas, respeitando os limites técnicos do processo e as características específicas da planta. Mais do que trocar um insumo por outro, foi necessário rever dosagens, pontos de aplicação e compatibilidades com outros químicos, sempre com foco na performance e na segurança operacional. Paralelamente ao controle de *pitch*, outras frentes também foram trabalhadas, envolvendo ajustes operacionais e monitoramento contínuo para controle de outros contribuintes de contaminação por sujidade já citados, oxalato e pintas pretas, buscando uma gestão integrada da sujidade ao longo da linha de fibra.

Este trabalho compartilha os principais aprendizados dessa jornada, destacando os desafios enfrentados, as soluções adotadas e os resultados obtidos com a estratégia de controle de contaminantes. Mais do que uma substituição de insumo, trata-se de uma mudança de paradigma na forma como a sujidade é enfrentada, com reflexos positivos na estabilidade do processo, na qualidade do produto e no compromisso com a sustentabilidade.

## MÉTODOS

A substituição do talco por um polímero *antipitch* foi conduzida em escala industrial na Unidade Imperatriz, como parte de uma avaliação técnica do desempenho do novo agente no controle de sujidade. Para garantir a comparabilidade dos dados, foram utilizados registros históricos da fábrica como um período de referência, especialmente em períodos com estabilidade operacional. Os dados para efeito comparativo foram ex-

traídos do PI System com frequência de uma vez dia, e retirado períodos de distúrbios para evitar conclusões inadequadas.

### 1. Caracterização e identificação da sujidade

Para a caracterização da sujidade inorgânica e amostras de deposição do processo, algumas amostras foram analisadas por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado OES-710 (ICP), permitindo a detecção de metais traço com alta sensibilidade. Os resultados foram confrontados com bancos de dados internos e literatura técnica, para caracterização de metais.

Análises qualitativas adicionais foram conduzidas por meio de comparação com padrões históricos da planta e informações técnico-científicas disponíveis, visando à identificação dos diferentes tipos de sujidade observados ao longo do processo.

As amostras de depósitos coletados durante o período de avaliação foram submetidas à caracterização por espectroscopia no infravermelho, utilizando espectrômetro Cary 660 da Agilent, com varredura na faixa de 4000 a 500  $\text{cm}^{-1}$ . Essa análise visou identificar grupos funcionais presentes nos contaminantes e estabelecer comparativos com depósitos previamente caracterizados. As análises de sujidade no produto acabado foram realizadas conforme norma “ISO 5350 – Pastas celulósicas – Estimativa de sujidade e estilhas – Parte 2: Inspeção por luz transmitida de pasta celulósica produzida em folhas”, sendo a sujidade reportada em  $\text{mm}^2/\text{kg}$ .

A quantificação de *pitch* coloidal foi realizada com auxílio de microscopia óptica, utilizando microscópio Leica com lente objetiva com aumento de 1000x, com metodologia adaptada internamente.

### 2. Dispositivo para avaliação de deposição no processo produtivo

Para melhor controle de deposições no processo e avaliar o novo polímero *antipitch*, antes de efetiva substituição no processo produtivo, foi criado o dispositivo para avaliação de incrustações e potencial de formação de incrustação no processo de produção de celulose (Figura 1).



Figura 1. Dispositivo para avaliação de deposição no processo produtivo

O dispositivo consiste em dois conjuntos de tanques, cada um equipado com um motor acoplado, no motor temos uma haste com três hélices de materiais diferentes. Podendo ser as hélices de aço inox, PVC, fibra de vidro, teflon, ou outro material de equipamentos da fábrica de celulose. Este sistema permite a agitação do conteúdo dos tanques, acelerando a formação de incrustações. O objetivo é comparar a formação de incrustações em dois ambientes diferentes: um com filtrado do processo com vazão de 20 L/min e, outro, com filtrado tratado com um químico (*antipitch*). Esta comparação permitiu validar a eficácia do químico antes de sua aplicação no processo de produção. O dispositivo dispõe também de uma bomba dosadora para aplicar o químico a ser testado em um dos dois tanques.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A gestão da sujidade na fábrica de celulose é um desafio que contempla vários fatores e que exige atuação conjunta em diversas frentes do processo. Os resultados obtidos na Unidade Imperatriz ao longo da substituição do talco por polímeros e da implementação de estratégias integradas de controle permitiram uma visão mais clara sobre o comportamento dos principais contaminantes abordados neste estudo: *pitch*, oxalato, pinta preta oriunda da madeira e da evaporação. As análises laboratoriais, o monitoramento de processo e a correlação com eventos operacionais mostraram que a sujidade pode ter origens distintas, mas que seus efeitos se acumulam ao longo da linha de fibra. A discussão a seguir detalha os impactos observados com cada tipo de sujidade, os ajustes realizados, bem como os aprendizados adquiridos com a implementação das novas abordagens químicas e operacionais.

Outro fator fundamental para o sucesso no controle de contaminantes na Unidade Imperatriz é a atuação coordenada de um time multidisciplinar. Todos os desafios relacionados à sujidade são abordados de forma integrada, envolvendo as áreas

diretamente ligadas ao processo, como qualidade, engenharia de processo, pátio de madeira, linha de fibras, a secagem e a recuperação química. Essa colaboração ampla e perene possibilita uma resposta mais eficaz e abrangente aos problemas, garantindo o monitoramento constante e a implementação ágil de soluções.

### 1. Contaminante: Pinta preta da madeira

O surgimento de pintas pretas no processo produtivo gerou grandes dificuldades na identificação da causa raiz do problema. Até que se chegasse ao diagnóstico correto, milhares de toneladas de celulose foram desclassificadas. Com a compreensão da origem do fenômeno, foi necessário criar uma classificação para as toras de madeiras com fungo, para melhor cadenciar o planejamento de sua entrada no processo. Um ponto importante para a Unidade Imperatriz é que existe uma sazonalidade bem definida para o clima, chovendo de novembro até maio e tendo um período de estiagem de junho a novembro. O aparecimento das pintas pretas ocorre principalmente nos períodos de sazonalidade de chuvas, se estendendo até os meses iniciais de estiagem.

A principal causa para o aparecimento das pintas pretas provenientes de fungo *Hypoxyylon spp.* oriundo da madeira é o tempo pós-corte. Na Unidade Imperatriz, quanto maior o tempo pós-corte, maior a formação de pinta preta na madeira e conseqüentemente maior o teor de sujidade no produto acabado. Sabendo disso e com o advento dos períodos com chuva, foi desenvolvido uma metodologia qualitativa, visual, para definir o nível de contaminação da madeira com fungo. A madeira classificada como Nível 1 é considerada apta para consumo sem restrições, por não apresentar sinais significativos de colonização. O Nível 2 (**Figura 2, B**) corresponde ao nível de aparecimento de fungo branco na madeira. Para o Nível 3 (**Figura 2, C**) já é possível observar colonização mais avançada de fungo preto aparecendo nas faces e laterais da madeira.

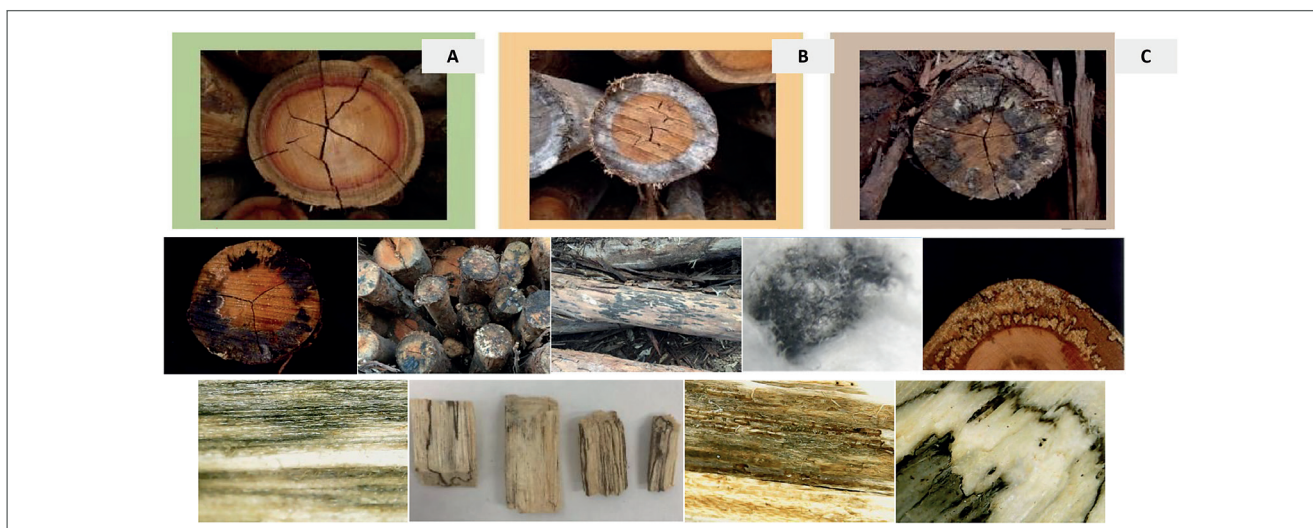


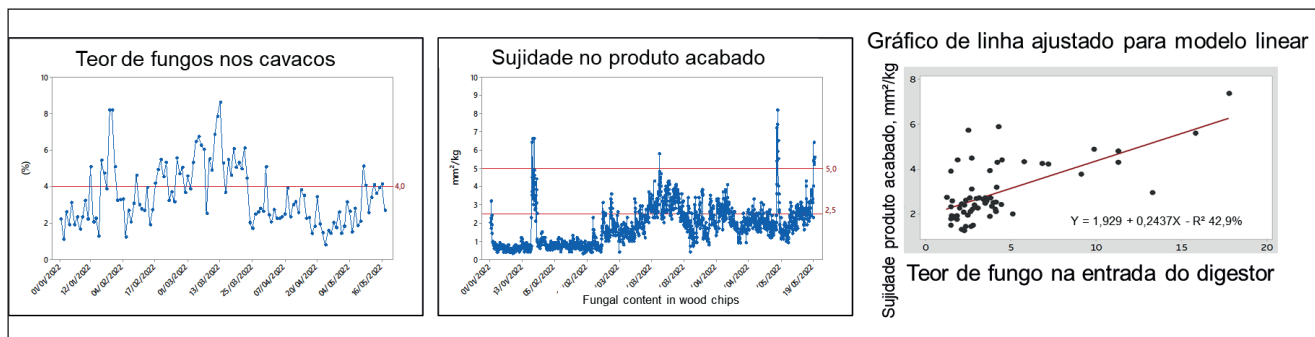
Figura 2. madeira contaminada por fungo *Hypoxyylon spp.*

Com base nessa classificação, foram estabelecidos limites operacionais para a entrada desse tipo de madeira na fábrica: admite-se até 45% de madeira classificada como Nível 2 e até 15% de madeira com Nível 3 em um mesmo dia de abastecimento de madeira, porém garantindo o cadenciamento para evitar acúmulo em períodos curtos de entrada de madeira, principalmente do Nível 3. Essa gestão visa minimizar os impactos da matéria-prima contaminada sobre a qualidade do produto acabado e garantir maior previsibilidade no controle da sujidade ao longo do processo produtivo.

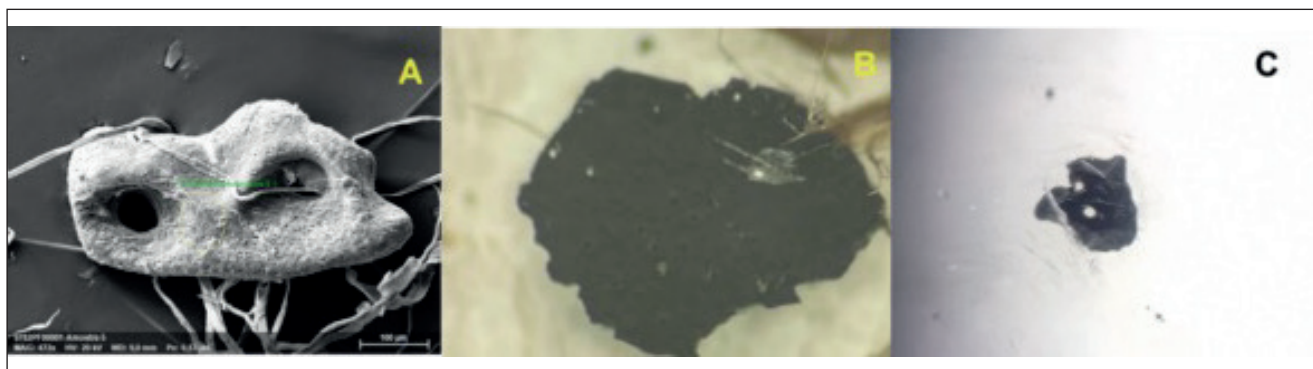
Todos os anos, um time multidisciplinar vai a campo para fazer a classificação de praticamente 100% das unidades de manejo que abastecem a Unidade Imperatriz, apesar de ser dispendioso, isso é necessário para garantir a qualidade do produto acabado. Além disso, com o objetivo de reforçar o controle da presença de fungos na alimentação do digestor, foi elaborada e implementada uma rotina de análise realizada uma vez no turno para monitoramento do teor de fungo nos cavacos. Essa avaliação é realizada por meio da relação entre a massa de cavacos contaminados com fungo *Hypoxylon spp.* e a massa total da amostra analisada. O histórico de aprendizado com esse desafio operacional demonstrou que teores de fungo nos cavacos de até 4,0% são considerados seguros, garantindo que os níveis de sujidade no produto acabado permaneçam dentro dos limites aceitáveis. Como observado na **Figura 3**, é possível notar uma alta correlação entre aumento de fungo nos cavacos e aumento de sujidade no produto acabado.

Outro fator importante para caracterização do fungo no produto acabado foi a diferenciação entre sujidade por pinta preta proveniente de fungo e sujidade proveniente de outras fontes do processo. Observou-se que as sujidades, classificadas como pintas pretas provenientes de madeira contaminada por fungo, apresentam estromas característicos do fungo *Hypoxylon spp.* A presença de contorno e abertura central circulares nas partículas de sujidade facilita a identificação e diferenciação desse tipo de sujidade em relação a outros contaminantes do processo. Essa característica visual tem se mostrado um critério confiável para a distinção entre fontes de origem biológica da madeira e depósitos formados em etapas industriais. Na **Figura 4A**, é apresentada uma imagem obtida por microscopia eletrônica de varredura (MEV), evidenciando a estrutura superficial típica desse tipo de contaminante. Já nas **figuras 4B e 4C**, são mostradas pintas pretas com estromas bem definidos do fungo *Hypoxylon spp.*, realizado por estereoscópio com aproximação de dez vezes.

Um ponto que chama a atenção nesse tipo de sujidade é sua resistência ao processo industrial, mesmo após passar pelo digestor, onde a madeira é submetida a altas temperaturas e ambiente extremamente alcalinos, e pelas etapas de branqueamento, que envolvem o uso de agentes oxidantes. Nos cenários de crise se chegou a elevar as cargas de químicos do branqueamento, para tentar ou até mesmo eliminar as pintas de fungo do processo. No entanto, ainda assim, os estromas do fungo *Hypoxylon spp.* permaneceram íntegros, sem alterar os valores finais de sujidade do produto acabado,



**Figura 3.** Teor de fungo nos cavacos e sujidade no produto acabado



**Figura 4.** Sujidade por pinta preta no produto acabado

indicando que esse contaminante possui estrutura altamente resistente à ação química e térmica dos processos de fabricação de celulose. Essa característica incomum reforça a dificuldade de eliminação dessa contaminação apenas por tratamento químico convencional, exigindo controle rigoroso da matéria-prima para mitigar sua presença nas folhas de celulose.

## 2. Contaminante: Pinta preta evaporação

Além das sujidades associadas à madeira contaminada por fungo, outro tipo de pinta preta que tem causado impacto direto na qualidade das folhas de celulose do produto é **aquela relacionada a pintas pretas** provenientes pelo uso de condensado do sistema de evaporação. Esse tipo de sujidade, apesar de também ter origem na madeira, manifesta-se em momentos específicos da operação, e sua ocorrência não está relacionada à deposição em equipamentos na linha de fibras, mas, sim, à presença visual de fragmentos escuros nas folhinhas de controle ao longo do processo; esses tipos de contaminantes chegam a provocar momentos de crise no controle do processo de qualidade.

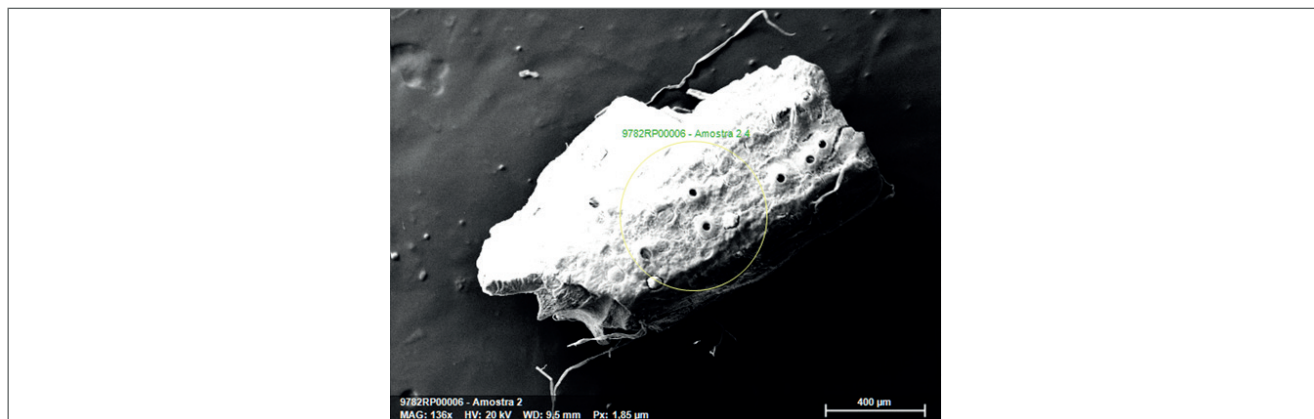
Ao longo dos anos, a Unidade Imperatriz vem aumentando de modo gradual sua produção. Originalmente projetada para uma capacidade de 1,5 milhão de toneladas secas ao ar por ano, a planta passou por um projeto de aumento de capacidade, que

adicionou 150 mil toneladas à capacidade anual. Atualmente, a produção está estabilizada em aproximadamente 1,74 milhão de toneladas secas ao ar por ano.

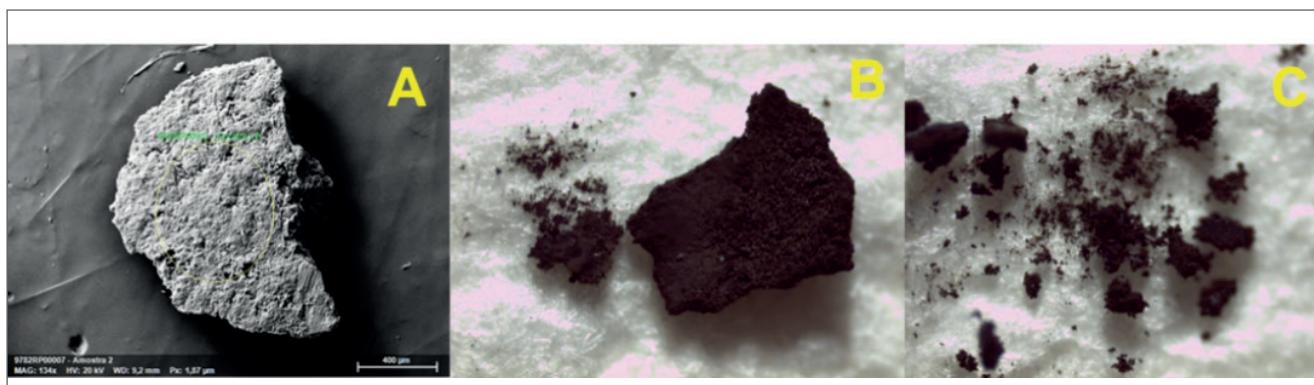
Há indícios de que a própria presença do fungo no sistema, ao ser carregado para a evaporação, possa ir se acumulando e entrando em recirculação dentro do processo. Parte desse contaminante pode retornar por meio do condensado, alimentando um ciclo fechado que vai saturando o sistema aos poucos e contribuindo para o aumento da sujidade na folha de celulose do produto final.

Na **Figura 5**, observa-se uma partícula de pinta preta analisada por MEV, encontrada no condensado que alimenta a última prensa de lavagem antes do branqueamento. A análise indica que se trata de material proveniente de fungo da madeira, evidenciado pela presença dos estromas na superfície da partícula, confirmando, portanto, essa possibilidade de recirculação e saturação do processo por pinta preta de fungo.

A **Figura 6** retrata uma amostra de sujidade encontrada no produto acabado, na **Figura 6A** é possível ver a sujidade por avaliação no MEV, na **Figura 6B** a visão por estereoscópio, com aumento de dez vezes, na **Figura 6C** está mesma amostra da **Figura 6B** após manipulação com dispositivo pontiagudo. A sujidade da pinta preta da evaporação se diferencia da sujidade por fungo, pois não apresenta presença de estromas e, após manipulação, a mesma é totalmente fragmentada.



**Figura 5.** Pinta preta encontrada no condensado A com características de fungo



**Figura 6.** Sujidade no produto acabado de pinta preta da evaporação

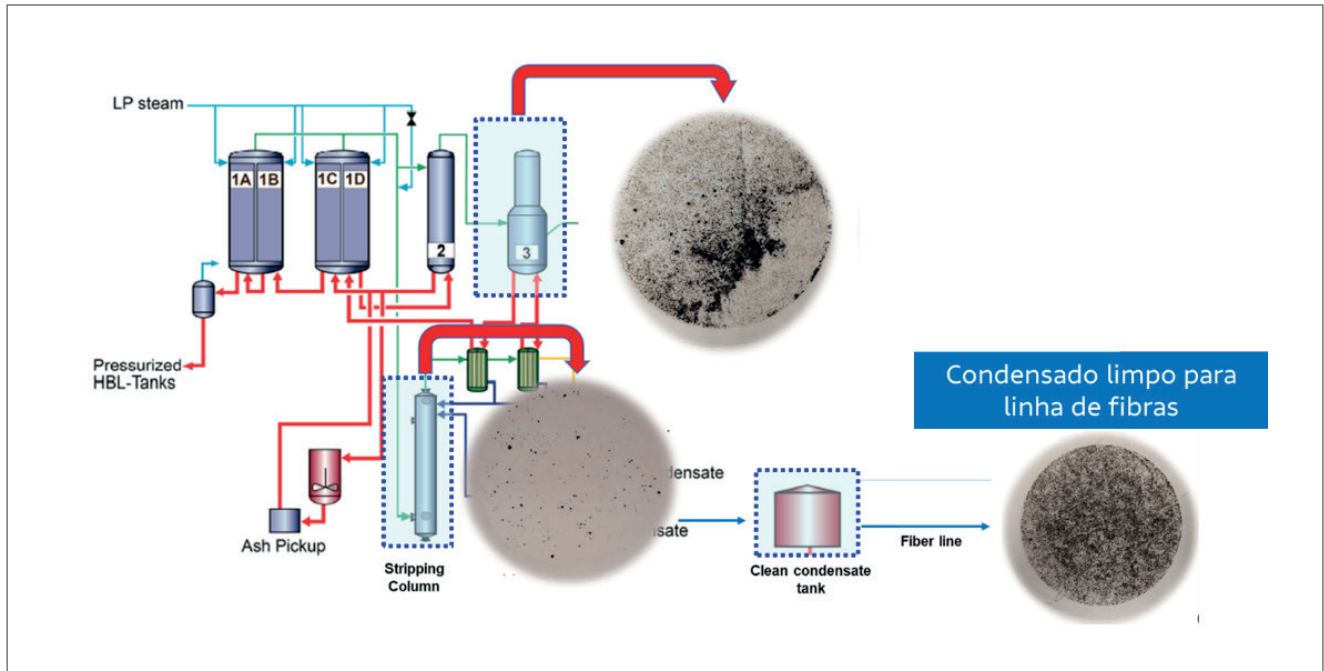


Figura 7. Pinta preta gerada na evaporação

Durante os aprendizados observou-se que parte significativa das partículas de pinta preta associadas ao processo são oriundas do sistema de evaporação, com destaque para a coluna de *stripper* e o terceiro efeito – Figura 7. Nesses pontos, a combinação de temperatura, presença de compostos orgânicos voláteis, mais especificamente extrativos combinados com lignina e condições específicas de aumento de pressão dos *demister* favorecem a formação dessas partículas escuras. Como consequência, o condensado gerado na evaporação, que é destinado à linha de fibras, passa a apresentar um nível de contaminação que compromete o uso do volume total disponível, sendo necessário, em alguns casos, até mesmo reduzir a vazão para o branqueamento.

Uma das causas identificadas para o agravamento da formação de pinta preta na evaporação está relacionada ao arraste de fibras para o sistema de evaporação. Esse aumento do teor de fibras, acima da especificação de projeto, está associado à

limitação de capacidade das prensas da área marrom, que não têm conseguido operar dentro dos parâmetros previstos, o que resulta em maior perda de fibras para a evaporação. Embora os filtros de licor preto apresentem eficiência de remoção próxima a 90%, o volume excedente de fibras sobrecarrega o sistema, contribuindo para o entupimento dos *demisters*, coluna de *stripper* e do terceiro efeito. Como consequência, compostos indesejados acabam sendo arrastados junto ao condensado, aumentando a carga de pinta preta que retorna ao processo.

Na Figura 8 é possível observar acúmulo de fibras em ponto crítico do sistema de evaporação, evidenciando essa falha operacional e seu impacto direto na formação de contaminantes para linha de fibra. Na Figura 9 é possível observar o aumento de produção da evaporação ao longo do tempo *versus* aumento do teor de fibras da linha de fibras para evaporação e, consequentemente, aumento de sujeira no produto acabado.

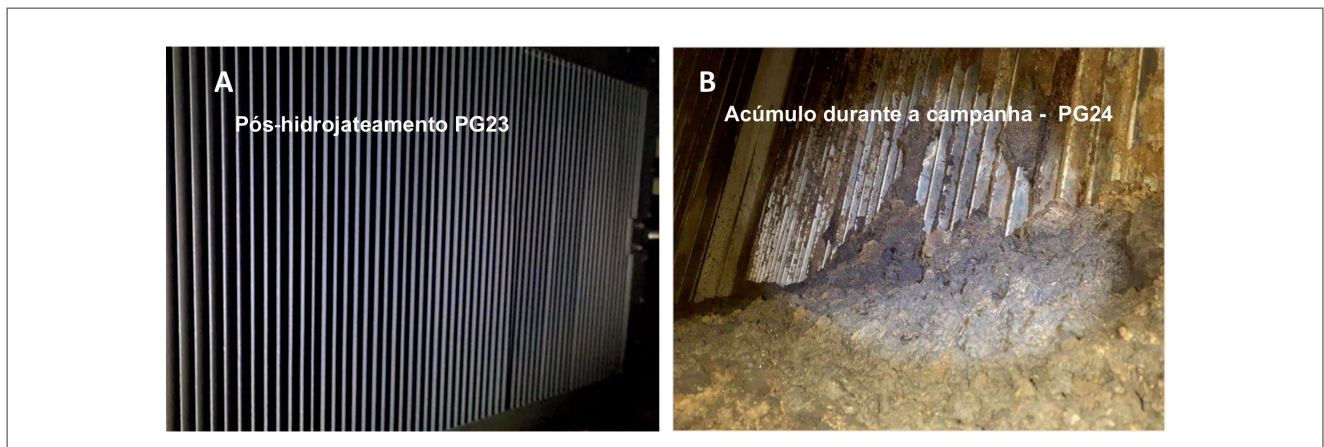


Figura 8. Fibras acumuladas no demister

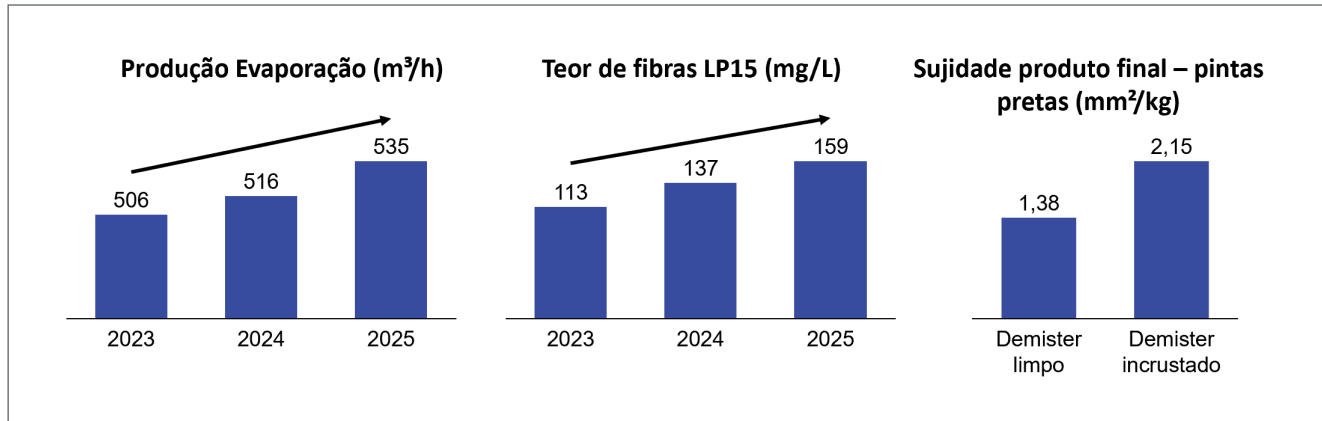


Figura 9. Evolução de produção da evaporação versus aumento de perda de fibras

Com o objetivo de melhorar o monitoramento e controle da sujidade proveniente da evaporação, especialmente no condensado que é enviado para linha de fibras. A área de qualidade da Unidade Imperatriz desenvolveu internamente um aplicativo específico para quantificação da área das partículas presentes nesse fluxo, **Figura 10A** e **Figura 10B**, em **Figura 10C** é possível observar a correlação entre teor de sujidade no condensado e sujidade na celulose no produto acabado.

A ferramenta utiliza código em linguagem Python, com processamento de imagem digital, permitindo mensurar com precisão a área ocupada pelas partículas escuras nas amostras analisadas. Essa inovação tornou possível estabelecer uma rotina de análise mais confiável e padronizada, contribuindo para a

tomada de decisões mais assertivas sobre o uso do condensado na linha de fibras.

Uma análise preliminar da amostra de sujidade de pinta preta da evaporação por espectroscopia no infravermelho, **Figura 11**, revelou uma banda de absorção larga em  $3452\text{ cm}^{-1}$ , **atribuída ao estiramento da ligação O-H**, além de bandas entre  $2800$  e  $3000\text{ cm}^{-1}$ , **características dos estiramentos C-H de cadeias alifáticas**, indicando a presença de compostos orgânicos compatíveis com *pitch*, além de bandas espectrais na região entre  $1000$  e  $1500\text{ cm}^{-1}$ , que são características de *pitch* e lignina. Também foram observadas bandas em  $1460\text{ cm}^{-1}$  e  $870\text{ cm}^{-1}$ , **típicas de carbonato de cálcio, confirmando a mistura de composição orgânica e inorgânica da amostra.**

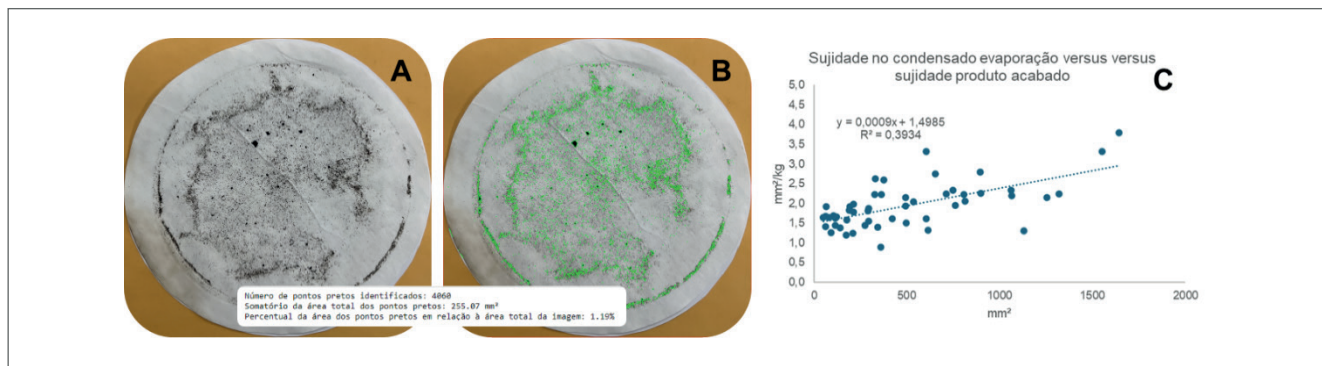


Figura 10. Método desenvolvido para medição de pinta preta no condensado

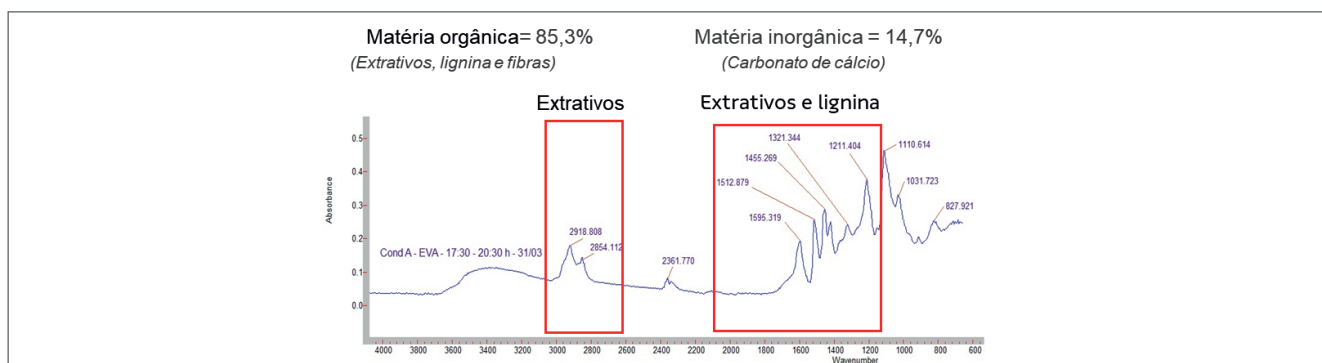


Figura 11. Espectro no FTIR de pinta preta da evaporação

Por fim, como alternativa para mitigar ainda mais o impacto do condensado limpo enviado para a linha de fibras, foi instalado um sistema de filtração com cartuchos, visando a remoção das partículas contaminantes. No entanto, apenas cerca de 50% do volume total de condensado consumido na linha de fibras passa por esse sistema de purificação, o que limita a eficácia plena desta alternativa.

**3. Contaminante: Oxalato e carbonato**

A formação de depósitos de oxalato de cálcio e carbonato de cálcio, que muitas vezes se confundem na classificação no produto acabado, é um dos desafios mais recorrentes nas fábricas de celulose, principalmente em plantas com altos níveis de recirculação de água e carga de cálcio livre no sistema. Na Unidade de Imperatriz, esse problema tem se manifestado de forma significativa em determinados períodos, especialmente quando ocorrem variações no pH do processo e aumento na concentração de íons cálcio livres, ou ocorrência de aumento de sólidos suspensos no licor branco, favorecendo a formação de oxalato de cálcio no branqueamento. Esses depósitos são difíceis de remover e podem comprometer trocadores de calor, tubulações, peneiras, equipamentos do branqueamento e até interferir na qualidade do produto final. A origem do oxalato pode estar tanto na madeira quanto na própria reação química do processo de branqueamento, sendo agravada em momentos

de instabilidade na caustificação. Diante desse cenário, diversas ações têm sido adotadas na planta para mitigar a formação desses depósitos e manter os níveis de sujeira sob controle.

A Unidade de Imperatriz enfrentou, ao longo do segundo semestre do ano de 2022, um período crítico marcado por problemas operacionais que contribuíram diretamente para a intensificação da formação de oxalato no processo. Entre os principais eventos, destacam-se furos nas telas dos filtros de licor branco e verde, que resultaram no carreamento de uma carga significativa de sólidos suspensos para o sistema (Figura 12A). Em paralelo, houve um aumento expressivo na entrada de madeira com alto teor de casca (Figura 12B), contribuindo para o aporte de cálcio livre no processo, que infelizmente ocorreu no mesmo período. Essa combinação de fatores dificultou o controle do pH no estágio Dhot do branqueamento (Figura 12C), criando as condições ideais para a formação de oxalato de cálcio.

Como consequência, observou-se uma formação acentuada de depósitos principalmente na primeira prensa do branqueamento, Figura 13A, nos resfriadores de efluente ácidos (Figura 13B) e nos tanques de filtrado. Análise via FTIR apresentou bandas espectrais características de oxalato nessas amostras (Figura 13C) – esta geração de oxalato impactou diretamente a estabilidade do processo e a qualidade da celulose produzida, sendo mais um contribuinte para aumento de sujeira da celulose do produto acabado.

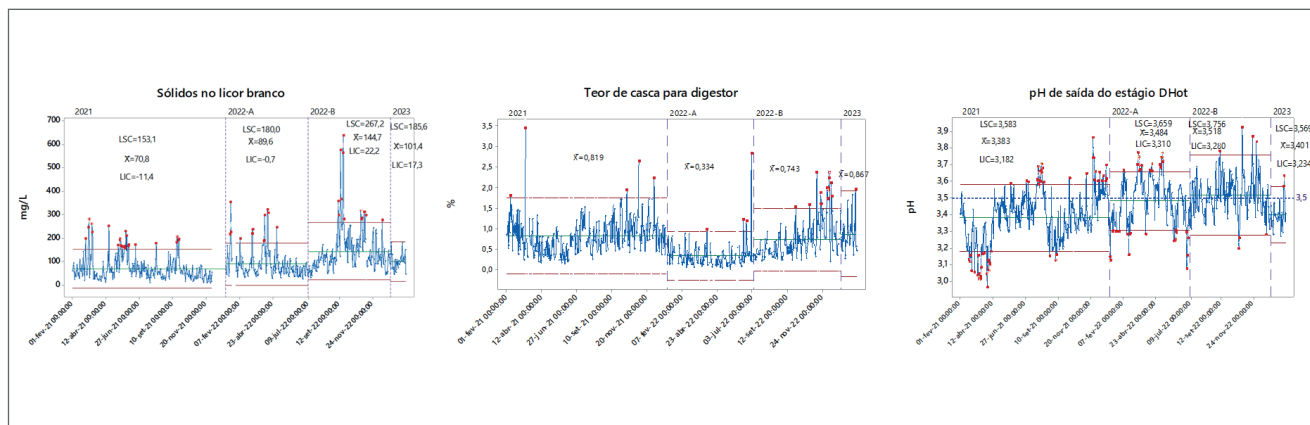


Figura 12. Condições operacionais associadas à intensificação da formação de oxalato de cálcio

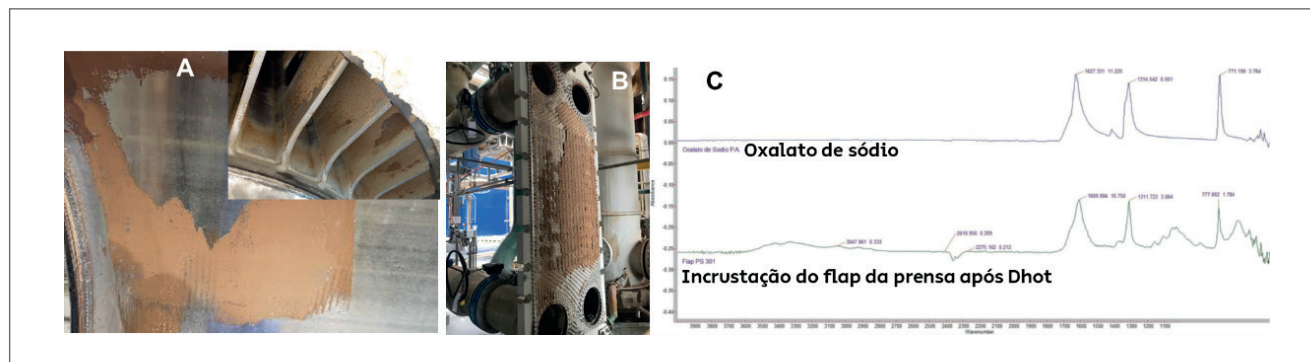


Figura 13. Espectro do FTIR de deposição da primeira prensa do branqueamento



Figura 14. Corpo de prova do dispositivo com formação de oxalato



Figura 15. Limpeza química do tanque de filtrado do estágio Dhot

Com o objetivo de avaliar a condição crítica para formação de oxalato no processo e identificar oportunidades operacionais relacionadas ao controle de pH, foi utilizado o dispositivo de avaliação de incrustações desenvolvido internamente pela unidade (Figura 1). Embora o equipamento tenha sido projetado originalmente para testes comparativos de polímeros *antipitch*, demonstrou-se eficiente também na simulação de ambientes controlados para avaliação da formação de depósitos inorgânicos.

Durante o teste, um dos tanques operou apenas com o filtrado de saída do estágio Dhot, enquanto no outro foi adicionado hidróxido de sódio por meio de bomba dosadora, ajustando o pH em três faixas distintas: 3,5 a 3,6; 3,6 a 3,7; e 3,7 a 3,8. A temperatura do filtrado ficou por volta 90 °C, o tempo de controle de cada faixa de pH foi de 30 dias. Os resultados indicaram que até pH abaixo de 3,7 não foi observado formação de incrustações visíveis, sendo a deposição detectada apenas em valores acima desse limite, com intensificação do acúmulo a partir de pH 3,8 (Figura 14A referência e Figura 14B com acúmulo de deposição). As análises por ICP indicaram que as deposições eram ricas em cálcio.

Esses dados reforçam a importância do controle preciso do pH, especialmente nas etapas iniciais do branqueamento, como ferramenta essencial para prevenir a formação de oxalato e garantir estabilidade operacional. Com base nestes dados foram definidos a faixa máxima de operação de pH na saída do estágio Dhot, que não pode ser superior a 3,5. Com isto foi possível até mesmo otimizar consumos de químicos do processo.

Uma alternativa para contornar a formação de oxalato existente no processo, devido aos eventos mostrados, foi recorrer a lavagem química da prensa e dos tanques do branqueamento, uma vez que, em repartições da fábrica observávamos aumento de sujidade por oxalato, causando desclassificação pelo ofensor. Tal processo de *boil out* foi realizado com enchimento do tanque de filtrado até 85% do nível com produto adquirido de um fornecedor específico, e utilizado o sistema de lavagem dos rolos, assim, com a mesma solução foi possível realizar o *boil out* do tanque e da prensa ao mesmo tempo (Figura 15).

Diante de todas as ações, foi possível observar uma redução significativa nos eventos de desclassificação por oxalato na

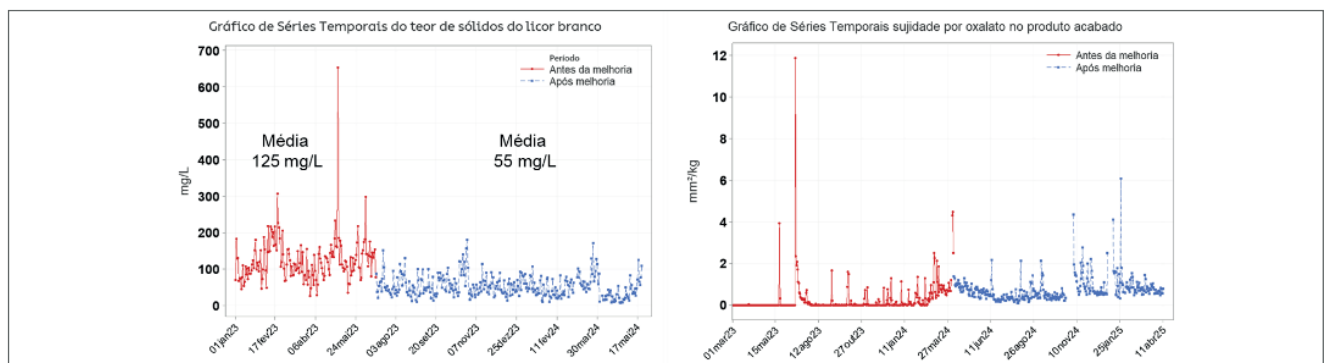


Figura 16. Melhoria dos sólidos suspensos do licor branco e redução da desclassificação por oxalato

Unidade Imperatriz. A combinação entre ajustes operacionais, controle rigoroso de pH no estágio Dhot, ações preventivas na caustificação (Figura 16), se mostrou eficaz para mitigar a formação de depósitos de oxalato. Além disso, o uso do dispositivo interno para simulação de condições críticas permitiu antecipar riscos e validar estratégias antes da aplicação em escala industrial. Esses aprendizados consolidaram o controle para esse tipo de contaminante, promovendo maior estabilidade ao processo e à qualidade do produto final. Como observado na Figura 16B, houve redução significativa de desclassificação por oxalato após as melhorias, com tendência atual de redução desse ofensor.

#### 4. Contaminante: Pitch – desafios e soluções implementadas

A presença de *pitch* no processo produtivo representa um dos principais desafios na busca por estabilidade operacional e qualidade final da celulose. Esse contaminante, composto por extrativos naturais da madeira como ácidos graxos e resinas, tem potencial para causar incrustações, obstruções em equipamentos e comprometer o aspecto visual do produto final. Conforme Cruz (2005), “vários compostos presentes nos extrativos, bem como alguns aditivos utilizados no processamento da polpa, podem formar depósitos denominados de *pitch*”. A substituição do talco por polímeros na Unidade Imperatriz exigiu uma reavaliação da aplicação de insumo no processo, culminando em uma nova abordagem de controle de *pitch* que se mostrou eficaz e sustentável.

A primeira etapa dessa jornada foi a transição do tratamento de *pitch* à base de talco para um sistema *low talc*, utilizando um polímero *antipitch*, inicialmente aplicado no ponto tradicional de talco. Essa primeira alteração não apresentou impacto nos níveis de *pitch coloidal* do processo, indicando que não havia

risco iminente de formação de depósitos. A mudança começou em setembro de 2018 e se estendeu por cerca de dois anos. O primeiro passo consistiu na retirada do talco da área marrom, sendo substituído por um produto químico, mantendo-se, no entanto, a aplicação do mineral na etapa de branqueamento. Já em setembro de 2020, a Unidade Imperatriz passou a operar com um sistema totalmente *talc free*. Na Figura 17 é possível observar o fluxograma com os pontos de aplicação do *antipitch*.

Com os primeiros aprendizados, ficou evidente que apenas substituir o talco por um polímero, mantendo os pontos de aplicação utilizados anteriormente, não era suficiente para garantir a eficácia do tratamento. Inicialmente, o ponto de aplicação do *antipitch* era apenas antes do DDW, passando depois a contar com dois pontos de dosagem na área marrom. Conforme mostrado na Figura 18, a inclusão desse segundo ponto de aplicação possibilitou uma redução significativa no teor de *pitch coloidal* tanto na caixa de entrada das máquinas secadoras quanto na água branca.

Outro ponto crítico identificado no processo foi a presença de *pitch coloidal* no condensado enviado para a linha de fibras, com contagens médias na ordem de  $1,7 \times 10^6$  partículas. Essa rota de recirculação representa um desafio adicional, pois introduz *pitch coloidal* no sistema por um caminho que anteriormente não era monitorado. Até o momento, não há uma solução definitiva para essa fonte de contaminante, sendo recomendado o aprofundamento de estudos que avaliem o impacto desse condensado no processo e possíveis estratégias para mitigar essa contribuição indesejada de *pitch*.

No entanto, durante a implementação do tratamento de *pitch* com polímero, especialmente após a migração definitiva para o sistema *talc free*, foi observado acúmulo de depósitos no rolo da terceira prensa das secadoras, em ambas as máquinas. Análises

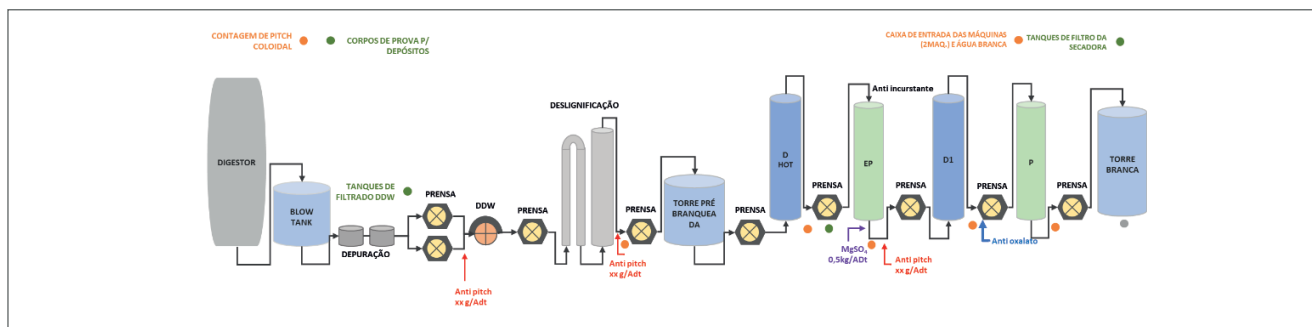


Figura 17. Fluxograma do processo produtivo de Imperatriz

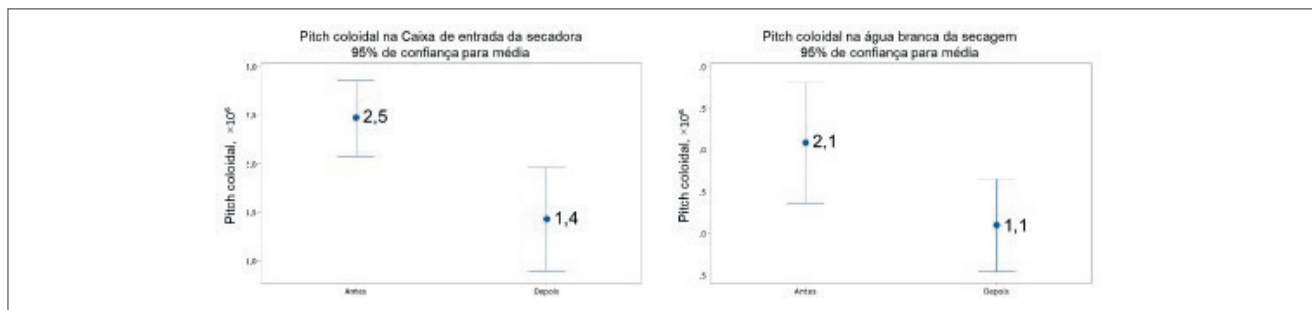
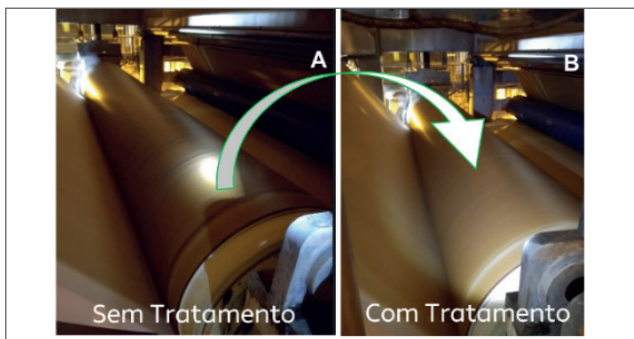


Figura 18. Pitch coloidal antes e após inclusão de novo ponto de dosagem do *antipitch*

confirmaram que esse material era composto basicamente por *pitch*. Diante desse cenário, concluiu-se que o tratamento eficaz de *pitch*, sem o uso do talco, dependia da adição de um novo insumo ao processo: o condicionador de feltro. Esse químico passou a ser essencial para evitar o acúmulo de *pitch* nas prensas, que poderia posteriormente se desprender e contaminar a celulose ou obstruir os feltros, comprometendo a eficiência das máquinas secadoras. Nas **Figuras 19A** e **Figuras 19B**, pode-se observar a presença de *pitch* nos rolos da terceira prensa antes e após o início do tratamento com condicionador de feltro.

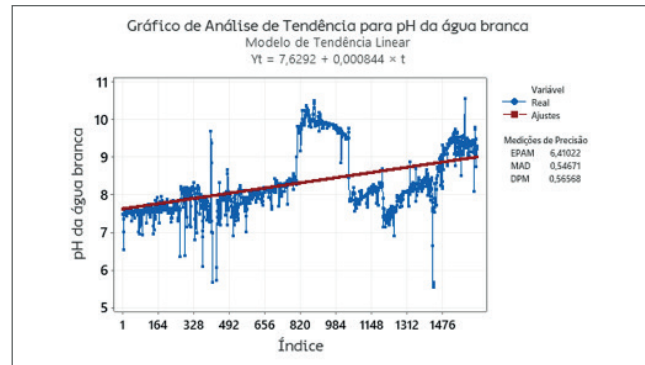
Além disso, observou-se a necessidade de atenção redobrada com o retorno da água branca nos estágios D1 e, posteriormente, para estágio Dhot. Durante a fase de transição para o tratamento *talc free* e a implementação do condicionador de feltro, passou-se a registrar deposições recorrentes de resíduos no *flap* da prensa 303, localizada na saída do estágio D1. A hipótese inicial levantada foi de que, em situações de parada do branqueamento ou em momentos de deficiência operacional de lavagem, a prensa anterior estaria carregando o químico *antipitch* juntamente com a polpa ácida, o que favoreceria a formação de depósitos na prensa do estágio ácido. Essa hipótese mostrou-se plausível, uma vez que testes laboratoriais indicaram que o polímero *antipitch* apresenta instabilidade significativa em meio ácido, formando grumos quando o pH fica abaixo de 7,0. No entanto, estudando variações no processo, observou-se que o pH da água branca (**Figura 20**) estava sendo elevado com aplicação do condicionador de feltro, visto que o mesmo estava ficando ligeiramente alcalino, e esta água branca, agora, possivelmente, rica em *pitch*, pela remoção da formação que ora se apresentava no rolo da terceira prensa, estaria promovendo um choque de pH na bacia da prensa do D1 e se depositando na prensa após o estágio D1.



**Figura 19.** Rolo da terceira prensa da secagem, com *pitch* (A) e sem *pitch* (B)



**Figura 21.** Condições do flap da prensa D1 após início do tratamento de condicionamento de feltro



**Figura 20.** pH da água branca após início do tratamento de condicionamento de feltro

Com base nessa nova hipótese, foi realizada uma alteração na lógica de operação da lavagem após o estágio D1. A água branca, que anteriormente retornava parcialmente para a bacia da prensa que realiza essa lavagem, passou a ser evitada, priorizando-se a entrada exclusiva de água quente nesse ponto. Essa modificação visava evitar a recirculação de água potencialmente contaminada com *pitch* em meio com pH ácido. A **Figura 21A** mostra o *flap* da prensa logo após o estágio D1 ainda limpo, em 2020, antes da implementação do tratamento *talc free*. Já nas **figuras 21B e 21C**, referentes às PGs de 2022 e 2023, respectivamente, é possível observar a formação de deposições nesse *flap* após a adoção do novo tratamento com polímero e condicionador de feltro. Por fim, a **Figura 21D** apresenta a condição do flap após a remoção da aplicação de água branca nessa etapa do processo, evidenciando o efeito positivo da mudança operacional.

Após os aprendizados e desafios iniciais com a transição para *talc free*, surgiu o desafio de trocar o insumo *antipitch* por um produto de outro fornecedor do mercado. Esse movimento foi cercado de cautela, pois havia o risco de perda de controle sobre o *pitch*, o que poderia comprometer toda a estabilidade conquistada até então. No entanto, essa mudança trouxe também uma nova forma de enxergar o processo: não mais avaliar os químicos de forma isolada, mas entender que os insumos aplicados no branqueamento, inclusive os *antipitch*, fazem parte de uma estratégia integrada de controle de contaminantes. Essa visão mais sistêmica permitiu uma transição mais segura, embasada em testes prévios, acompanhamentos operacionais e foco em performance conjunta, considerando compatibilidades entre os químicos e a dinâmica do processo como um todo.

Como primeiro passo para a avaliação do novo insumo, foi solicitado ao fornecedor o envio de uma bombona de 20 litros do produto. Utilizou-se o dispositivo mostrado na **Figura 1** para realizar um teste com filtrado alcalino diretamente na área industrial, comparando as condições com e sem a aplicação do novo químico. Em um dos tanques, o filtrado proveniente da área marrom era alimentado de forma contínua, passando pelo sistema e sendo descartado em seguida. No outro tanque, esse mesmo filtrado recebia, adicionalmente, a dosagem do *antipitch* em teste. O objetivo era verificar se, na ausência do produto, haveria formação de *pitch* depositável.

O teste teve duração aproximada de duas semanas. Na **Figura 22A** é apresentada a amostra do corpo de prova antes do contato com o filtrado. Já na **Figura 22B** se observa uma leve formação de depósito no corpo de prova exposto ao filtrado sem aplicação do *antipitch*. Em contrapartida, na **Figura 22C**, referente ao corpo de prova do tanque com dosagem do produto, não foi identificada nenhuma incrustação visível. É importante destacar que o objetivo do teste não era quantificar a deposição, mas apenas verificar a presença ou ausência de formação de *pitch* visível. Com base nessa primeira observação, foi possível iniciar o teste para troca desse insumo, sem necessariamente implicar em risco para a qualidade da celulose do produto acabado.

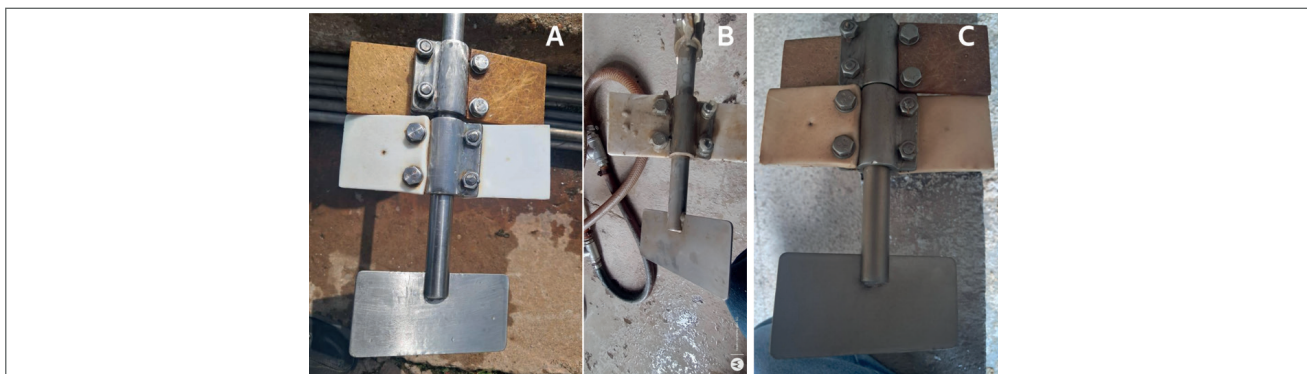
Como parte da avaliação do novo insumo para tratamento de *pitch*, observou-se que não houve variação significativa na média do *pitch coloidal*, presente na polpa da caixa de entrada das máquinas secadoras (**Figura 23A**). No entanto, foi constatada uma redução expressiva na sujidade por *pitch* no produto acabado, com

diferença estatisticamente significativa ao nível de 95% de confiança (**Figura 23B**). Esse resultado reforça que, mesmo sem alterações nos níveis coloidais da polpa, o novo tratamento mostrou-se mais eficiente na prevenção de deposições durante as etapas finais do processo.

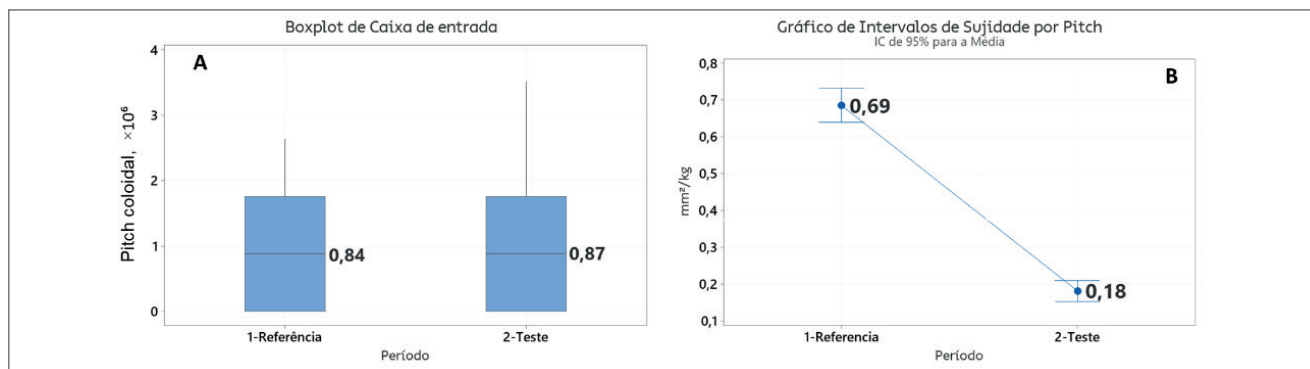
Outra investigação que fez parte das ações de controle de contaminantes por *pitch* consistiu em um estudo conduzido para avaliar a relação entre o tempo pós-corte (TPC) da madeira e o percentual de *pitch* removido em função da secagem natural dela. O objetivo foi identificar a faixa ideal de TPC que não compromettesse o controle de sujidade e ainda servisse como referência para o planejamento florestal no envio da madeira para a fábrica.

Esse teste foi realizado durante o período chuvoso, quando naturalmente há maior dificuldade na secagem da madeira, o que agrava o impacto do TPC na remoção de extrativos. Os resultados indicaram que madeiras com TPC inferior a 45 dias estavam fortemente associadas a maiores concentrações de extrativos. Esse comportamento está em linha com o que é relatado na literatura e reforça que a entrada dessa madeira mais “verde” pode acentuar de forma significativa a formação de *pitch*, mesmo com o aumento da dosagem de químicos *antipitch*. Observa-se que a partir de 45 dias, o teor de extrativos tende a se estabilizar, conforme apresentado na **Figura 24**. Diante disso, definiu-se como referência ideal o recebimento de madeira com TPC superior a 45 dias, contribuindo para maior estabilidade do processo e redução de sujidade no produto final.

Uma prática fundamental adotada na Unidade Imperatriz como parte do controle de sujidade é a realização de inspeções internas nos tanques durante as paradas gerais. Nessas oportu-



**Figura 22.** Corpo de prova de teste para avaliar tratamento com novo antipitch



**Figura 23.** *Pitch* coloidal na caixa de entrada e sujidade por *pitch* no produto acabado

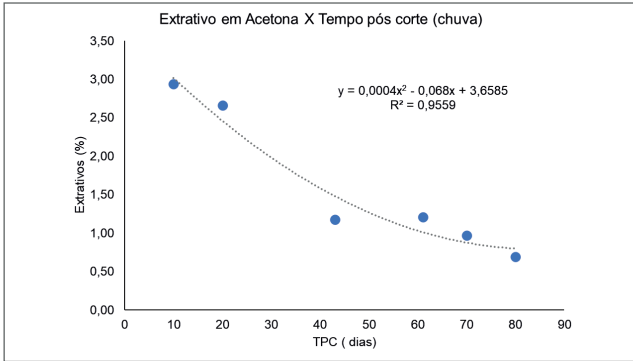


Figura 24. Teor de extrativos na madeira versus tempo pós-corte

tunidades, são feitas coletas de material depositado e registros fotográficos em todos os tanques da linha de fibras, da área de secagem e no tanque de condensado que alimenta a linha de fibras. Essa rotina tem se mostrado uma ferramenta estratégica para o acompanhamento da performance dos insumos aplicados para esta finalidade e para a avaliação do comportamento da sujidade em pontos críticos do processo.

Além de permitir comparações entre diferentes períodos, essa prática reforça o compromisso da unidade com o controle contínuo e preventivo de contaminantes. Como exemplo, nas figuras 25A e 25B, é possível observar o estado do tanque de água de feltro e do tanque de mistura do tissue durante a parada geral de 2020. Já nas figuras 25C e 25D, os mesmos tanques são apresentados na PG de 2022, evidenciando uma redução importante no acúmulo de pitch, refletindo os ganhos obtidos com a substituição do sistema low talc pelo tratamento atual com polímero aliado ao condicionador de feltro.

Um ponto positivo importante observado com a implementação do tratamento talc free foi a redução no teor de cinzas no produto acabado. Como o talco é um mineral que contribui diretamente para o aumento de material inorgânico na celulose, sua retirada do processo refletiu em uma queda significativa nesse indicador. A comparação dos dados médios entre os períodos com uso de talco e o atual tratamento com polímero mostrou uma redução de 15,2% no teor de cinzas, conforme apresentado na Figura 26. Esse ganho não apenas contribui para melhorar a qualidade da celulose comercializada, como também atende a requisitos de clientes mais exigentes quanto à carga mineral no produto acabado.

Para garantir um controle eficaz que contemple os principais contribuintes para a formação de pitch no processo, foi elaborada uma tabela de referência operacional (Tabela 1), que define ajustes na dosagem do antipitch conforme variações desses parâmetros.

Tabela 1: Critérios operacionais para ajuste da dosagem de antipitch na Unidade Imperatriz

Pitch coloidal na Caixa de entrada		Entrada de madeira TPC < 45 dias		Fator de diluição PS206	
Coloidal	Dosagem	%TPC < 45 dias	Dosagem	FD(m³/ADt)	Dosagem
0,90	400 g/ton	> 10%	450 g/ton	>2,7	400 g/ton
1,80	450 g/ton	> 15%	500 g/ton	2,5 – 2,7	425 g/ton
2,6 - 3,5	475 g/ton	> 25%	550 g/ton	< 2,5	450 g/ton
> 3,5	525 g/ton				

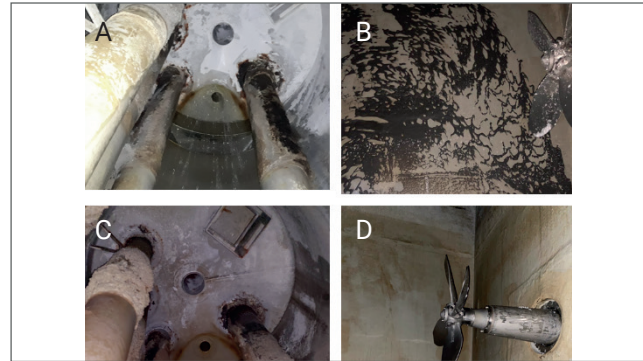


Figura 25. Inspeções internas em tanques da secagem e tissue na parada geral

O objetivo dessa estratégia é atuar de forma preventiva, antecipando-se às condições que favorecem a formação de pitch e, conseqüentemente, mitigando problemas de sujidade no produto final ou deposições no sistema. Essa tabela é checada diariamente pela equipe responsável e, sempre que necessário, são realizadas correções na dosagem do produto aplicado no processo.

Por fim, a comparação de custos entre os tratamentos com talco e com polímero revelou que, embora o novo sistema tenha exigido maior investimento, 73% superior ao tratamento com talco (Figura 27), principalmente pela necessidade de inclusão do condicionador de feltro, a estratégia foi mantida. Isso se deu por dois motivos: primeiro, porque o processo se mostrou significativamente mais limpo, com eliminação de depósitos que antes eram recorrentes durante o uso do talco; segundo, e mais importante, por se alinhar a uma tendência do mercado, impulsionada por clientes que vêm buscando alternativas ao uso do talco por razões regulatórias e ambientais. Cabe ressaltar que, nessa comparação, não foi considerado o ganho associado à presença de talco retido na celulose do produto acabado.

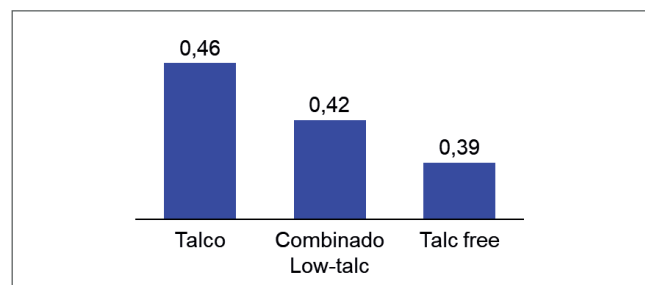
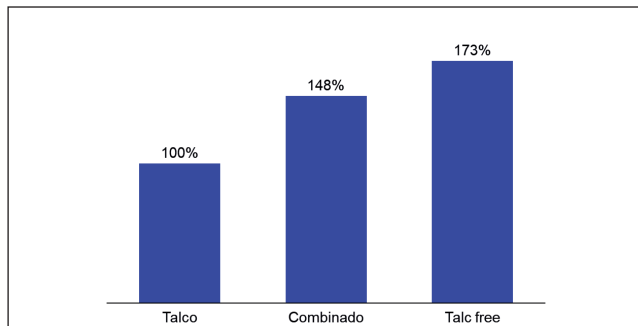


Figura 26. Teor de cinzas no produto acabado, %



**Figura 27.** Custo relativo do tratamento *antipitch* combinado e *talc free* em relação ao talco

O controle de *pitch* na Unidade Imperatriz evoluiu de uma abordagem tradicional com talco para um sistema integrado com polímero e condicionador de feltro, tornando o processo mais limpo e estável. Apesar do custo operacional mais elevado, a estratégia demonstrou maior eficiência, redução de cinzas e menor reincidência de depósitos. A gestão preventiva, com ajustes diários baseados em variáveis críticas, consolidou um modelo robusto e alinhado às novas exigências de mercado.

## CONCLUSÕES

A abordagem adotada pela Unidade Imperatriz para o controle da sujidade por pinta preta, com origem no fungo representou um avanço importante no entendimento e mitigação desse tipo de contaminante. A caracterização dos estromas de *Hypoxylon spp.* permitiu o desenvolvimento de critérios visuais de classificação da madeira, a definição de limites operacionais para sua entrada e a implantação de rotinas de medição de teor de fungo nos cavacos, além disso, o monitoramento do teor de fungo nos cavacos se mostrou uma ferramenta prática e eficaz para apoiar a operação e evitar a desclassificação do produto acabado.

No caso das pintas pretas provenientes da evaporação, verificou-se que o retorno de contaminantes por meio do condensado é um ponto crítico. Essas partículas retornam para o processo de forma contínua, alimentando a linha de fibras e contribuindo para o aumento da sujidade. A identificação do fungo no condensado reforça a necessidade de ações estruturadas, como a implantação do filtro para melhoria da qualidade do condensado. O controle da perda de fibras que é enviada à evaporação gera muito destes problemas. Isso requer ainda um aprofundamento nesses estudos que permitam mitigar esse caminho de recirculação.

O oxalato, por sua vez, mostrou o quanto fatores como excesso de sólidos no licor branco, entrada de madeira com alto teor de casca e falhas no controle de pH podem favorecer sua formação. Os testes realizados com o dispositivo interno de avaliação de incrustações demonstraram que a faixa crítica de pH para formação de oxalato está acima de 3,7, servindo como referência para o controle na etapa de branqueamento. A combinação de ajustes operacionais e revisões nos parâmetros permitiu reduzir de forma significativa os episódios de desclassificação associados a esse contaminante.

No tratamento de *pitch*, a substituição do talco por polímero representou uma mudança significativa, exigindo revisão dos pontos de aplicação, inclusão do condicionador de feltro e uma nova lógica de dosagem preventiva. Apesar do custo aproximadamente 73% superior ao do tratamento com talco, a estratégia mostrou-se eficiente, mantendo o teor de *pitch coloidal* na caixa de entrada sem aumento de sujidade. Também foi observada menor deposição por *pitch* no processo, além de uma redução de 15,2% no teor de cinzas da celulose, alinhando-se às tendências de sustentabilidade do mercado global para retirada do talco.

Em síntese, a experiência da Unidade Imperatriz reforça que o controle de sujidade não depende de uma única variável ou insumo, mas de uma atuação integrada entre áreas, de testes bem estruturados, e de decisões baseadas em dados. A gestão dos contaminantes *pitch*, oxalato e pintas pretas requer disciplina operacional, monitoramento contínuo e constante revisão das estratégias, sempre com foco na estabilidade do processo, na qualidade da celulose e na competitividade do negócio.

## AGRADECIMENTOS

A Suzano, na pessoa do diretor industrial da Unidade Imperatriz, José Wilhelms Ventura, pela oportunidade e incentivo para realização deste artigo. A Evaldo Soares Boaventura, por abraçar a ideia e confeccionar o dispositivo para avaliação dos testes. ■

## REFERÊNCIAS

- Cruz, M. P.; Barbosa, L. C. A.; Maltha, C. R. A.; Gomide, J. L.; Milanez, A. F. Caracterização de depósitos de *pitch* e outros resíduos na indústria de celulose e papel. *Quim. Nova*, v. 29, n. 3, p. 459-466, 2006.
- Häärä, M.; Sundberg, A.; Willför, S. Calcium oxalate – a source of ‘hickey’ problems – A literature review on oxalate formation, analysis and scale control. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, v. 26 n. 3, 2011.
- Leite, V. S.; Dias, S. C. M.; Mattiazzo, F. B.; Ramos, L. F. N.; Pimenta, L. R.; Segura, T. E. S.; Deserto, F. R. O.; Amancio, V. S.; Silva, F. M. Incidência de estromas negros de *Hypoxylon spp.* na madeira e seu impacto na qualidade da polpa branqueada. In: *Anais do Congresso ABTCP*, São Paulo. (s.d.).
- Mafia, R. G.; Alfenas, A. C.; Zarpelon, T. G.; Nascimento, E. M. Estromas negros de *Hypoxylon spp.* em toras de eucalipto como fator negativo da qualidade da madeira para celulose. *Fitopatol. Bras.*, v. 28, p. 689, 2003.
- Manji, A.; Salgar, S.; Constant, J.; Silva, D. J.; Almeida, J. M. Uma nova alternativa para eliminar o talco e reduzir *pitch* e extrativos na produção de celulose. *O Papel*, v. 66, n. 5, p. 82-87, 2005.
- Meirelis, J. P. Incrustações – Um problema real em fábricas de celulose [s.d]. Disponível em: [https://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/20\\_Incrustacoes.pdf](https://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/20_Incrustacoes.pdf). Acesso em: 12 fev. 2026.
- Meyer, T.; Faria, T. S. P.; Xavier, C. B.; Tran, H. Factors affecting deposit formation in foul condensate stripping systems. *TAPPI Journal*, v. 23, n. 5, p. 305-311, 2024.
- Rudie, A.; Hart, P. Managing calcium oxalate scale in the bleach plant. *Solutions*, June, 2005.
- Valor Econômico. Com decisão global, Johnson & Johnson vai retirar talco à base de minerais do Brasil. Disponível em: <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2022/08/16/com-decisao-global-johnson-and-johnson-vai-retirar-talco-a-base-de-minerais-do-brasil.ghtml>. Acesso em: 27 fev. 2026.
- Zolio, A.; Silva, M. R.; Peixoto, M. A. L. Depósitos de oxalato de cálcio em plantas de branqueamento – A experiência da VCP. In: *Anais do Congresso ABTCP*, 2000.