

Prospecção Tecnológica e Mapeamento do Sisal e Seus Subprodutos (1889-2022)

Technological Prospecting and Mapping of Sisal and its By-Products (1889-2022)

Ana Carolina Nóbrega Leite¹

Josivanda Palmeira Gomes¹

Flávio Luiz Honorato da Silva²

José Moreira da Silva Júnior³

¹Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil

²Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, Brasil

³Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil

Resumo

O sisal é uma planta herbácea cultivada por suas propriedades fibrosas que possuem ampla aplicação industrial e cujos subprodutos são descartados. O presente trabalho objetiva fazer uma prospecção sobre as aplicações do sisal e seus subprodutos, avaliando o panorama mundial e nacional da proteção de tecnologias desenvolvidas na área. O estudo prospectivo foi realizado com base nos pedidos de patentes depositados nos bancos de dados do INPI e Espacenet do ano de 1889 até o período de junho de 2022. Foi constatado que a China lidera o *ranking* tecnológico com relação ao sisal, seguida pelo Brasil e pelo Reino Unido. O Brasil acompanha a tendência mundial de crescimento de tecnologias no assunto, mas apresenta um desenvolvimento mais lento. Os resultados demonstram que pouco investimento ainda é feito na cadeia produtiva do sisal e em políticas públicas que fortaleçam a inovação tecnológica no país.

Palavras-chave: *Agave sisalana*. Resíduos agroindustriais. Propriedade Intelectual.

Abstract

Sisal is a herbaceous plant cultivated for its fibrous properties that have wide industrial application and whose by-products are discarded. The present work aims to make a prospection on the applications of sisal and its by-products, evaluating the global and national panorama of the protection of technologies developed in the area. The prospective study was carried out based on patent applications deposited in the INPI and Espacenet databases from the year 1889 to the period 06/2022. It was found that China leads the technological ranking in relation to sisal, followed by Brazil and the United Kingdom. Brazil follows the global trend of growth of technologies in the subject, but presents a slower development. The results show that little investment is still made in the sisal production chain and in public policies that strengthen technological innovation in the country.

Keywords: *Agave sisalana*. Agro-industrial waste. Intellectual Property.

Área Tecnológica: Inovação Tecnológica. Produtos Naturais.



1 Introdução

A *Agave sisalana* Perrine, popularmente conhecida como sisal, é uma planta herbácea monocotiledônea pertencente ao gênero *Agave* (ESCAMILLA-TREVIÑO, 2011). As plantas desse gênero são originárias da América Central e do Norte e, atualmente, possuem ocorrência em países tropicais e subtropicais de diferentes partes do mundo, como Brasil, Tanzânia, Quênia, Madagascar, China e México (SOUZA *et al.*, 2021). O sisal é conhecido como uma planta notável por ter qualidades multidimensionais, possuindo alta capacidade de suportar condições ambientais adversas devido ao seu potencial de conservar água em suas folhas (SHAHZAD *et al.*, 2022).

A cultura sisaleira passou a ser explorada comercialmente no Brasil a partir da década de 1940, concentrando-se na Região Nordeste (CÂNDIDO FILHO; SIQUEIRA; ARAÚJO, 2018). A agavecultura ocupa uma extensa área de solos pobres na região semiárida do Nordeste brasileiro, que sofre com questões de irregularidades pluviométricas, o que compromete drasticamente as atividades agrícolas e pecuárias (FREITAS *et al.*, 2018).

Atualmente, o Brasil lidera a produção e exportação mundial de sisal, e cerca de 80% da produção brasileira são direcionadas ao mercado externo (FREITAS *et al.*, 2018). No Brasil, a produção do sisal está concentrada no Estado da Bahia, responsável por 94,2% de sua área cultivada no território brasileiro e os 5,8% restantes estão localizados na Paraíba (5,6%), Ceará (0,1%) e Rio Grande do Norte (0,1%) (IBGE, 2020). Nesse contexto, o sisal apresenta uma relevância socioeconômica na Região Nordeste, sendo uma alternativa para o desenvolvimento de atividades produtivas nessas áreas e gerando emprego e renda em regiões que possuem uma escassez de alternativas.

O sisal é uma fibra natural que vem sendo bastante estudada devido às vantagens apresentadas por ela, como: abundância no Brasil; boa adaptação a climas tropicais e subtropicais; facilidade de cultivo; ser um material biodegradável que provém de fonte renovável; e possuir boas propriedades como isolante térmico e acústico, tenacidade, resistência à abrasão e baixo custo (DINIZ *et al.*, 2020).

Entretanto, apenas 5% do desfibramento das folhas de sisal produz a fibra dura que é usada para vários fins; os 95% restantes consistem em resíduos sólido (bagaço) e líquido que normalmente são descartados pelas fazendas de sisal (OASHI, 1999). Os resíduos que constituem grande volume no processo de beneficiamento da planta devem ser avaliados como alternativa para agregação de valor na cadeia produtiva do sisal, promovendo distribuição de renda na região (CARDOSO, 2019). Na tentativa de utilizar esses resíduos, alguns pequenos produtores locais os aplicam sistematicamente na suplementação de alimentação dos animais ruminantes, como adubo orgânico ou para fins terapêuticos (SANTOS *et al.*, 2009; VIEL *et al.*, 2017).

A busca por produtos naturais a partir de resíduos agroindustriais, que podem se tornar úteis para a sociedade, têm crescido nos últimos anos. Estudos recentes destacam o aproveitamento dos subprodutos do processamento de *A. sisalana* por seu potencial inseticida no controle de insetos e pragas, além de apontar diferentes possibilidades de aplicações farmacológicas para a espécie, fornecendo materiais de partida para a produção de esteroides e inulina (PIZARRO *et al.*, 1999; KERIKO; MUTUA, 2008; DEBNATH *et al.*, 2010; NUNES *et al.*, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2016). Dias (2009) verificou que o resíduo de sisal pode ser utilizado na correção de acidez e de propriedades químicas do solo. Pesquisas também apontam que o sisal é rico em fitoquí-

micos responsáveis pelas atividades anti-inflamatória, analgésica, anti-helmíntica, antimicótica, antioxidante, antiviral, antibacteriana, gastroprotetora e bactericida (SHAHZAD *et al.*, 2022).

Em virtude da escassez de dados da literatura e de estudos que discorram sobre o uso dos documentos patentários no âmbito acadêmico referentes à aplicação do sisal e de seus subprodutos, este trabalho objetiva prospectar a evolução dos depósitos de patentes sobre o assunto, tanto no Brasil quanto no mundo. Tal levantamento de dados permite um estudo de anterioridade e o aprofundamento no tema com o intuito de observar a existência de tendências de mercado mundial e perspectivas de trabalhos futuros.

2 Metodologia

De acordo com Ravaschio, Faria e Quoniam (2010), pesquisadores costumam considerar os documentos de patentes como um instrumento comercial, e, quando procuram informações acerca do estado da técnica de uma tecnologia, utilizam-se das fontes clássicas de informação, como artigos de periódicos, anais de congresso, dissertações e teses. Entretanto, as patentes não são apenas fontes de conhecimento tecnológico, mas apontam informações sobre os principais agentes que atuam em determinado setor. O mapeamento por meio da análise de patentes é fonte de possíveis rotas tecnológicas, além de apontar para temas de pesquisas futuras (SANTOS; KALID, 2020).

A prospecção tecnológica é uma ferramenta para análise e compilação das informações patentárias. A prospecção foi realizada no mês de junho de 2022, com base nos pedidos de patentes depositados até esse período nos bancos de dados do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) e na base europeia European Patent Office (Espacenet). Os documentos de patentes analisados abrangem pedidos de patente publicados, arquivados e patentes concedidas.

Como estratégia de busca dos pedidos de patentes, foram utilizadas palavras-chave combinadas com o operador Booleano “OR”. Os termos utilizados na pesquisa nos bancos de dados foram “sisal” e “*Agave sisalana*”. Também foram considerados válidos para a prospecção os documentos que apresentassem esses termos no título.

A seleção e a análise das patentes foram baseadas nas informações descritas nos documentos, tendo uma abordagem documental, quantitativa e exploratória (GIL, 2008). A prospecção tecnológica nos bancos de dados INPI e Espacenet foi realizada com análise dos documentos quanto ao tipo de invenção, ano de publicação, país de origem da publicação, classificação do pedido de patente e tipo de depositante. Foi utilizado o *software* Excel 2020 (Microsoft) para organização dos dados obtidos, bem como para a contagem, distribuição em grupos e plotagem dos gráficos.

3 Resultados e Discussão

A partir do escopo metodológico, a prospecção encontrou 803 patentes relacionadas ao sisal na base europeia Espacenet e 61 na base brasileira INPI, conforme é apresentado na Tabela 1. Foram analisados os documentos relacionados ao sisal e seus subprodutos e tecnologias correlatas, com a finalidade de observar a evolução ao longo dos anos dos depósitos de patentes

e avaliar o panorama mundial e nacional da proteção de produtos e processos relacionados à essa espécie vegetal.

Tabela 1 – Pesquisa por palavras-chave e IPC nos bancos de dados INPI e Espacenet

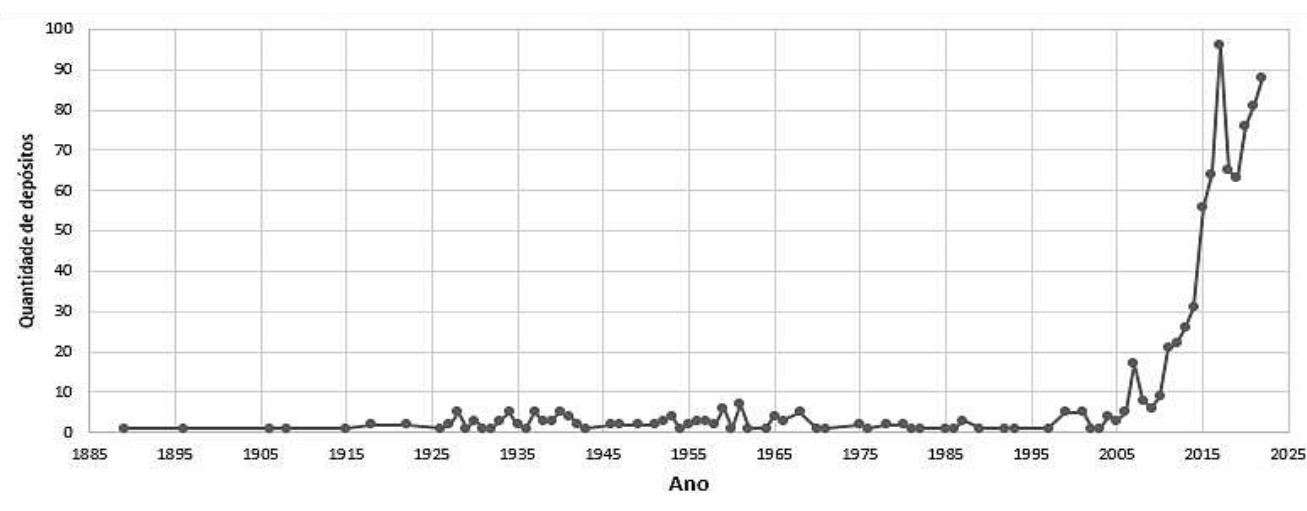
PALAVRAS-CHAVE	INPI	ESPACENET
sisal	57	782
agave sisalana	17	21
sisal or agave sisalana	61	803

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2022)

A partir da Figura 1, observa-se a evolução anual de depósitos de patentes relacionados ao sisal em diferentes áreas tecnológicas no mundo, entre os anos de 1889 e 2022. Nota-se que existe um período de oscilação até o final da década de 1990, marcado pela variação na quantidade de pedidos de patentes. De acordo com Cantalino e Torres (2014), o início do interesse pela tecnologia de decorticação, no final da década de 1980, coincide com o início de uso da fibra de agave mexicano (*Agave tequilana*) para enfardamento nas colheitadeiras, primeira utilização massiva do sisal registrada na literatura.

Entretanto, é possível verificar uma tendência de crescimento de inovação tecnológica que se iniciou em 2004 e se estende até a data presente, indicando que o sisal é um produto de potencial interesse mundial e existem oportunidades de desenvolvimento tecnológico nesse campo de estudo a serem exploradas no futuro. O ano com maior quantitativo de patentes foi 2017, totalizando 96 depósitos. Apesar da queda no número de depósitos no ano seguinte, observa-se que já existe uma nova tendência de aumento linear no desenvolvimento de tecnologias na área. Até o presente momento do levantamento de dados, 88 patentes já foram depositadas no primeiro semestre de 2022.

Figura 1 – Evolução anual de depósitos de patentes relacionadas ao sisal no mundo



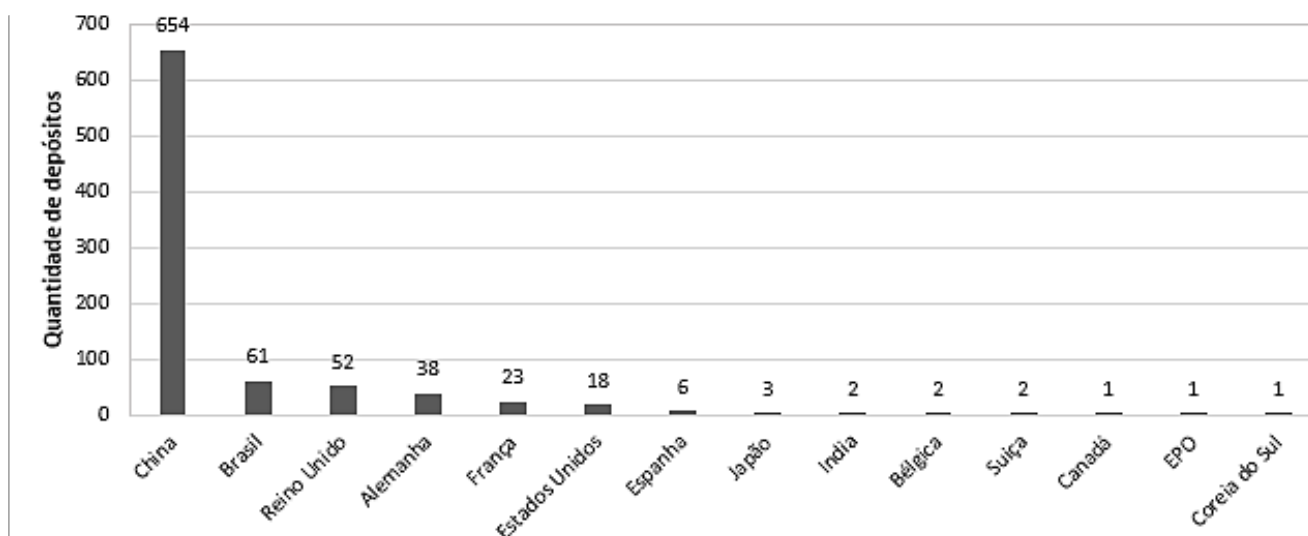
Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2022)

Identificou-se que entre os anos de 1889 e 1965 prevalecem os depósitos de pedidos relacionados a tecnologias básicas de processamento das folhas de sisal, envolvendo equipamentos de decorticação, limpeza e acabamento das partes fibrosas, bem como tratamento de suavização e melhorias das fibras duras. Já entre o período de 1965 a 1995, destacam-se o desenvolvimento de tecnologias de aplicação das fibras do sisal na indústria têxtil e o início dos estudos relacionados ao processamento do resíduo líquido para extração de compostos bioquímicos, como sapogenina e hecogenina. De 1995 até a atualidade, verificou-se que a maior parte dos depósitos de patentes relacionados ao sisal agora têm foco na elaboração de produtos de alto valor agregado na construção civil, indústria têxtil, automobilística, farmacêutica e alimentícia.

Ao longo do tempo, a cultura do sisal atravessou diversos momentos no mundo dos negócios. Soares, Arruda e Amarante (2022) acrescentam que, além do mercado econômico ser mecanismo de influência na trajetória do sisal, outros fatores de influência foram a evolução das tecnologias do maquinário utilizado no desfibramento da fibra e as pesquisas científicas que abriram um leque de possibilidades para sua usabilidade e produção de novos produtos. Os resultados obtidos estão em conformidade com os autores, que identificaram quatro momentos dentro do processo de desenvolvimento da cultura do sisal: 1910 a 1930, com tecnologias de máquinas manuais de decorte; 1940-1975, com a evolução para a máquina a motor; 1976 a 1990, com o surgimento das máquinas mecanizadas; e de 2000 ao momento atual, com novas aplicações do sisal e subprodutos.

Na Figura 2 está apresentada a distribuição dos pedidos de patente relacionados ao sisal no mundo. Observa-se que a China é o país que lidera o ranking de desenvolvimento tecnológico nessa área, com 654 documentos de patentes depositados (76%), seguido pelo Brasil e pelo Reino Unido, com 61 (7%) e 52 (6%) patentes, respectivamente. Ainda, entre os principais países, aparecem Alemanha, com 38 depósitos (4,4%), França com 23 (2,7%), Estados Unidos com 18 (2%), Espanha com seis (0,7%) e Japão com três (0,35%).

Figura 2 – Pedidos de patentes relacionadas ao sisal depositadas por país



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2022)

Apesar de o Brasil liderar a produção e exportação global de sisal e ocupar a 2ª colocação no ranking de patentes na área, o baixo percentual indica que poucos investimentos ainda são

feitos na cadeia produtiva da *Agave sisalana* e no setor de ciência e tecnologia, responsável pelo desenvolvimento de pesquisa científica e inovação no país. Queiroga *et al.* (2021) relatam que, mesmo atravessando os seus períodos áureos de produção e exportação no Brasil ao longo da história, a cultura sisaleira nunca recebeu estímulos adequados que pudessem dinamizá-la em bases verdadeiramente econômicas.

Onjala (2010) destaca que, embora a África e a China negociem entre si durante séculos, o nível e a intensidade de suas relações comerciais aumentaram drasticamente desde o ano 2000. Nesse processo, a China tornou-se um destino importante para uma série de exportações africanas, sendo o país o principal mercado de exportação de fibra de sisal para o Quênia, tornando-se um importante insumo para produção de tapetes de alta qualidade, papéis especiais, etc. Ainda de acordo com Silva, Pais e Campos (2013), a China importava menos de 1% do sisal brasileiro em 2001, mas, em 2006, passou a importar 57%. Nesta década (2000-2010), a China experimentava a maior taxa de crescimento das importações do mundo, tornando-se o maior país importador de sisal e outras fibras brutas e o mercado mais dinâmico para esse produto.

Sendo a China a maior detentora de patentes em comparação ao mundo, evidencia-se que houve um grande aumento do desenvolvimento tecnológico no país. Segundo Machado *et al.* (2013), a China assumiu a 1ª posição do *ranking* mundial de patentes na área do sisal e tecnologias correlatas a partir da década de 1990, em virtude dos investimentos em educação, inserindo nas políticas públicas do país um projeto de valorização do sistema de Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação (PD&I), para o fortalecimento e desenvolvimento econômico, tecnológico e social.

Além disso, a China, que até a década passada dependia da importação de matéria-prima, passou a produzi-la e se tornou um dos principais países produtores de sisal da Ásia. A produtividade por unidade de área aumentou 11,25% em relação a dez anos atrás, atingindo 5,4 toneladas por hectare, atribuída à aplicação da tecnologia de plantio e manejo do campo (SONG *et al.*, 2022). Conforme apontam Gao *et al.* (2012), o sisal é uma cultura dominante com potencial capacidade de exportação na China e cerca de 40 genótipos de sisal de quatro gêneros são mantidos no país, alguns dos quais foram introduzidos de países estrangeiros. Atualmente, a cultura da espécie tem sido amplamente plantada nas províncias chinesas de Guangxi, Guangdong, Hainan, Yunnan e Fujian (XIE *et al.*, 2021).

Foi identificado que o primeiro depósito de documento de patente da China relacionada ao sisal foi no ano de 1997. Além disso, até o ano de 2012 o país detinha apenas 91 pedidos, o isso implica que nos últimos dez anos houve um crescimento de 619% no setor de desenvolvimento tecnológico de produção agrícola, processamento, caracterização e aplicação industrial do sisal. Em contrapartida, o Brasil passou de 50 para 61 pedidos de depósito, nesse mesmo período, o que representa um aumento de 22% e sugere um processo de desenvolvimento científico mais lento, apesar de acompanhar a tendência de mercado de crescimento em interesse na espécie.

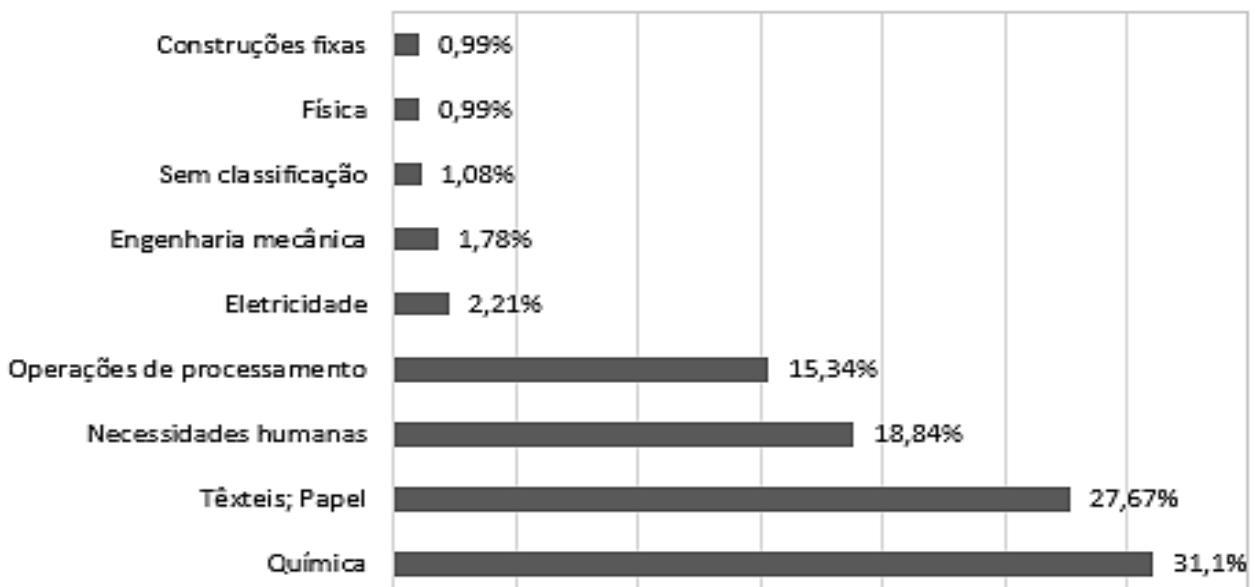
Outro ponto de destaque é que o Reino Unido e a Alemanha foram países pioneiros no desenvolvimento tecnológico relacionado ao sisal, representando 75% das patentes depositadas até a década de 1950. Todas as tecnologias envolvem maquinários de preparação, decorticação, trituração e limpeza de folhas, acabamento e tratamento de amaciamento de fibras, extração e purificação da polpa e adaptações de equipamentos. Conforme destacam Cantalino e Torres (2014), no primeiro período de atividade inovadora (1909-1954), os maiores produtores de sisal do mundo eram os países da Tanzânia e Quênia, que foram inicialmente colonizados pela

Alemanha, sendo depois convertidos em território britânico. Dessa forma, todas as patentes desenvolvidas nos países africanos nesse período eram de posse do regime de monopólio, e, por isso, foram depositadas principalmente pela Grã-Bretanha e, em parte, pela Alemanha.

Segundo López-Romero *et al.* (2017), o México possui 75% das espécies de *Agave* distribuídas pela América e, portanto, é considerado um centro de diversidade do gênero no continente. A principal atividade econômica gerada a partir da planta no México é a produção de bebidas alcoólicas, entre as quais destacam-se tequila, mezcal e bacanora. Entretanto, apesar de ser centro de maior riqueza natural do gênero, o México não aparece no ranking de depositantes de tecnologias relacionadas ao sisal, pois a espécie de maior interesse no país é a *Agave tequilana* Weber azul, ou *Agave Americana* L., com ampla utilização na produção da tequila, uma vez que, sob a lei mexicana, apenas a agave azul, que tem uma coloração azul intensa, pode ser usada para produzir essa bebida destilada. Kestur *et al.* (2013) citam que a parte de interesse industrial da *A. tequilana* é o caule, de onde o suco doce é extraído para produção da bebida alcoólica, e o bagaço, composto de fibra e medula, é considerado resíduo.

A Figura 3 apresenta a distribuição das principais áreas tecnológicas de utilização do sisal no mundo. A partir do código de Classificação Internacional de Patentes, destaca-se que 718 (31,1%) tecnologias estão relacionadas à área de química e metalurgia, 639 (27,67%) à indústria têxtil e de papel, 435 (18,84%) a necessidades humanas, 354 (15,34%) a operações de processamento, 51 (2,21%) à eletricidade, 41 (1,78%) à engenharia mecânica, 23 (0,99%) à física e 23 (0,99%) a construções fixas. Além disso, encontrou-se um total de 25 patentes (1,08%) que não possuem nenhuma classificação, ainda que não havendo local específico para uma tecnologia prevista no IPC, deve ser utilizado o mais apropriado à invenção. É importante mencionar que as patentes não têm limites estabelecidos e podem possuir mais de um código, de acordo com a diversidade de funcionalidades e aplicações de uma invenção.

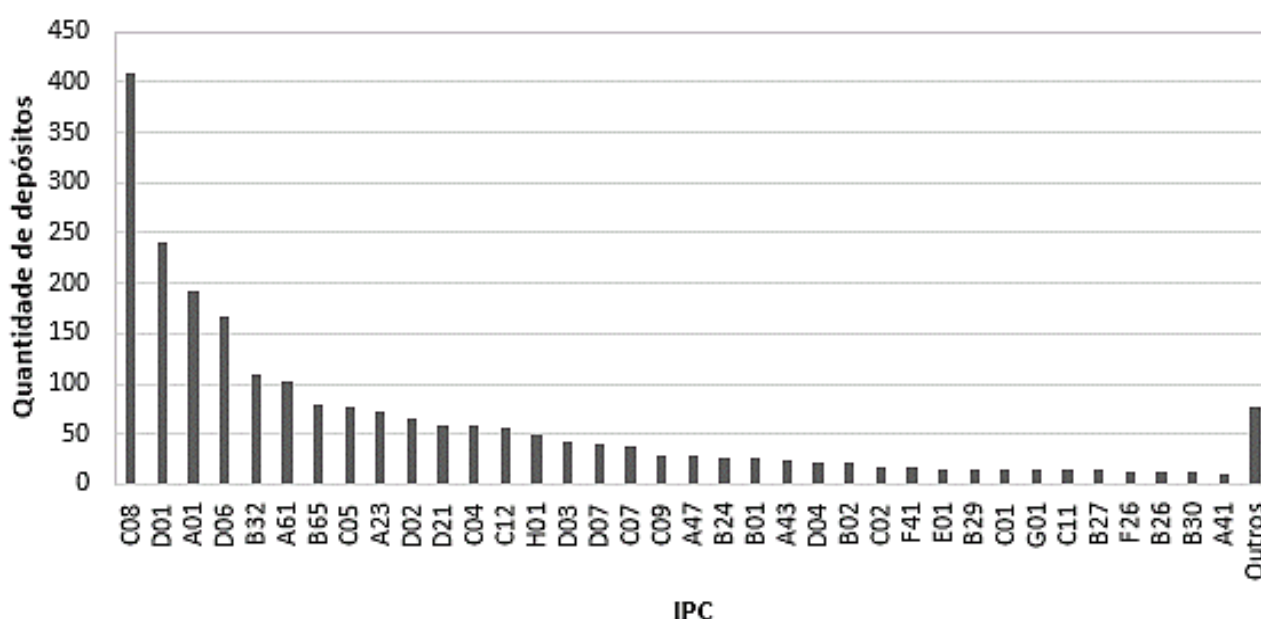
Figura 3 – Distribuição de patentes relacionadas ao sisal depositadas de acordo com o IPC



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2022)

Fazendo uma análise mais aprofundada sobre as áreas tecnológicas envolvidas no estudo, observa-se na Figura 4 o quantitativo de patentes por classes das seções do IPC. As tecnologias da classe C08 dizem respeito a compostos macromoleculares orgânicos, sua preparação ou seu processamento químico, e representam um total de 410 depósitos. A segunda maior área tecnológica é a da classe D01, relacionada a linhas, fibras naturais e manufaturada, ou fiação, e totalizam 241 depósitos. Já a terceira maior classe é a A01, pertinente ao desenvolvimento de tecnologias no setor agrícola, na agricultura, silvicultura, pecuária, caça e pesca, totalizando 192 depósitos. Destacam-se, ainda, com mais de 100 depósitos cada, os códigos: D06, respectivo a tratamento de têxteis ou similares e materiais flexíveis, com 167 depósitos; B32, de produtos estruturados com camadas, com 110 depósitos; e A61, sobre desenvolvimento em ciência médica ou veterinária, com 102 depósitos.

Figura 4 – Quantidade de pedidos de patentes relacionadas ao sisal depositadas por classe do IPC



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2022)

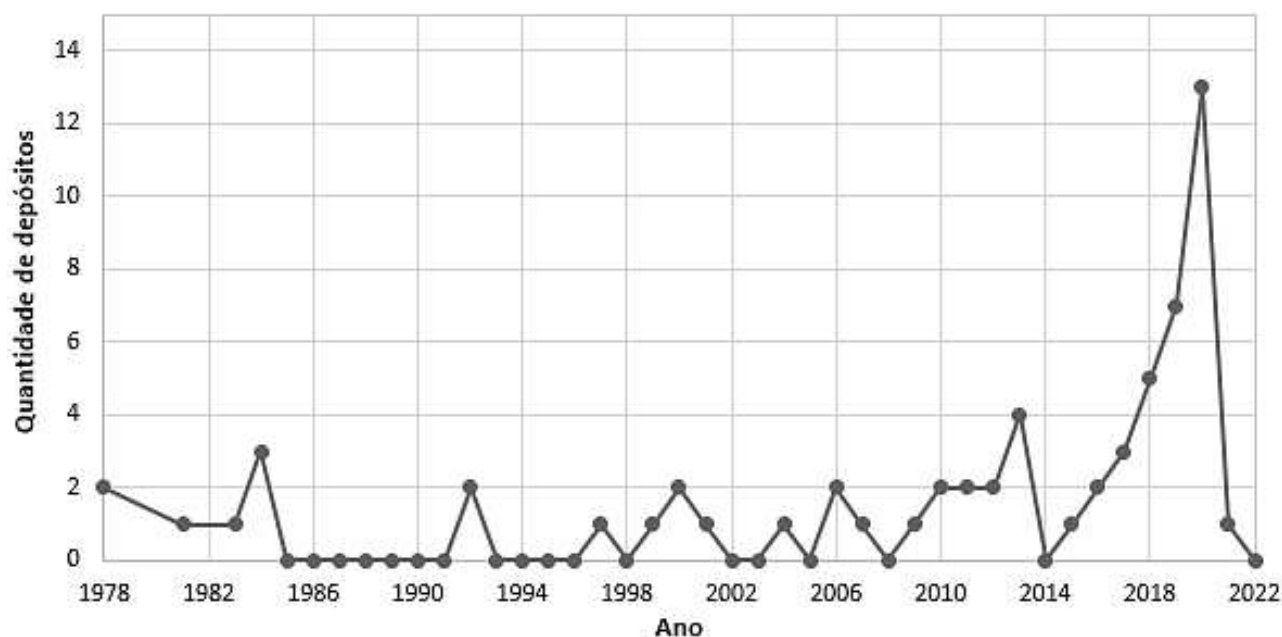
De acordo com os resultados obtidos, é possível afirmar que o sisal pode ser empregado em diversos setores industriais e possui um potencial de mercado promissor. No que diz respeito às necessidades humanas, destacam-se as aplicações alimentícias e no setor agrícola, na produção de fertilizantes, pesticidas e inseticidas orgânicos, bem como utilização no tratamento de efluentes. No ramo da química, a matriz vegetal é de notável importância na obtenção de componentes de interesse da indústria farmacêutica, como inulina, sapogeninas esteroidicas, hecogenina e tigogenina, além de produção de etanol a partir do bagaço e da fibra. No campo da indústria têxtil e de papel, evidenciam-se desde o maquinário e os processos de obtenção da fibra até a sua utilização na obtenção de celulose e fabricação de papéis de alta resistência, em estofamentos na indústria automobilística e em estruturas e reforço de malhas de vidro na construção civil.

Scopel, Gregolin e Faria (2013) estudaram as tendências tecnológicas do uso do sisal em compósitos e verificaram a existência de um crescente interesse e investimentos industriais em pesquisas relacionadas ao sisal distintas das suas aplicações iniciais, que eram voltadas para a utilização das fibras para confecção de cordas. Os autores também destacaram que, frente ao patenteamento nos demais assuntos tecnológicos proeminentes, existe um maior desenvolvimento de tecnologias associadas ao sisal em áreas de química, ciência dos materiais e dos polímeros.

Cardoso (2019) analisou o panorama tecnológico dos resíduos do sisal por meio de pesquisa bibliográfica e evidenciou que os componentes químicos presentes no suco elevam sua importância na produção de fármacos, com base nos estudos que comprovam sua atividade biológica e potencial terapêutico. A mucilagem (polpa das folhas) do sisal oferece possibilidades de uso na agropecuária, na composição alimentícia de ruminantes e na produção de silagens aditivadas e substratos para solo. A bucha (fibras longas) também confere alternativas para a indústria automobilística, energética e química. Contudo, o maior desafio ainda é agregar valor aos subprodutos, dado que existe uma grande distância entre o produtor rural que trabalha no beneficiamento da planta e os resultados obtidos nas pesquisas científicas. Esse distanciamento dificulta a transformação desses resíduos em novas oportunidades de investimento que ampliem a geração de renda da população sisaleira.

No que concerne ao desenvolvimento tecnológico no Brasil, foram analisados todos os documentos de patentes nacionais relacionadas ao sisal. A primeira patente identificada foi depositada em 14 de junho de 1978 por um inventor independente e trata-se de um Modelo de Utilidade (MU58007245) de equipamento de processamento da fibra, que se refere a disposições para aplicar dupla torção em fiadeira de sisal. A patente brasileira mais recente foi depositada em 15 de novembro de 2021 pela empresa TRL9 TECH e se refere ao processo de obtenção de um compósito polimérico constituído de *pellets* de fibras naturais obtidas a partir dos resíduos de cortes da pupunha e do sisal. Até o período em que esta pesquisa foi realizada, nenhuma patente relacionada ao sisal foi depositada em 2022, segundo o banco de dados brasileiro.

Na Figura 5 está apresentada a análise da evolução histórica dos depósitos de patentes no Brasil, conforme dados do INPI. O gráfico mostra que a partir de 2014 houve um crescimento linear na quantidade de patentes depositadas relacionadas ao sisal no Brasil, atingindo um pico em 2020, com um total de 13 depósitos, e tendo uma queda no ano seguinte. Percebe-se ainda que houve um período entre 1985-1991 em que nenhum tipo de tecnologia foi desenvolvida na área. Tal observação coincide com o período de estado de crise das lavouras sisaleiras na Paraíba, segunda maior produtora do país. De acordo com Moreira *et al.* (1996), a crise se iniciou a partir de 1984, devido aos anos de seca entre 1980-1983, culminando em quedas consecutivas de área colhida e produção de fibra. Nesse período, a produção, que chegou a atingir cerca de 100 mil toneladas entre os anos de 1977 e 1979, passou a ser em torno de 25 mil toneladas em 1995.

Figura 5 – Evolução anual de depósitos de patentes relacionadas ao sisal no Brasil

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2022)

Ainda fazendo referência à Figura 5, observa-se que, apesar de haver um pequeno pico em 1992, logo em seguida, existe outro período em que nenhuma patente relacionada ao sisal foi depositada no Brasil, entre os anos de 1993 e 1996. Esse fato pode ser explicado pela situação de crise que ocorreu entre 1993 e 1995 na Bahia, maior produtora de sisal do país, com reduções de área colhida e produção que atingiram níveis próximos de 50%. Esse declínio está associado a um período de seca e a motivos econômicos, como baixa de preços e falta de competitividade no mercado internacional, que levou ao surgimento de problemas adicionais na região.

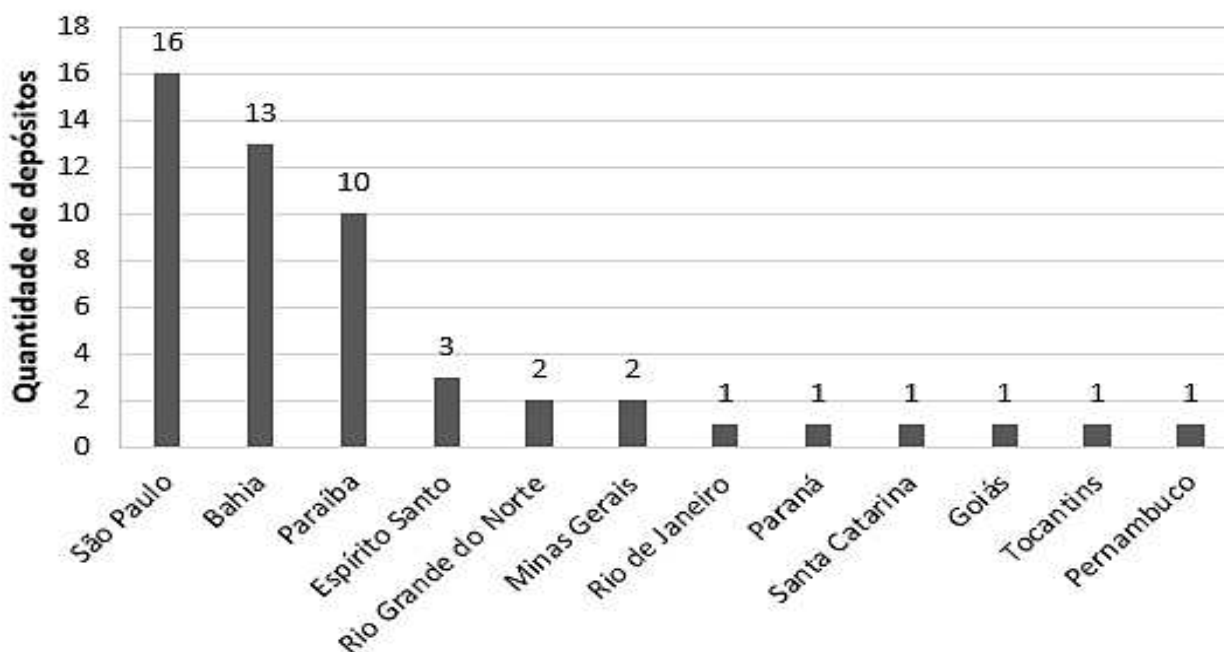
Um dos motivos que explicam o declínio é o estado de abandono dos campos produtivos, que efetuavam apenas a extração das fibras e não possuíam nenhuma técnica que poupasse a planta e reaproveitasse seus resíduos. Além disso, alguns dos grandes produtores passaram a utilizar a cultura principalmente como alimento para o rebanho bovino nos períodos de estiagem marcados pela grande perda de umidade dos solos (MOREIRA *et al.*, 1996). Outro fato que contribuiu para a depreciação da cultura sisaleira no mercado internacional foi a inovação tecnológica do fio sintético de polipropileno, derivado do petróleo, que passou gradativamente a substituir as fibras naturais (CÂNDIDO FILHO; SIQUEIRA; ARAÚJO, 2018). Desde o seu aparecimento após a Segunda Guerra Mundial, a fibra sintética de origem petroquímica vem deslocando o mercado das fibras naturais por seu custo, durabilidade e qualidade (SOARES; ARRUDA; AMARANTE, 2022).

De acordo com os dados obtidos, é possível observar que as patentes depositadas até os anos 2000 no Brasil eram voltadas para o desenvolvimento de tecnologias de beneficiamento da planta, como fiadeiras, prensas para enfardamento, desfibradoras semiautomáticas e automáticas, esteiras transportadoras e bobinas de fibras de sisal. Já as tecnologias desenvolvidas a partir do século XXI são aplicações da fibra do sisal na confecção de artigos de decoração, fabricação de resinas, termoplásticos, compósitos isolantes térmicos e acústicos, geotêxtil, material plástico biodegradável e obtenção de celulose. Destacam-se ainda as tecnologias de

aproveitamento dos subprodutos do desfibramento do sisal que começaram a ser desenvolvidas na última década, com enfoque na obtenção de substâncias orgânicas como membranas de filtragem, carvão ativado, vanilina, arabitol, polissacarídeos e extrato etanólico.

Uma avaliação da distribuição das patentes nacionais por Estado Brasileiro foi feita com o intuito de investigar onde se localizam as produções tecnológicas relacionadas ao sisal no país. A partir da Figura 6, observa-se que, apesar de o cultivo do sisal estar concentrado nos Estados da Bahia, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará, o maior depositante de tecnologias associadas a essa matriz vegetal no Brasil é o Estado de São Paulo. Por mais que não possua áreas produtivas da cultura, São Paulo é o centro dinâmico da economia nacional e detém maior concentração espacial da produção industrial e do setor de serviços, além de grande capacidade de acumulação dos investidores privados (POCHMANN; SILVA, 2020).

Figura 6 – Distribuição de patentes relacionadas ao sisal depositadas no Brasil por Estado



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2022)

Verifica-se ainda que, em um panorama regional, a Região Nordeste detém 43,3% dos depósitos de patente do país, seguida do Sudeste com 36,7%, Sul com 3,3%, Norte com 1,7% e Centro-Oeste com 1,7%. Os 13,3% restantes são relativos aos pedidos de patentes de depositantes estrangeiros ou pedidos em que não havia especificação do depositante.

Analisou-se ainda os Estados da Bahia e Paraíba em torno do levantamento de pesquisas científicas e tecnológicas no tema, dado que são os maiores produtores de sisal no território brasileiro (IBGE, 2020). Dias (2009) relata que, no ano de 1954, o Estado da Paraíba era o maior produtor de sisal do Brasil. Porém, com os desestímulos provenientes da queda dos preços no mercado internacional, a área plantada no Estado reduziu drasticamente. Em contrapartida, nesse período na Bahia, houve um aumento da área plantada, pois ocorreu um investimento por parte do Governo Estadual para a ocupação agrícola das regiões semiáridas.

Ainda segundo Soares, Arruda e Amarante (2022), apesar da evolução dos equipamentos de beneficiamento das fibras nas últimas décadas, a falta de apoio financeiro por parte dos

Governos Federal e Estadual aos produtores rurais dificulta a chegada dessas tecnologias às zonas produtoras e, por isso, na região semiárida do Nordeste Brasileiro, ainda prevalece a mão de obra artesanal. A ausência de assistência técnica aliada à falta de rentabilidade confere uma baixa adesão por parte dos agricultores locais, dado que o beneficiamento da fibra é uma atividade que provoca muitos acidentes de trabalho.

4 Considerações Finais

Foi identificada uma tendência de crescimento de inovação tecnológica envolvendo o sisal, refletida pelo aumento do número de patentes, que indicam que a *Agave sisalana* é um produto de potencial interesse mundial. A China é a principal detentora de tecnologias de processamento e aplicações industriais do sisal e seus subprodutos, representando 76% dos depósitos mundiais, seguida por Brasil (7%) e Reino Unido (6%). Quanto à classificação das tecnologias desenvolvidas, o maior percentual está associado à área de química, com notável importância na obtenção de componentes de interesse da indústria farmacêutica.

O Brasil acompanha a tendência mundial de crescimento de tecnologias na área, mas apresenta um desenvolvimento muito mais lento, em comparação com a China. Apesar de liderar a produção e exportação mundial, o baixo número de patentes depositadas pelo Brasil demonstra que a cultura do sisal ainda não é valorizada e que pouco investimento é feito na cadeia produtiva e em políticas públicas que fortaleçam a inovação tecnológica no país.

5 Perspectivas Futuras

Diante da desvalorização da cultura do sisal, do pouco investimento em sua cadeia produtiva no Brasil e sendo um produto de potencial interesse mundial e uma matéria-prima de baixo custo e abundante no Nordeste, observa-se a possibilidade de agregar valor por meio de tecnologias que contribuam para o desenvolvimento econômico e social da região e do país. Como perspectivas futuras, espera-se que novas pesquisas sejam desenvolvidas para o aprimoramento do processamento do sisal e seus subprodutos, em função da conservação dessas matérias-primas e de seus princípios ativos, de modo a permitir mais aplicações com viabilidade comercial e geração de renda.

Referências

CÂNDIDO FILHO, A.; SIQUEIRA, I. G. D.; ARAÚJO, J. M. M. Importância do sisal na região do Seridó da Paraíba e no Curimataú: um referencial teórico. In: VIII SIMPÓSIO SOBRE REFORMA AGRÁRIA E QUESTÕES RURAIS, São Paulo, 2018. **Anais** [...]. São Paulo, 2018.

CANTALINO, A. L.; TORRES, E. A. Prospecção tecnológica sobre processos e equipamentos para o desfibramento do sisal e outras plantas fibrosas com base no depósito de patentes. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 7, n. 3, p. 399-408, 2014.

CARDOSO, M. S. Panorama tecnológico de uso dos resíduos de sisal. **SEMIOSES: Inovação, Desenvolvimento e Sustentabilidade**, [s.l.], v. 13, n. 3, p. 13-23, 2019.

- DEBNATH, M. *et al.* Biotechnological intervention of *Agave sisalana*: a unique fiber yielding plant with medicinal property. **Journal of Medicinal Plants Research**, [s.l.], v. 4, n. 3, p. 177-187, 2010.
- DIAS, A. T. **Valorização dos resíduos de sisal**: uma proposta para a Região do Semiárido do Estado da Bahia. 2009. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Bahia, 2009.
- DINIZ, J. F. B. *et al.* Secagem de fibras de sisal em estufa com circulação forçada de ar: Um estudo experimental. **Research, Society and Development**, [s.l.], v. 9, n. 10, 2020.
- ESCAMILLA-TREVIÑO, L. L. Potential of Plants from the Genus *Agave* as Bionergy Crops. **Bio Energy Research**, [s.l.], v. 5, n. 1, p. 1-9, 2011.
- FREITAS, A. B. T. M. *et al.* Desenvolvimento de *Agave sisalana* Perrine sob diferentes manejos de adubação e consórcio. **Colloquium Agrariae**, [s.l.], v. 14, n. 4, p. 39-46, 2018.
- GAO, J. *et al.* AFLP analysis and zebra disease resistance identification of 40 sisal genotypes in China. **Molecular Biology Reports**, [s.l.], v. 39, p. 6.379-6.385, 2012.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção agrícola**: Pesquisa Mensal de Previsão e Acompanhamento das Safras Agrícolas no Ano Civil. 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 2 jun. 2022.
- KERIKO, J. M.; MUTUA, M. M. Insecticidal activities of the sisal plant, *Agave sisalana*, *Agavaceae* extracts against white termites, *Reticulitermes flavipes* (Kollar) Rhinotermitidae. **Journal of Agriculture, Science and Technology**, [s.l.], v. 10, n. 1, p. 70-75, 2008.
- KESTUR, G. S. *et al.* Characterization of blue agave bagasse fibers of Mexico. **Composites: Part A**, [s.l.], v. 45, p. 153-161, 2013.
- LÓPEZ-ROMERO, J. C. *et al.* Biological activities of *Agave* by-products and their possible applications in food and pharmaceuticals. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s.l.], v. 98, n. 7, p. 2.461-2.474, 2017.
- MACHADO, B. A. S. *et al.* Estudo prospectivo do sisal e tecnologias correlatas sob o enfoque em documentos de patentes depositadas no mundo (1965-2011). **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 6, n. 1, p. 71-80, 2013.
- MOREIRA, J. A. N. *et al.* **Declínio do sisal e medidas para seu soerguimento no Nordeste brasileiro**. Campina Grande: EMBRAPA/CNPA, 1996. 19p.
- NUNES, F. C. *et al.* The larvicidal activity of *Agave sisalana* against L4 larvae of *Aedes aegypti* is mediated by internal necrosis and inhibition of nitric oxide production. **Parasitology Research**, [s.l.], v. 114, n. 2, p. 543-549, 2015.
- OASHI, M. C. G. **Estudo da cadeia produtiva como subsídio para pesquisa e desenvolvimento do agronegócio do sisal na Paraíba**. 1999. 205f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.
- OLIVEIRA, L. H. G. *et al.* *Agave sisalana* extract induces cell death in *Aedes aegypti* hemocytes increasing nitric oxide production. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, [s.l.], v. 6, n. 5, p. 396-399, 2016.

- ONJALA, J. The impact of China-Africa trade relations: the case of Kenya. **African Economic Research Consortium**, [s.l.], v. 5, 2010.
- PIZARRO, A. P. B. *et al.* O aproveitamento do resíduo da indústria do sisal no controle de larvas de mosquitos. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, [s.l.], v. 32, n. 1, p. 23-29, 1999.
- POCHMANN, M.; SILVA, L. C. Concentração espacial da produção e desigualdades sociais. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, [s.l.], v. 22, e202004, 2020.
- QUEIROGA, V. P. *et al.* **Sisal (*Agave sisalana*, Perrine):** tecnologias de plantio e utilização. 1ed. Campina Grande: AREPB, 2021.
- RAVASCHIO, J. P.; FARIA, L. I. L.; QUONIAM, L. O uso de patentes como fonte de informação em dissertações e teses de engenharia química: o caso da UNICAMP. **Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, [s.l.], v. 7, n. 2, p. 219-232, 2010.
- SANTOS, J. D. G. *et al.* Antimicrobial activity of *Agave sisalana*. **African Journal of Biotechnology**, [s.l.], v. 8, n. 22, p. 6.181-6.184, 2009.
- SANTOS, F. C. G.; KALID, R. A. Prospecção tecnológica: um estudo das tecnologias aplicada ao beneficiamento e derivados do cacau. **Research, Society and Development**, [s.l.], v. 9, n. 3, 2020.
- SCOPEL, F.; GREGOLIN, J. A. R.; FARIA, L. I. L. Tendências Tecnológicas do Uso do Sisal em Compósitos a Partir da Prospecção em Documentos de Patentes. **Polímeros**, [s.l.], v. 23, n. 4, p. 514-520, 2013.
- SHAHZAD, S. *et al.* Physiological and biochemical attributes of *Agave Sisalana* resiliente adaptation to climatic and spatio-temporal conditions. **Pakistan Journal of Botany**, [s.l.], v. 54, n. 1, p. 169-178, 2022.
- SILVA, F. F.; PAIS, P. S. M.; CAMPOS, A. C. Análise do Desempenho das Exportações Brasileiras de Sisal e Derivados para o Período de 1999 a 2008. **Revista Econômica do Nordeste**, [s.l.], v. 44, n. 2, p. 439-452, 2013.
- SOARES, J. H. M.; ARRUDA, D. R.; AMARANTE, P. A. Transformações tecnológicas e econômicas do sisal no Nordeste do Brasil. **Research, Society and Development**, [s.l.], v. 11, n. 5, e15611527847, 2022.
- SOUZA, J. T. *et al.* Endophytic bacteria isolated from both healthy and diseased *Agave sisalana* plants are able to control the bole rot disease. **Biological Control**, [s.l.], v. 157, p. 104575, 2021.
- SONG, S. *et al.* Cutting mechanical properties of sisal leaves under rotary impact cutting. **Industrial Crops and Products**, [s.l.], v. 182, p. 114856, 2022.
- VIEL, A. M. *et al.* Effect of *Agave sisalana* Perrine extract on the ovarian and uterine tissues and fetal parameters: Comparative Interventional Study. **International Multispecialty Journal of Health**, [s.l.], v. 3, p. 129-138, 2017.
- XIE, H. H. *et al.* First Report of Black Spot Caused by *Neoscytalidium dimidiatum* on Sisal in Guangxi, China. **Plant Disease**, [s.l.], v. 105, n. 3, p. 701, 2021.

Sobre os Autores

Ana Carolina Nóbrega Leite

E-mail: anacarolinanobregaleite@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9777-8518>

Mestra em Engenharia Química pela Universidade Federal da Paraíba em 2018.

Endereço profissional: Rua Aprígio Veloso, n. 882, Bairro Universitário, Campina Grande, PB. CEP: 58429-900.

Josivanda Palmeira Gomes

E-mail: josivanda@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2047-986X>

Doutora em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas em 1999.

Endereço profissional: Rua Aprígio Veloso, n. 882, Bairro Universitário, Campina Grande, PB. CEP: 58429-900.

Flávio Luiz Honorato da Silva

E-mail: flavioluizh@yahoo.com.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1307-3324>

Doutor em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas em 1998.

Endereço profissional: Cidade Universitária, s/n, Campus I, Castelo Branco, João Pessoa, PB. CEP: 58051-900.

José Moreira da Silva Júnior

E-mail: junior_moreira88@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0897-9669>

Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba em 2020.

Endereço profissional: Av. Prof. Moraes Rego, n. 1.235, Cidade Universitária, Recife, PE. CEP: 50670-901.