REVISTA TÓPICOS
ISSN 2965-6672 | Qualis A2

ANÁLISE DA SÉRIE HISTÓRICA DOS ACIDENTES OCUPACIONAIS NA CADEIA DE PAPEL E CELULOSE: PREVENÇÃO E DESAFIOS PARA A REGULAÇÃO

ANALYSIS OF THE HISTORICAL SERIES OF OCCUPATIONAL ACCIDENTS IN THE PULP AND PAPER INDUSTRY: PREVENTION AND CHALLENGES FOR REGULATION

Engenharias • 17/04/2026

REGISTRO DOI: 10.70773/revistatopicos/776350204

Claudemir Massami Takahashi

RESUMO

Os acidentes de trabalho persistem como um desafio crítico de saúde pública no Brasil, impactando a morbimortalidade da população economicamente ativa e a sustentabilidade dos setores produtivos. A cadeia de papel e celulose destaca-se pela heterogeneidade de riscos, combinando intensa mecanização com processos manuais e uso de agentes químicos, exigindo estratégias de segurança do trabalho abrangentes e integradas. O texto analisa a série histórica comparando os setores de produção florestal e o industrial, dependência produtiva entre ambos, sua correlação com o PIB, as oscilações e os motivos associados.

Palavras-chave: Acidentes de trabalho; Produção florestal; Indústria de papel e celulose; Saúde e segurança do trabalho; Regulamentação trabalhista.

ABSTRACT

Workplace accidents persist as a critical public health challenge in Brazil, impacting the morbidity and mortality of the economically active population and the sustainability of productive sectors. The pulp and paper industry stands out for its heterogeneity of risks, combining intense mechanization with manual processes and the use of chemical agents, requiring comprehensive and integrated occupational safety strategies. The text analyzes the historical series comparing the forestry and industrial production sectors, the productive dependence between them, their correlation with GDP, the fluctuations, and the associated reasons.

Keywords: Workplace accidents; Forestry production; Pulp and paper industry; Occupational health and safety; Labor regulations.

INTRODUÇÃO

Os acidentes de trabalho constituem um importante problema de saúde pública, com impactos significativos sobre a morbimortalidade da população economicamente ativa, a organização dos sistemas de saúde e a sustentabilidade econômica dos setores produtivos. No Brasil, apesar dos avanços normativos e institucionais observados nas últimas décadas no campo da saúde e segurança do trabalho, os registros de acidentes ocupacionais permanecem elevados, especialmente em atividades caracterizadas por processos produtivos complexos, elevado grau de mecanização e uso intensivo de insumos químicos.

Nesse contexto, destaca-se a cadeia produtiva da indústria de papel e celulose, um dos segmentos mais relevantes e tecnologicamente avançados do setor industrial brasileiro. Trata-se de uma cadeia extensa e integrada, que se inicia na produção florestal — incluindo viveiros clonais, preparo do solo, plantio, manejo e colheita — e se estende até o processamento industrial da madeira para a fabricação de celulose e papel. Ao longo desse processo, coexistem atividades altamente mecanizadas com etapas que demandam significativa força de trabalho, sobretudo nas fases iniciais da produção florestal, configurando um cenário de riscos ocupacionais diversificados.

Os segmentos econômicos classificados nos códigos CNAE 02 (produção florestal) e CNAE 17 (fabricação de papel e celulose) abrangem essa cadeia produtiva e apresentam características próprias que influenciam tanto a ocorrência quanto a gravidade dos acidentes de trabalho. Os riscos associados incluem a exposição a agentes físicos, químicos e ergonômicos, além de fatores organizacionais e operacionais inerentes a processos produtivos contínuos e de grande escala. Embora os riscos psicossociais

tenham sido incorporados de forma mais explícita ao arcabouço regulatório recente, ainda persistem limitações nos dados oficiais que dificultam análises específicas desse componente, em razão do atraso na sua plena implementação nos sistemas de registro.

Os acidentes de trabalho possuem natureza multicausal e inter-relacionada, resultando da combinação de fatores técnicos, normativos, organizacionais, culturais e econômicos. Elementos conjunturais, como variações no nível de atividade econômica, podem influenciar o volume de emprego, os ritmos de produção e os investimentos em saúde e segurança do trabalho, afetando o comportamento dos indicadores de acidentes ao longo do tempo. Além disso, a subnotificação[1], constitui um viés estrutural relevante em estudos baseados em registros administrativos, exigindo cautela na interpretação das tendências observadas.

No caso da cadeia produtiva de papel e celulose, a expansão da produção florestal, o aumento da capacidade industrial e a implementação de marcos regulatórios específicos, como a Norma Regulamentadora nº 31 (NR-31[2,3]), introduzem elementos adicionais de complexidade na análise dos acidentes de trabalho. A NR-31, ao estabelecer diretrizes voltadas à segurança, saúde e meio ambiente no trabalho rural e florestal, representa um marco regulatório relevante, cuja efetividade sobre a dinâmica dos acidentes ainda demanda avaliação empírica sistemática.

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo analisar a ocorrência de acidentes de trabalho nos segmentos de produção florestal (CNAE 02) e de fabricação de papel e celulose (CNAE 17) no Brasil, por meio de uma análise estatística de séries históricas no período de 1999 a 2024. Busca-se examinar a associação entre os

indicadores de acidentes, as variações da atividade econômica, mensuradas pelo Produto Interno Bruto (PIB), e os marcos regulatórios relacionados à segurança e saúde no trabalho, com ênfase na NR-31. Ao fazê-lo, o estudo pretende contribuir para a compreensão dos determinantes estruturais e conjunturais dos acidentes de trabalho em uma cadeia produtiva estratégica para a economia brasileira.

Referencial Teórico

1. Acidentes de Trabalho e Complexidade Organizacional

Os acidentes de trabalho, especialmente nos setores industriais complexos e intensivos em capital, não podem ser compreendidos como eventos isolados ou exclusivamente decorrentes de falhas individuais. A literatura contemporânea em segurança do trabalho reconhece que tais eventos emergem de sistemas sociotécnicos complexos, nos quais interagem fatores humanos, organizacionais, tecnológicos e regulatórios.

Essa perspectiva desloca o foco da análise da culpabilização do trabalhador para a compreensão das condições sistêmicas que moldam o desempenho seguro ou inseguro. Em cadeias produtivas extensas, como a de papel e celulose, caracterizadas por processos contínuos, alto grau de mecanização e integração entre atividades florestais e industriais, essa complexidade é ainda mais acentuada.

2. Cultura de Segurança e Maturidade Organizacional

A cultura de segurança tem sido amplamente reconhecida como um determinante central do desempenho em saúde e segurança do trabalho. Entre os modelos clássicos que abordam esse conceito,

destaca-se a Curva de Bradley[4,5], desenvolvida pela DuPont, que propõe uma relação inversamente proporcional entre o nível de maturidade cultural da organização e a taxa de ocorrência de acidentes.

Segundo esse modelo, a evolução da cultura de segurança ocorre em quatro estágios: reativo, dependente, independente e interdependente. À medida que a organização avança nesses estágios, a segurança deixa de ser apenas uma resposta a eventos adversos e passa a ser incorporada como um valor intrínseco, sustentado pelo engajamento coletivo e pela liderança ativa.

De forma complementar, o programa Hearts & Minds[6], originado na indústria de óleo e gás e fundamentado na Escada de Maturidade de Hudson[7], amplia essa abordagem ao enfatizar a motivação intrínseca, a percepção de risco e a qualidade da informação como elementos centrais da cultura organizacional. Hudson categoriza a cultura de segurança em cinco níveis, que vão do patológico ao generativo, sendo este último caracterizado pela antecipação ativa de falhas e pela aprendizagem organizacional contínua.

Ambos os modelos convergem ao indicar que a excelência operacional e a redução sustentada de acidentes não são alcançadas apenas por meio de dispositivos técnicos ou do cumprimento formal de normas, mas dependem de transformações mais profundas na liderança, no engajamento dos trabalhadores e no capital social da organização.

3. Teorias Modernas de Segurança e Sistemas Complexos

As teorias modernas de segurança do trabalho reforçam essa visão sistêmica ao propor modelos explicativos que consideram a inevitabilidade de falhas em sistemas complexos[8–10]. A Teoria dos Acidentes Normais, desenvolvida por Charles Perrow[9], sustenta que, em sistemas de alta complexidade e forte acoplamento, acidentes graves são inerentes ao próprio funcionamento do sistema, não podendo ser completamente eliminados.

Nessa mesma linha, o Modelo do Queijo Suíço, proposto por James Reason[10], descreve os acidentes como resultado do alinhamento de falhas latentes presentes em diferentes camadas de defesa organizacional. Pequenos erros ou desvios, quando não identificados ou corrigidos, podem atravessar sucessivas barreiras e culminar em eventos adversos.

Avanços mais recentes incluem a Engenharia de Resiliência e o conceito de Safety II, propostos por Erik Hollnagel[11] e colaboradores, que deslocam o foco da análise do erro para a compreensão de como os sistemas conseguem operar de forma segura sob condições variáveis e frequentemente adversas. Nessa abordagem, a segurança é entendida como a capacidade adaptativa do sistema, e não apenas como a ausência de acidentes.

Outro modelo relevante é o STAMP (Systems-Theoretic Accident Model and Processes), desenvolvido por Nancy Leveson[12], que interpreta a segurança como um problema de controle e de imposição de restrições adequadas aos componentes do sistema. Complementarmente, Sidney Dekker[13] introduz o conceito de "desvio prático" (*drift into failure*), no qual a busca contínua por eficiência leva as organizações a aceitarem, gradualmente, níveis crescentes de risco até que ocorra a falha do sistema.

Método

Delineamento do estudo: trata-se de um estudo ecológico de séries temporais, com abordagem quantitativa, baseado na análise de registros administrativos de acidentes de trabalho ocorridos no Brasil entre os anos de 1999 e 2024. O delineamento foi escolhido por permitir a avaliação de tendências temporais e associações entre indicadores de acidentes de trabalho, variáveis econômicas e marcos regulatórios ao longo de um período prolongado.

Fonte de dados e população do estudo: os dados sobre acidentes de trabalho foram obtidos a partir da Base de Dados Histórica de Acidentes do Trabalho do sistema AEAT/Infologo, disponibilizada pela Dataprev, que consolida informações provenientes das Comunicações de Acidente do Trabalho (CAT). Foram incluídos todos os registros oficialmente notificados no período analisado, referentes aos segmentos econômicos selecionados.

A população do estudo compreendeu os acidentes de trabalho registrados nos segmentos de produção florestal (CNAE 02) e de fabricação de papel e celulose (CNAE 17), considerados conjuntamente por integrarem uma mesma cadeia produtiva, porém com características operacionais e organizacionais distintas.

Classificação das atividades econômicas: devido à transição metodológica da Classificação Nacional de Atividades Econômicas ao longo do período analisado, os dados foram coletados em duas etapas:

- 1999 a 2005: classificação segundo o CNAE 95, em que o código 02 correspondia a “Silvicultura, exploração florestal e serviços

relacionados” e o código 17 a “Fabricação de celulose, papel e produtos de papel”.

- 2006 a 2024: classificação segundo o CNAE 2.0, em que o código 02 passou a abranger as atividades de produção florestal (florestas plantadas, florestas nativas e atividades de apoio), e o código 17 passou a contemplar a fabricação de celulose, papel e produtos de papel, conforme a hierarquia definida pelo IBGE.

A compatibilização entre as classificações foi realizada de modo a preservar a continuidade da série histórica, considerando a equivalência funcional dos agrupamentos ao longo do tempo. O detalhamento completo dos critérios de seleção e extração dos dados encontra-se descrito no Apêndice A.

Variáveis analisadas

As variáveis principais do estudo foram:

- número anual de acidentes de trabalho no setor de produção florestal;

- número anual de acidentes de trabalho no setor de fabricação de papel e celulose;

- variação anual do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, utilizada como indicador do ciclo econômico.

A série temporal foi encerrada em 2024, por se tratar do último ano com dados consolidados disponíveis no sistema no momento da análise.

Análise estatística

Inicialmente, os dados foram organizados em formato de *data frame* para permitir o tratamento estatístico com o software R[14]. A normalidade das distribuições foi avaliada por meio do teste de Shapiro-Wilk[15], considerando-se o tamanho amostral inferior a 50 observações anuais.

Para a comparação entre os setores de produção florestal e de papel e celulose, foi aplicado o teste de Wilcoxon pareado, adequado para amostras dependentes e distribuições não normais. As medidas de tendência central foram representadas pelas medianas, em consonância com o método utilizado.

A associação entre as séries temporais dos dois setores foi avaliada por meio do coeficiente de correlação de Spearman (rho), utilizado para verificar a força e a direção da relação entre variáveis ordinais ou não normalmente distribuídas.

A influência da atividade econômica sobre a ocorrência de acidentes foi investigada por meio de modelos de regressão, considerando a variação anual do PIB como variável explicativa. Diante da elevada dispersão dos dados e da natureza de contagem das ocorrências, foram ajustados modelos com distribuição quasipoisson, permitindo correção para sobredispersão. Os parâmetros de ajuste, incluindo *deviance* e *residual deviance*, foram utilizados para avaliar o poder explicativo dos modelos.

Todas as análises estatísticas foram realizadas no ambiente R[14], versão atualizada à época da execução, e os comandos utilizados

encontram-se descritos integralmente no Apêndice B, de modo a garantir a reprodutibilidade do estudo.

Limitações metodológicas

Por se tratar de um estudo baseado em registros administrativos agregados, os resultados estão sujeitos às limitações inerentes a esse tipo de fonte, especialmente à subnotificação de acidentes de trabalho, amplamente reconhecida na literatura. Além disso, o delineamento ecológico não permite estabelecer relações de causalidade em nível individual, restringindo as inferências à escala populacional e temporal. Ainda assim, a utilização de séries históricas extensas possibilita identificar padrões, tendências e associações relevantes para a análise da saúde do trabalhador em setores produtivos complexos.

Tabela 1

ANO	Acidentes Base Florestal	Acidentes Ind papel Celulose	Variação do PIB (%) (nota3)
1999	354	4213	0,47
2000	559	3788	4,39
2001	470	3514	1,39
2002	684	3930	3,05
2003	1396	3148	1,14
2004	958	4450	5,76
2005	730	5608	3,20
2006	3020	5568	3,96

2007	3775	6592	6,07
2008	4330	6945	5,09
2009	3584	6418	-0,13
2010	3808	5915	7,53
2011	3670	5723	3,97
2012	3210	5637	1,92
2013	2832	5685	3,00
2014	2016	5090	0,05
2015	1899	4962	-3,55
2016	1748	4402	-3,31
2017	1692	3966	1,06
2018	1789	4214	1,12
2019	1691	3980	1,14
2020	1693	3319	-3,88
2021	1800	4108	4,60
2022	1963	4002	3,00
2023	2291	4306	3,20
2024	2427	5029	3,40

Nota 1: Os números de ocorrências entre 1999 e 2005, eram classificados conforme modelo do CNAE 95, onde os códigos estavam mais agrupados[15].

Nota 2: A série temporal encerra-se em 2024, visto ser o último ano com dados consolidados pela Dataprev até a execução desta análise.

Nota 3: https://infograficos.gazetadopovo.com.br/economia/pib-do-brasil/, consultado em 26.fev. 2026[16].

Resultados

A caracterização das séries temporais ao longo da série histórica analisada, observou-se que o número absoluto de acidentes de trabalho registrados no setor de fabricação de papel e celulose foi sistematicamente superior ao registrado no setor de produção florestal. As duas séries apresentaram variações ao longo do tempo, com períodos de crescimento, estabilidade e redução, além de oscilações de magnitude distinta entre os setores.

Na série longa, ambos os setores apresentaram tendência geral de redução dos acidentes até meados da década de 2010, seguida por um período de relativa estabilidade e posterior crescimento a partir de 2019, conforme ilustrado nos Gráficos 1 2.

Gráfico 1

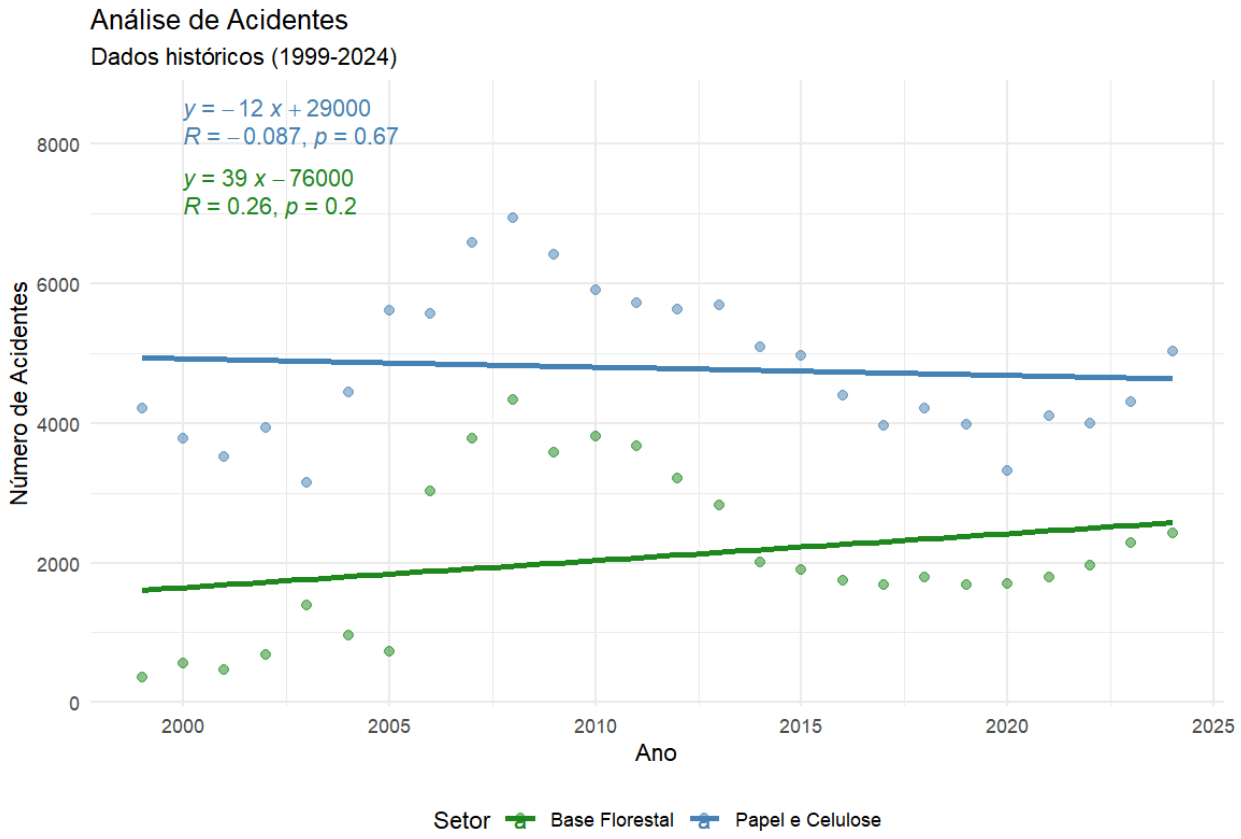
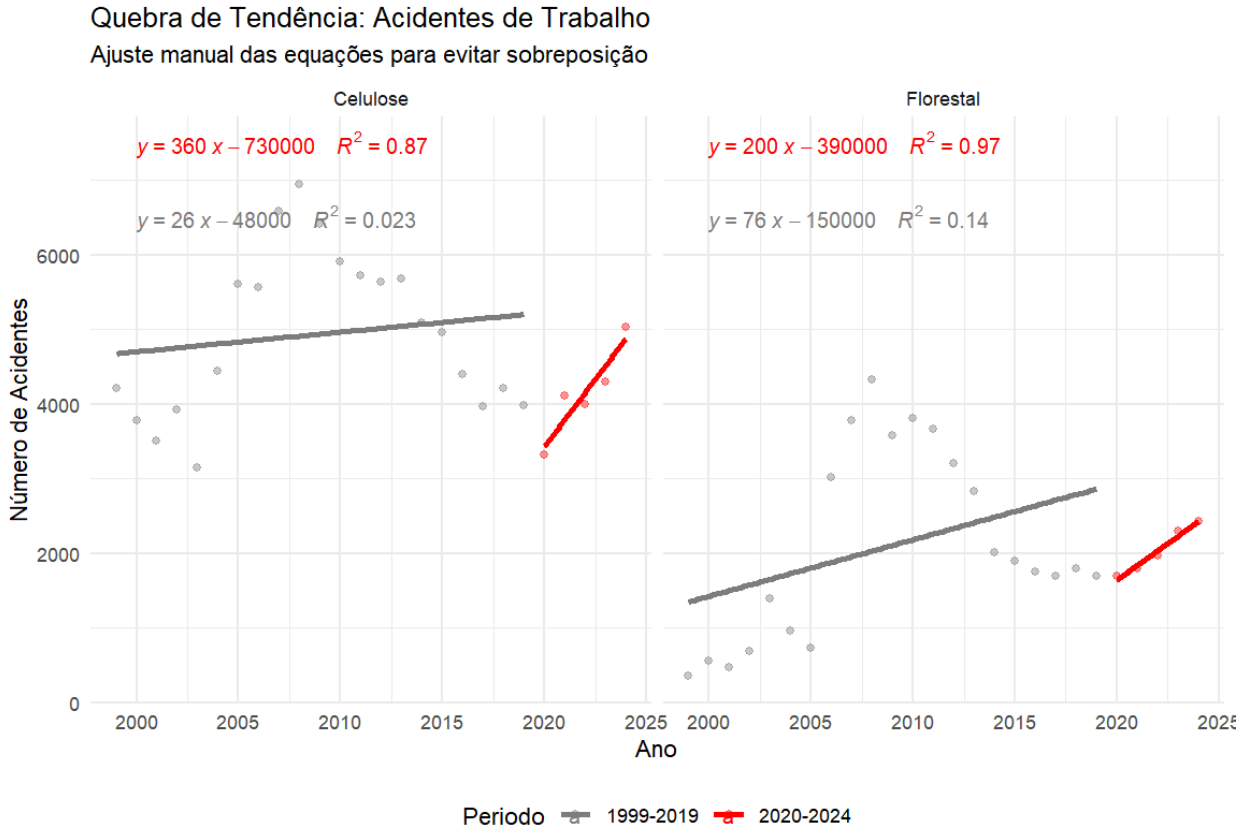


Gráfico 2



Testes de normalidade e comparação entre setores

A avaliação da distribuição dos dados por meio do teste de Shapiro-Wilk indicou que a série de acidentes no setor de produção florestal não apresentou evidências suficientes para rejeição da hipótese de normalidade ($p = 0,1888$), enquanto a série referente ao setor de papel e celulose apresentou distribuição não normal ($p = 0,001$).

Diante desses resultados, optou-se pela utilização de testes não paramétricos. A comparação entre as séries dos dois setores, realizada por meio do teste de Wilcoxon pareado, evidenciou diferença estatisticamente significativa entre os números de acidentes registrados ($V = 25$; $p < 0,001$). As medianas observadas foram de 1.849,5 acidentes para o setor florestal e de 4.260 acidentes para o setor de papel e celulose, indicando magnitudes distintas entre os setores ao longo do período analisado.

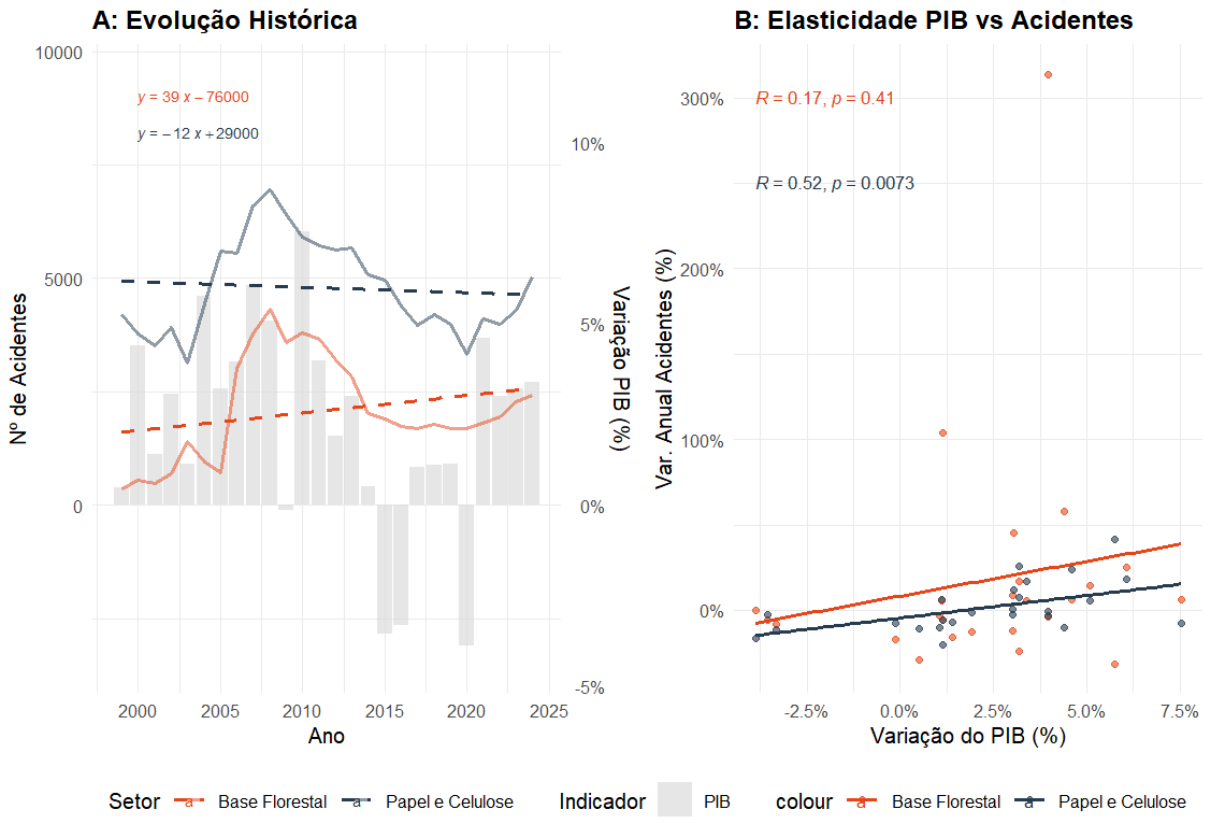
Associação entre as séries de acidentes

A associação entre as séries temporais dos dois setores foi avaliada por meio do coeficiente de correlação de Spearman. O resultado indicou correlação positiva muito forte entre as variáveis ($rho = 0,969$; $p < 0,001$), demonstrando que as oscilações no número de acidentes de trabalho nos setores de produção florestal e de papel e celulose ocorreram de forma sincronizada ao longo da série histórica. Em termos práticos, períodos de aumento ou redução dos acidentes em um setor tenderam a ser acompanhados por variações na mesma direção no outro setor.

Relação entre acidentes de trabalho e atividade econômica

A análise da relação entre os acidentes de trabalho e a variação anual do Produto Interno Bruto (PIB) foi inicialmente conduzida por meio de modelos de regressão linear simples.

Gráfico 3



Para o setor de produção florestal, o PIB não apresentou associação estatisticamente significativa com o número de acidentes (p = 0,41), e o poder explicativo do modelo foi baixo (R^2 ajustado = 0,17).

No setor de papel e celulose, a regressão linear indicou associação estatisticamente significativa entre a variação do PIB e o número de acidentes (p = 0,0073), com R^2 ajustado de 0,52. Entretanto, a dispersão dos dados observada nos gráficos sugeriu inadequação do modelo linear simples para descrever a relação entre as variáveis.

Diante dessa dispersão e da natureza de contagem das ocorrências, foram ajustados modelos com distribuição quasipoisson. Nesses modelos, a variável PIB não apresentou associação estatisticamente significativa com o número de acidentes em nenhum dos setores, considerando-se o nível de significância de 5%. Para o setor de papel e celulose, o efeito do PIB situou-se no limiar da significância

estatística (p = 0,0504), enquanto, para o setor florestal, o p-valor foi de 0,118.

Os parâmetros de dispersão observados foram elevados em ambos os modelos, indicando que grande parte da variabilidade das séries não foi explicada pela variação do PIB. A redução da *"deviance"* nos modelos ajustados foi limitada, sugerindo baixo poder explicativo da variável econômica sobre a ocorrência de acidentes de trabalho ao longo da série histórica analisada.

Discussão

Este estudo analisou a evolução dos acidentes de trabalho nos segmentos de produção florestal (CNAE 02) e de fabricação de papel e celulose (CNAE 17) no Brasil entre 1999 e 2024. Os resultados indicaram: (i) maior magnitude de acidentes no segmento industrial ao longo de toda a série histórica; (ii) sincronia entre as variações dos dois setores, evidenciada por correlação positiva muito forte; e (iii) baixa capacidade explicativa do ciclo econômico, uma vez que, nos modelos ajustados para sobredispersão, a variação anual do PIB não apresentou associação estatisticamente significativa com os acidentes em nenhum dos setores.

Diferenças estruturais entre os setores e implicações

A diferença estatisticamente significativa entre as magnitudes de acidentes nos dois segmentos (medianas distintas e teste de Wilcoxon com significância elevada) sugere que os setores compartilham uma cadeia produtiva integrada, mas exibem perfil de risco e exposição distintos, coerentes com a heterogeneidade operacional entre atividades florestais e industriais. A maior carga no setor industrial, observada de forma consistente, reforça a

necessidade de análises setoriais específicas, mesmo quando se considera a interdependência produtiva dos segmentos.

Sincronia das séries: cadeia integrada e riscos sistêmicos

A correlação de Spearman muito forte indica que as oscilações nos acidentes em um setor tendem a ser acompanhadas por oscilações na mesma direção no outro. Esse comportamento é compatível com a interpretação de que mudanças estruturais e organizacionais que afetam a cadeia produtiva (por exemplo, dinâmica de operação, mudanças tecnológicas, reorganizações do trabalho e pressão por eficiência) podem produzir efeitos acoplados em diferentes etapas do processo produtivo. Em termos de teoria de segurança, esse padrão é coerente com a visão de sistemas sociotécnicos interdependentes, nos quais variações em uma parte do sistema repercutem em outras por meio de interfaces organizacionais e operacionais.

Ciclos econômicos (PIB) e acidentes: limites de explicação por fatores externos

A modelagem estatística mostrou que, embora a regressão linear simples tenha sugerido associação entre PIB e acidentes no setor de papel e celulose, a dispersão observada e os ajustes subsequentes por quasipoisson indicaram que o PIB não manteve significância estatística a 5% em nenhum dos setores (com efeito apenas limítrofe no segmento industrial). Os parâmetros de dispersão elevados e a redução limitada da *deviance* reforçam que grande parte da variabilidade da série não é explicada pela variação anual do PIB. Em conjunto, esses achados sustentam a interpretação de que fatores macroeconômicos, isoladamente, são insuficientes para

compreender as oscilações e rupturas das séries históricas de acidentes nesses segmentos.

Marcos regulatórios (NR-31): evidências temporais e cautelas interpretativas

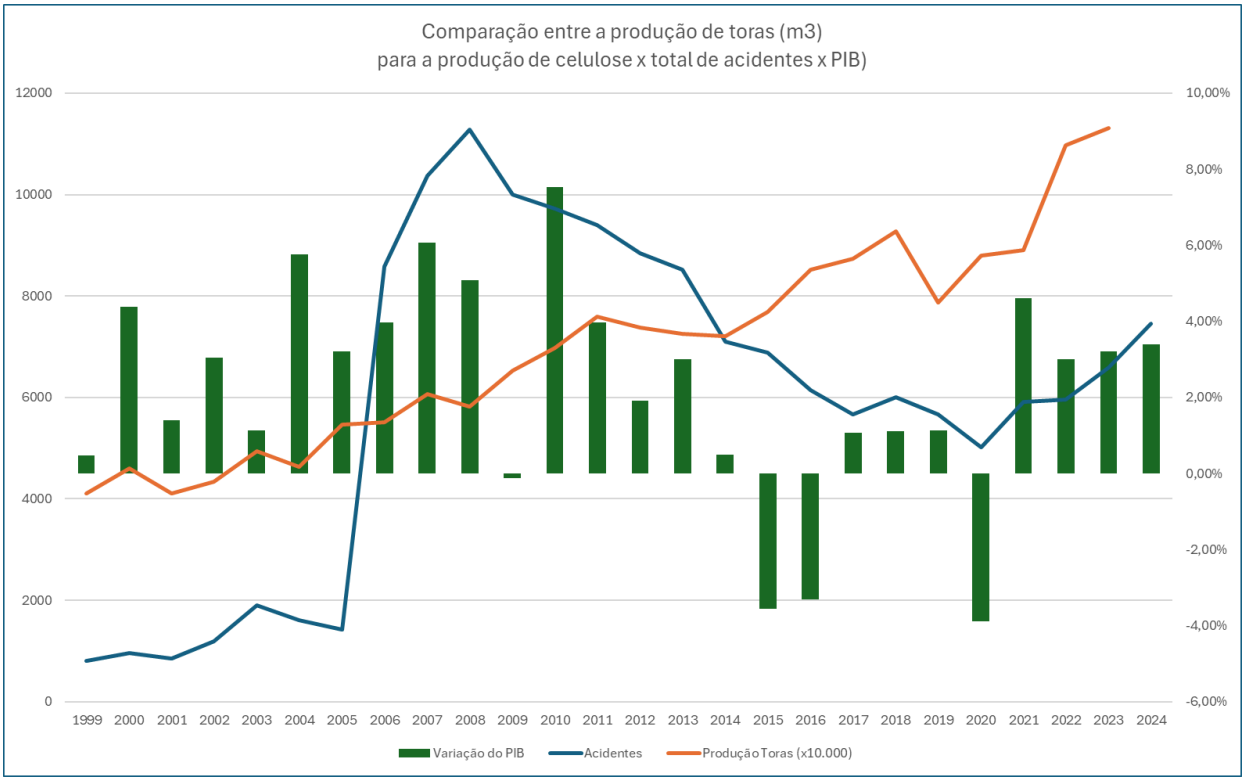
A análise temporal sugere que a publicação da NR-31 em 2005[2] não se associou a uma redução observável dos acidentes no setor florestal na série histórica, e o texto aponta também a presença de variações abruptas no período imediatamente posterior à sua aprovação. Observou-se ainda que, em 2020, período de nova redação da NR-31[3], ocorre contexto concomitante de forte mudança social e produtiva, o que reforça a necessidade de cautela ao atribuir efeitos diretos do marco regulatório sobre as tendências, especialmente em análises baseadas em dados agregados e sujeitos à subnotificação[1]. Assim, a discussão dos resultados deve privilegiar a interpretação de associações temporais e não inferências causais.

Reversão recente de tendência e contexto setorial

Os resultados descritivos indicaram que, após um período de redução até meados da década de 2010, há um padrão de crescimento recente a partir de 2019, evidenciado nos Gráficos 1 e 2 e reiterado na síntese final do texto. O documento também registra que a interpretação desse período deve considerar o contexto macroeconômico e setorial, incluindo a dinâmica de investimentos e projetos no setor de papel e celulose após a recessão, com reflexos sobre o ritmo de implantação e operação de unidades produtivas. Embora esses elementos contextualizem o período, os modelos estatísticos ajustados reforçam que o comportamento recente das séries não se explica adequadamente pelo PIB.

Produção de toras e defasagem produtiva (Gráfico 4): hipótese de leitura setorial.

Gráfico 4



Nota 1: somatório das ocorrências do CNAE 02 e 17;

Nota 2: produção de toras para a indústria de celulose[17]

O documento apresenta uma análise adicional relacionando o aumento da produção de toras (m^3) com o contexto setorial, indicando uma tendência de crescimento linear e um alto fator de ajuste (R^2) para esse comportamento. Também é discutida a possibilidade de que variações abruptas em determinados períodos possam estar relacionadas à dinâmica produtiva da cadeia e ao tempo de maturação/colheita (ciclo de aproximadamente 6–7 anos[1]) na produção florestal. Esses elementos reforçam que indicadores de atividade setorial podem ter trajetórias próprias e defasagens temporais relevantes, o que ajuda a contextualizar rupturas e tendências que não aparecem como função direta do PIB.

As implicações à luz do referencial teórico: cultura, gestão e abordagem sistêmica, tomados em conjunto, os achados reforçam a natureza multicausal dos acidentes e a necessidade de abordagens de análise que integrem dimensões econômicas, normativas e, sobretudo, as organizacionais. Quando causas externas não explicam estatisticamente a série histórica, torna-se relevante analisar fatores internos relacionados a práticas de gestão, cultura organizacional e padronização de processos de investigação e prevenção. Nesse sentido, a discussão é consistente com modelos de maturidade de cultura de segurança (Curva de Bradley; Hearts & Minds) e com teorias sistêmicas (Acidentes Normais; Queijo Suíço; Safety II; STAMP; *drift into failure*), que enfatizam falhas latentes, controle organizacional e adaptação do sistema, em vez de explicações centradas apenas em indivíduos ou variáveis externas.

A falta de uma padronização da investigação de acidentes sistêmica e mecanismos de incentivo, neste manuscrito também se destaca como ponto crítico a forma de cadastramento e análise conceitual dos acidentes, defendendo a importância de processos mais sistematizados e padronizados para reduzir subjetividades[18]. Nesse ecossistema, os mecanismos públicos de indução e monitoramento, como o Fator Acidentário de Prevenção (FAP), descrevendo sua lógica de bonificação/penalização associada ao histórico de acidentalidade. Tais instrumentos podem compor o pano de fundo institucional, mas, à luz dos resultados, a redução sustentada de acidentes provavelmente requer combinação de incentivos, governança e práticas internas robustas de gestão de riscos.

Conclusão

As limitações e implicações para pesquisas futuras, por se basear em registros administrativos (CAT/AEAT), a análise deve ser interpretada considerando limitações como a subnotificação[1], já reconhecida no documento, e a impossibilidade de inferir causalidade em nível individual. Pesquisas futuras podem aprofundar a compreensão do padrão pós-2019 incorporando indicadores setoriais adicionais, análises por subgrupos da CNAE e modelos de intervenção temporal, além de triangulação com fontes qualitativas que permitam caracterizar mudanças organizacionais e práticas de gestão ao longo do tempo.

As implicações para a análise dos acidentes na cadeia de papel e celulose, nesses modelos teóricos fornecem um arcabouço analítico robusto para interpretar a dinâmica dos acidentes de trabalho em cadeias produtivas complexas, como a de papel e celulose. Eles reforçam a ideia de que oscilações nos indicadores de acidentes não podem ser explicadas exclusivamente por fatores externos, como ciclos econômicos ou alterações normativas, mas estão profundamente associadas às práticas de gestão, à cultura organizacional e à forma como os riscos são identificados, analisados e tratados no ambiente interno das organizações.

Nesse sentido, a análise de séries temporais de acidentes de trabalho, quando articulada a esse referencial teórico, permite não apenas descrever tendências, mas também problematizar os limites das abordagens tradicionais de prevenção e a efetividade das políticas regulatórias, abrindo espaço para interpretações mais sistêmicas e integradas da saúde do trabalhador.

BIBLIOGRAFIA

1. Pinto JM. Tendência na incidência de acidentes e doenças do trabalho no Brasil: aplicação do filtro Hodrick–Prescott. Rev Bras Saude Ocup. 2017;42:e10.

2. Brasil. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria nº 86, de 03 de março de 2005. Aprova a Norma Regulamentadora nº 31. Diário Oficial da União. 4 mar 2005.

3. Brasil. Secretaria Especial de Previdência e Trabalho. Portaria SEPRT nº 22.677, de 22 de outubro de 2020. Aprova a nova redação da Norma Regulamentadora nº 31. Diário Oficial da União. 27 out 2020.

4. Bradley B. The Bradley Curve: a model for understanding safety culture. Wilmington: DuPont Sustainable Solutions; 1995.

5. DSS+. The Bradley Curve: cultivating a culture of safety [Internet]. Geneva: DSS+; 2023 [citado 14 mar 2026].

6. Energy Institute. Hearts and minds: safety culture toolkit. London: EI; 2024.

7. Hudson P. Strategies for transforming safety culture. Qual Saf Health Care. 2007;16(6):431-7.

8. Parker D, Lawrie M, Hudson P. A framework for understanding the development of organisational safety culture. Saf Sci. 2006;44(6):551-62.

9. Perrow C. Normal accidents: living with high-risk technologies. New York: Basic Books; 1984.

10. Reason J. Managing the risks of organizational accidents. Aldershot: Ashgate Publishing; 1997.

11. Hollnagel E, Woods DD, Leveson N, editores. Resilience engineering: concepts and precepts. Aldershot: Ashgate Publishing; 2006.

12. Leveson NG. Engineering a safer world: systems thinking applied to safety. Cambridge: MIT Press; 2011.

13. Dekker S. Drift into failure: from hunting causes to understanding determinism, complexity and drift. Farnham: Ashgate Publishing; 2011.

14. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing [Internet]. Vienna: R Foundation for Statistical Computing; 2023. Disponível em: https://www.R-project.org

15. Mishra P, Pandey CM, Singh U, Gupta A, Sahu C, Keshri A. Descriptive statistics and normality tests for statistical data. Ann Card Anaesth. 2019;22(1):67-72.

16. Gazeta do Povo. PIB do Brasil: série histórica [Internet]. Curitiba: Gazeta do Povo; 2024 [citado 26 fev 2026]. Disponível em: infograficos.gazetadopovo.com.br

17. Landau EC, Silva GA, Moura L, Hirsch A, Guimarães DP, editores. Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas. Brasília, DF: Embrapa; 2020.

18. Oliveira F. A construção social dos discursos sobre o acidente de trabalho. Rev Bras Saude Ocup. 2007;32(115):19-27

Autor 1. Engenheiro de Segurança, Ambiental e Sanitarista
https://orcid.org/0009-0004-9299-0028

APÊNDICE A

Parâmetros para o CNAE 95 (Silvicultura, expl.florestal e serviços rel.) entre os anos de 1999 e 2005:

Ano	Total	
1999	354	
2000	559	
2001	470	
2002	684	
2003	1396	
2004	958	
2005	730	
Total	5151	
Seleções vigentes		
Variável	Critério	Valor
Divisão do CNAE	igual a	Silvicultura, expl.florestal e serviços rel.
Classe do CNAE	igual a	Exploração Florestal

Parâmetros para o CNAE 2.0 (Silvicultura, expl.florestal e serviços rel.) entre os anos de 2006 e 2024:

Ano	Total	
2006	3020	
2007	3775	

2008	4330	
2009	3584	
2010	3808	
2011	3670	
2012	3210	
2013	2832	
2014	2016	
2015	1899	
2016	1748	
2017	1692	
2018	1789	
2019	1691	
2020	1693	
2021	1800	
2022	1963	
2023	2291	
2024	2427	
Total	49238	
Seleções vigentes		
Variável	Critério	Valor
Divisão do CNAE 2.0	igual a	Produção Florestal

Parâmetros para o CNAE 95 (Fabricação de celulose, papel e prod.papel) entre os anos de 1999 e 2005:

Ano	Total	
1999	4213	
2000	3788	
2001	3514	
2002	3930	
2003	3148	
2004	4450	
2005	5608	
Total	28651	
Seleções vigentes		
Variável	Critério	Valor
Divisão do CNAE	igual a	Fabricação de celulose, papel e prod.papel

Parâmetros para o CNAE 2.0 (Fabricação de Celulose e Outras Pastas para a Fabricação de Papel) entre os anos de 2006 e 2024:

Ano	Total	
2006	5568	
2007	6592	
2008	6945	

2009	6418	
2010	5915	
2011	5723	
2012	5637	
2013	5685	
2014	5090	
2015	4962	
2016	4402	
2017	3966	
2018	4214	
2019	3980	
2020	3319	
2021	4108	
2022	4002	
2023	4306	
2024	5029	
Total	95861	
Seleções vigentes		
Variável	Critério	Valor
Divisão do CNAE 2.0	igual a	Fabricação de Celulose, Papel e Produtos de Pap

APÊNDICE B

```
tabela_01 <- as.data.frame(TABELA_01_ARTIGO_REV_04)
names(tabela_01) <- c("ano", "florestal", "celulose", "pib")

# Teste para a florestal
Shapiro-Wilk normality test
data: tabela_01$florestal
W = 0.94621, p-value = 0.1888
data: tabela_01$celulose
W = 0.85912, p-value = 0.002148

wilcox.test(tabela_01$florestal, tabela_01$celulose, paired = TRUE)
Wilcoxon signed rank exact test
data: tabela_01$florestal and tabela_01$celulose
V = 25, p-value = 2.694e-05
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
> median(tabela_01$florestal, na.rm = TRUE)
[1] 1849.5
> median(tabela_01$celulose, na.rm = TRUE)
[1] 4260

cor.test(tabela_01$florestal, tabela_01$celulose, method = "spearman")
Spearman's rank correlation rho
data: tabela_01$florestal and tabela_01$celulose
S = 90, p-value = 4.205e-07
alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
sample estimates:
rho 0.9692308

GRÁFICO 1
install.packages(c("ggplot2", "ggpubr"))
library(ggplot)
library(ggpubr)

# 2. Conjunto de dados
dados <- data.frame(
  ano = 1999:2024,
  florestal = c(354, 559, 470, 684, 1396, 958, 730, 3020, 3775, 4330, 3584, 3808,
 3670, 3210, 2832, 2016, 1899, 1748, 1692, 1789, 1691, 1693, 1800, 1963,
2291, 2427),
  celulose = c(4213, 3788, 3514, 3930, 3148, 4450, 5608, 5568, 6592, 6945, 6418, 591
 5723, 5637, 5685, 5090, 4962, 4402, 3966, 4214, 3980, 3319, 4108, 4002, 4306,
5029)
)

# 3. Gráfico com Variações (pontos), Linhas e Equações
ggplot(dados, aes(x = ano)) +
 # --- Variações (Pontos Reais) ---
 geom_point(aes(y = florestal, color = "Base Florestal"), alpha = 0.5, size = 2) +
 geom_point(aes(y = celulose, color = "Papel e Celulose"), alpha = 0.5, size = 2) +
 # --- Linhas de Regressão ---
 geom_smooth(aes(y = florestal, color = "Base Florestal"),
 method = "lm", se = FALSE, size = 1.2) +
 geom_smooth(aes(y = celulose, color = "Papel e Celulose"),
 method = "lm", se = FALSE, size = 1.2) +
 # --- Equações e R² ---
 stat_regline_equation(aes(y = florestal, color = "Base Florestal"),
```

```
 label.y = 7500, label.x = 2000) +
 stat_cor(aes(y = florestal, color = "Base Florestal"),
 label.y = 7100, label.x = 2000) + # Adiciona o R
 stat_regline_equation(aes(y = celulose, color = "Papel e Celulose"),
 label.y = 8500, label.x = 2000) +
 stat_cor(aes(y = celulose, color = "Papel e Celulose"),
 label.y = 8100, label.x = 2000) +
 # --- Estilização

  scale_color_manual(values = c("Base Florestal" = "#228B22", "Papel e Celulose" =
"#4682B4")) +
 labs(
 title = "Análise de Acidentes",
 subtitle = "Dados históricos (1999-2024)",
 x = "Ano",
 y = "Número de Acidentes",
 color = "Setor"
 ) +
 theme_minimal() +
 theme(legend.position = "bottom")
 theme(legend.position = "bottom")
]

GRÁFICO 2
library(ggplot2)
# 1. Preparar os dados com um marcador de período
dados <- data.frame(
 ano = 1999:2024,
 celulose = c(4213, 3788, 3514, 3930, 3148, 4450, 5608, 5568, 6592, 6945, 6418, 5915
 5723, 5637, 5685, 5090, 4962, 4402, 3966, 4214, 3980, 3319, 4108, 4002, 4306,
5029)
)
# Criar coluna para separar os períodos
dados$periodo <- ifelse(dados$ano <= 2019, "Histórico (1999-2019)", "Alerta Recente
(2020-2024)")

# 2. Gráfico comparativo
ggplot(dados, aes(x = ano, y = celulose, color = periodo)) +
 geom_point(size = 3) +
 geom_smooth(method = "lm", se = FALSE, size = 1.5) +
 scale_color_manual(values = c("Histórico (1999-2019)" = "steelblue",
 "Alerta Recente (2020-2024)" = "red")) +
 labs(
 title = "Setor de Celulose: Quebra de Tendência e Reversão de Risco",
 subtitle = "A curva vermelha mostra a aceleração crítica de acidentes pós-2020",
 x = "Ano",
 y = "Número de Acidentes",
 color = "Período Analisado"
 ) +
 theme_minimal() +
 theme(legend.position = "bottom")

GRÁFICO 3
install.packages(c("ggplot2", "ggpubr", "patchwork", "dplyr", "tidyr"))
library(ggplot2)
library(ggpubr)
```

```
library(patchwork)
library(dplyr)
library(tidyr)

# 2. Dados da Tabela 1
dados <- data.frame(
 ano = 1999:2024,
 florestal = c(354, 559, 470, 684, 1396, 958, 730, 3020, 3775, 4330, 3584, 3808, 367
3210, 2832, 2016, 1899, 1748, 1692, 1789, 1691, 1693, 1800, 1963, 2291, 2427),
 celulose = c(4213, 3788, 3514, 3930, 3148, 4450, 5608, 5568, 6592, 6945, 6418, 5915
5723, 5637, 5685, 5090, 4962, 4402, 3966, 4214, 3980, 3319, 4108, 4002, 4306, 5029),
 pib = c(0.0047, 0.0439, 0.0139, 0.0305, 0.0114, 0.0576, 0.032, 0.0396, 0.0607, 0.05
-0.0013, 0.0753, 0.0397, 0.0192, 0.03, 0.005, -0.0355, -0.0331, 0.0106, 0.0112, 0.01
-0.0388, 0.046, 0.03, 0.032, 0.034)
)
# 3. Preparação para o Gráfico de Elasticidade (Cálculo de variações %)
dados_elasticidade <- dados %>%
 mutate(
 var_florestal = (florestal / lag(florestal) - 1),
 var_celulose = (celulose / lag(celulose) - 1)
 ) %>%
 drop_na()

# --- GRÁFICO A: SÉRIE HISTÓRICA ---
fator_escala <- 80000
plot_historico <- ggplot(dados, aes(x = ano)) +
 geom_bar(aes(y = pib * fator_escala, fill = "PIB"), stat = "identity", alpha = 0.7)
 geom_line(aes(y = florestal, color = "Base Florestal"), size = 0.8, alpha = 0.5) +
 geom_line(aes(y = celulose, color = "Papel e Celulose"), size = 0.8, alpha = 0.5) +
 geom_smooth(aes(y = florestal, color = "Base Florestal"), method = "lm", se = FALSE
linetype = "dashed") +
 geom_smooth(aes(y = celulose, color = "Papel e Celulose"), method = "lm", se = FALS
linetype = "dashed") +
 stat_regline_equation(aes(y = florestal, color = "Base Florestal"), label.x = 2000,
9000, size = 2.5) +
 stat_regline_equation(aes(y = celulose, color = "Papel e Celulose"), label.x = 2000
label.y = 8200, size = 2.5) +
 scale_y_continuous(name = "Nº de Acidentes", limits = c(-3500, 9500),
 sec.axis = sec_axis(~./fator_escala, name = "Variação PIB (%)", labels =
scales::percent)) +
 scale_fill_manual(values = c("PIB" = "#E0E0E0")) +
 scale_color_manual(values = c("Base Florestal" = "#E64A19", "Papel e Celulose" =
"#2C3E50")) +
 labs(title = "A: Evolução Histórica", x = "Ano", color = "Setor", fill = "Indicador
 theme_minimal(base_size = 10) + theme(legend.position = "none")

# --- GRÁFICO B: ELASTICIDADE ---
plot_elasticidade <- ggplot(dados_elasticidade, aes(x = pib)) +
 geom_point(aes(y = var_florestal, color = "Base Florestal"), alpha = 0.6) +
 geom_point(aes(y = var_celulose, color = "Papel e Celulose"), alpha = 0.6) +
 geom_smooth(aes(y = var_florestal, color = "Base Florestal"), method = "lm", se =
FALSE) +
 geom_smooth(aes(y = var_celulose, color = "Papel e Celulose"), method = "lm", se =
FALSE) +
 stat_cor(aes(y = var_florestal, color = "Base Florestal"), label.y = 3, size = 3) +
 stat_cor(aes(y = var_celulose, color = "Papel e Celulose"), label.y = 2.5, size = 3
```

```
 scale_x_continuous(labels = scales::percent) +
 scale_y_continuous(labels = scales::percent) +
 scale_color_manual(values = c("Base Florestal" = "#E64A19", "Papel e Celulose" =
"#2C3E50")) +
 labs(title = "B: Elasticidade PIB vs Acidentes", x = "Variação do PIB (%)", y = "Va
Acidentes (%)") +
 theme_minimal(base_size = 10)
# --- JUNÇÃO FINAL ---
layout_final <- (plot_historico | plot_elasticidade) +
 plot_layout(guides = "collect") &
 theme(legend.position = "bottom", plot.title = element_text(face = "bold"))
# Exibir
layout_final
```