

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

GABRIEL BRITO GENEROSO

**ANÁLISE DO POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO DOS RESÍDUOS INDUSTRIAIS DE
SISAL: UMA REVISÃO**

SOROCABA - SP

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

GABRIEL BRITO GENEROSO

**ANÁLISE DO POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO DOS RESÍDUOS INDUSTRIAIS DE
SISAL: UMA REVISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Área de concentração: Biotecnologia

Orientador: Prof^a. Dr^a. Iolanda Cristina Silveira Duarte

Sorocaba

2021

Generoso, Gabriel Brito

Avaliação do potencial biotecnológico dos resíduos industriais do sisal: uma revisão / Gabriel Brito Generoso -- 2021.
36f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba
Orientador (a): Iolanda Cristina Silveira Duarte
Banca Examinadora: Gabriela Fiori da Silva, João Paulo Agapto
Bibliografia

1. Biotecnologia. 2. Sisal. 3. Indústria. I. Generoso, Gabriel Brito. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -CRB/8 6979

FOLHA DE APROVAÇÃO

GABRIEL BRITO GENEROSO

“POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO DOS RESÍDUOS DO SISAL: UMA
REVISÃO.”

Trabalho de Conclusão de Curso

Universidade Federal de São Carlos – Campus Sorocaba

Sorocaba, 21 de junho de 2021.



Orientador(a) _____
Prof.(a) Dr.(a) IOLANDA CRISTINA SILVEIRA DUARTE



Membro 1 _____
MSc. GABRIELA FIORI DA SILVA



Membro 2 _____
MSc. JOÃO PAULO AGAPTO

“A sabedoria da natureza é tal que não produz nada de supérfluo ou inútil”

— Nicolau Copérnico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, meu primeiro conforto quando as coisas estavam difíceis e também minha força diária. Agradeço, em primeiro lugar, a cada membro da minha família. Aos meus pais, Edson e Ana Paula, que nem mesmo por um dia deixaram de me incentivar a estudar e a correr atrás do meu sonho. Às minhas tias, Nadir e Sílvia, que, bem como meus pais, deram tudo o que podiam para que eu alcançasse o que almejava. À minha avó Maria, que em sua simplicidade estava sempre me incentivando a continuar estudando “na escola”, como ela mesma se referia à universidade; e também aos meus avós maternos, Alda e Jucélio, que mesmo longe nunca deixaram de me apoiar e, por fim, meu irmão, Filipe, que mesmo entre tantos desacordos sempre me teve como exemplo.

Agradeço à minha sala e todos os meus colegas, por terem sido excepcionalmente unidos e terem tornado os dias mais leves. Em especial, meus amigos Júlia, a Margo, e Gabriel, o Agente P, que principalmente na reta final foram minha companhia diária. Claro, não posso deixar de citar meu namorado Elton, que desde quando nos conhecemos até hoje foi uma das pessoas mais importantes na minha vida pessoal e acadêmica.

Por fim, agradeço aos meus professores. Sou grato a todos aqueles que nos trataram com respeito, que buscaram dar seu melhor para que a sala aprendesse o que era ensinado, que estiveram disponíveis quando precisávamos e, cada um à sua própria forma, demonstraram amor pela docência e pesquisa. Agradeço, em especial, a minha professora Iolanda Duarte, que me acolheu como orientando desde minha primeira manifestação de interesse em microbiologia, que foi professora, orientadora e amiga. Agradeço também a toda a equipe do LMA, Tiago, Gabriela, Maria, Bárbara, a Mônica, que até seu último dia de trabalho esteve ao meu lado, e todos os outros que estavam disponíveis para me ajudar, orientar e, acima de tudo, ensinar.

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUÇÃO AO TRABALHO	10
2. ARTIGO	10
2.1. INTRODUÇÃO	10
2.2. ANÁLISE CRÍTICA	11
2.2.1. <i>Agave sisalana</i> na produção de biossurfactantes	11
2.2.2. <i>Agave sisalana</i> na indústria agropecuária	13
2.2.3. <i>Agave sisalana</i> na indústria cosmética e farmacêutica.....	17
2.2.4. <i>Agave sisalana</i> na indústria de biocombustíveis	18
2.2.5. <i>Agave sisalana</i> na indústria alimentícia	19
2.2.6. <i>Agave sisalana</i> como biorremediador	20
2.3. CONCLUSÕES	20
2.4. AGRADECIMENTOS	21
2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

RESUMO

O sisal (*Agave sisalana*) é uma planta originária da América Central, cultivada em boa parte do semiárido brasileiro, em especial no estado da Bahia. Sua principal utilização consiste no desfibramento de suas folhas para uso na indústria têxtil, na produção de fios para redes, carpetes e tapetes. Apenas 4% da planta é utilizada no desfibramento, gerando grande quantidade de resíduo, o qual é descartado no ambiente. Esse resíduo, no entanto, possui aplicações industriais muito importantes, que vão muito além da indústria têxtil. Os resíduos do sisal são produtores de biossurfactantes, dentre eles mais de vinte saponinas exclusivas, que podem ser utilizadas nas mais diversas indústrias. Os resíduos do sisal são, ainda, capazes de eliminar larvas de mosquitos vetores de doenças, larvas de nematóides que atacam importantes fontes agrícolas, têm ação no combate a parasitas de caprinos, ovinos e galináceos. É também fonte de alimentação para biorreatores de biogás e produtor importante de etanol celulósico, tem grande ação antimicrobiana contra microrganismos patogênicos, é fonte de inulina e d-Manitol, dois açúcares importantes na produção de alimentos dietéticos, dentre outras utilidades. A análise do potencial biotecnológico destes resíduos prova que não há razão para que eles continuem sendo descartados no meio ambiente, quando podem ser utilizados industrialmente. Este artigo busca incentivar as indústrias a procurarem alternativas mais ecológicas e menos custosas em suas produções, incentivando economicamente a produção do sisal nos territórios brasileiros, assolados pela pobreza e subsistência humana, bem como estimular a busca por novas utilizações para estes produtos.

Palavras-chave: Sisal; Biotecnologia; Indústria

ABSTRACT

Sisal (*Agave sisalana*) is a plant originated from Central America, cultivated in a major part of Brazilian semi-arid, especially in Bahia region. Its main utilization consists in the defibrating of its leaves for use in the textile industry, in the production of strings, carpets and mats. Only 4% of the plant is utilized in the defibrating, generating a great amount of waste that is discarded in the environment. That waste, however, has very important industrial applications that goes far beyond the textile industry. The sisal waste is a producer of biosurfactants, among it more than twenty exclusive saponins, that are used in several diverse industries. The sisal waste is capable of eliminating disease-vectors mosquito larvae, agriculture plagues nematodes larvae that attacks important agricultural crops and has action against goat, sheep and chicken parasites. It is also a feedstock for biogases bioreactors and an important producer of cellulosic ethanol, has a great antimicrobial activity against pathogens microorganisms, it's a source of inulin and d-Mannitol, two important sugars in the production of diet food, among other uses. The biotechnological potential analysis of this waste proves that there is no reason for that waste to be discarded in the environment, when it can be used industrially. This paper encourages industries to look for more ecological and less expensive alternatives in its productions, economically encouraging the sisal production in Brazilian territories, devastated by poverty and human subsistence, as well as stimulating the search for new uses to these products.

Keywords: Sisal; Biotechnology; Industry

1. INTRODUÇÃO AO TRABALHO

O presente trabalho de conclusão de curso foi realizado em formato de artigo de revisão que será submetido à revista *Ciência, Tecnologia e Ambiente* (<https://www.revistacta.ufscar.br/index.php/revistacta>). A formatação e organização dos tópicos seguem, portanto, as recomendações da revista.

2. ARTIGO

Análise do potencial biotecnológico dos resíduos industriais do sisal: uma revisão.

2.1. INTRODUÇÃO

O sisal (*Agave sisalana*) é uma planta nativa da península de Yucatán, no México, sendo, portanto, originária da América Central (Trejo-Torres et al., 2018), cultivado para produção de fibras em Angola, Brasil, China, Cuba, Haiti, Indonésia, Quênia, Madagascar, Moçambique, México, África do Sul, Tanzânia e Tailândia (FAO, 2010). No Brasil, o cultivo se dá nas regiões semiáridas do nordeste, destacando-se o Território do Sisal, uma região no estado da Bahia que abrange vinte municípios. Apesar de sua comprovada importância, os municípios da região sisaleira da Bahia ainda registram índices de extrema pobreza (Silva, 2017). De acordo com a FAO e IBGE, em 2020 a produção brasileira de sisal foi entre 81 e 84 mil toneladas. O Brasil corresponde a 42% da produção mundial de sisal e o município com maior produção é Campo Formoso, na Bahia, com 27,5 mil hectares plantados.

O processo produtivo do sisal no Brasil se dá pela colheita das folhas e desfibramento em máquinas conhecidas como máquinas paraibanas. As fibras são então expostas ao sol para secar, em seguida são levadas para as bateadeiras de sisal, responsáveis por alisar e selecionar as fibras que, por fim, são levadas para a indústria têxtil, onde servirão na produção de fios, mantas, tapetes e carpetes. Deste processo, formam-se subprodutos, não utilizados para a produção têxtil: a

mucilagem ou polpa, a bucha, o pó e o sumo. Apenas 4% da folha é utilizada no desfibramento e todo o residual é, em geral, descartado (Santos e Silva, 2018).

A *Agave sisalana* é uma planta pertencente à ordem das Liliales e à família Asparagaceae, subfamília Agavaceae. É uma planta monocotiledônea, com folhas rígidas, medindo entre 10 e 15 cm de largura e 1 a 2 metros de comprimento. As folhas possuem um espinho marrom em sua extremidade e a planta mede de 1,7 a 2 m de altura. É acaulescente, ou seja, o caule é pouco desenvolvido. As flores são hermafroditas e polinizadas por morcegos, beija-flores, abelhas, vespas, periquitos e alguns roedores. Fisiologicamente, a *Agave sisalana* apresenta um metabolismo CAM (Crassulacean Acid Metabolism); neste tipo de metabolismo, a planta mantém os estômatos fechados durante as horas mais quentes do dia, diminuindo a perda de água e permitindo que a planta sobreviva em ambientes xéricos, como o semiárido brasileiro (Queiroga et al., 2021). A fibra do sisal é composta por celulose (73%), hemicelulose (3%), lignina (11%) e pectina (2%) (Martin et al., 2009). Até 60% da hemicelulose total pode ser recuperada para a obtenção de açúcares, em especial as xiloses (68,5%), galactose (16,6%) e, em menor quantidade, arabinose, glicose, celobiose e manoses, utilizando para isso reagentes provenientes de fontes renováveis (Megiatto et al., 2007).

O presente estudo tem por objetivo reunir informações de pesquisas realizadas sobre a utilização dos subprodutos do processo de desfibramento do sisal em diferentes, pois apesar de suas inúmeras aplicações, a maior parte destes elementos é descartada no meio ambiente. Acredita-se que as informações sobre o potencial biotecnológico e industrial dos resíduos do sisal não estejam sendo valorizadas pelos responsáveis por empresas que poderiam beneficiar-se destes produtos, portanto, este artigo traz uma revisão bibliográfica completa e atualizada sobre as possibilidades geradas a partir do descarte deste material, buscando atrair o interesse das indústrias, a fim de subsidiar a valorização dos subprodutos do desfibramento do sisal, minimizando impactos ambientais e econômicos, uma vez que sendo recursos naturais, renováveis e sem valor monetário significativo, o uso dos resíduos industriais do sisal em outras indústrias pode reduzir o preço de

custo de muitos bens de consumo como remédios, alimentos e roupas, reduzindo, conseqüentemente, seu valor final e movimentando a economia brasileira.

A metodologia de seleção dos artigos seguiu critérios específicos, a fim de tornar a revisão bibliográfica atual, confiável e precisa. Os artigos foram selecionados e filtrados a partir do ano de 2010, descartando-se publicações anteriores, exceto em casos especiais, como citações de estudos históricos. Priorizou-se o uso de referências mais recentes, publicadas nos últimos cinco anos (2016 a 2021). As bases de dados utilizadas foram o Web of Science, Google Acadêmico, Scielo e ScienceDirect, todas via Periódicos CAPES, por Acesso CAFE. Nestas bases, as palavras-chave “agave sisalana“, “sisal”, “biotechnology” e “industry” foram utilizadas para iniciar a busca pelos artigos mais recentes. Os artigos interessantes para a revisão foram então categorizados de acordo com a indústria a que dizia respeito: biossurfactantes, agropecuária, alimentícia, abastecimento (combustíveis), farmacêutica/cosméticos e também como biorremediador. Os resultados obtidos compuseram, então, a análise crítica do trabalho.

2.2. ANÁLISE CRÍTICA

2.2.1. *Agave sisalana* na produção de surfactantes e biossurfactantes.

Os resíduos industriais do sisal podem ser usados na produção de surfactantes. Os surfactantes são substâncias tensoativas, capazes de reduzir a tensão superficial da água, sendo utilizados como emulsificantes ou agentes molhantes, possuindo aplicações em uma série de indústrias, como a farmacêutica, têxtil, cosméticos, alimentícia, dentre outras. Os surfactantes podem ser obtidos a partir de fontes sintéticas ou através de microrganismos, neste caso sendo chamados de biossurfactantes (Felipe e Dias, 2017). É na produção destes biossurfactantes que o sisal possui grande importância.

O sisal é um produtor indireto de surfactina. Esta substância é produzida sinteticamente a partir de compostos de petróleo, mas pode ser produzida como um biossurfactante a partir do metabolismo da bactéria *Bacillus subtilis* quando crescendo sobre determinados meios. A surfactina

é capaz de reduzir a tensão superficial da água de 72 mN m^{-1} para até 27 mN m^{-1} (Barros et al., 2007). Um dos meios utilizados para o crescimento de *B. subtilis* para obtenção deste biossurfactante foi o licor da polpa de sisal. A surfactina produzida pelas bactérias cultivadas sobre a polpa hidrolisada de *A. sisalana* apresentou tensão superficial de 29.8 mN m^{-1} com hidrólise ácida e 28.7 mN m^{-1} com hidrólise enzimática (Marin et al., 2015).

Os resíduos do desfibramento de *Agave sisalana* também produzem saponinas esteróides. Dentre as saponinas identificadas a partir dos resíduos do sisal, destacam-se uma hecogenina e ticogenina descobertas e registradas por Cripps & Blunden (1978) e a barbougenina, descoberta por Blunden & Patel (1986). Três outras novas saponinas foram reportadas por Ding et al., (1989) como Dongnoside C, D e E e foram isoladas a partir de extratos metanólicos dos resíduos de folhas de sisal fermentadas, Ding et al. (1993) também reportaram a existência de mais duas saponinas esteroidais em *A. sisalana* registradas como Dongnoside A e B. Saponinas esteroidais em *Agave sisalana*, denominadas como Sisalasaponinas C e D foram registradas por Yu et al. (2011). Há registro bibliográfico de 23 substâncias classificadas como saponinas extraídas a partir dos resíduos do sisal (Sidana et al., 2016).

Saponinas são estruturas químicas constituídas por uma parte formada por esteróide ou triterpeno e outra parte formada por um ou mais açúcares. Sendo uma parte da molécula lipofílica e outra hidrofílica, essas substâncias são capazes de quebrar a tensão superficial da água e possuem propriedades detergentes e emulsificantes, sendo, portanto, consideradas surfactantes. As saponinas possuem atividade anticarcinogênica, adjuvante, imunoestimulante, anti-inflamatória, antimicrobiana, hipocolesterolêmica e antioxidante (Sidana et al., 2016). Industrialmente, também foram reportados usos das saponinas como inseticidas, devido a sua atividade anticolesterol, que desregula o metabolismo dos insetos (Ikbal, 2010). Alimentos que possuem esses produtos também são muito importantes na regulação do colesterol, evitando doenças coronárias (Oakenfull, 1981).

A CMC (Concentração Micelar Crítica) de um surfactante é a concentração em que ele começa a formar micelas; a partir deste ponto, aumentar sua concentração não irá surtir muito efeito

tensoativo. As saponinas do sisal possuem CMC entre 0,08 e 0,15 g/L. (Ribeiro et al., 2013). Para aprimorar a extração destas saponinas, a fim de serem utilizadas nas indústrias de interesse, experimentos que visam aperfeiçoar o aproveitamento das saponinas do sisal foram realizados e sugerem que a extração micelar e a pré-concentração das saponinas no ponto-nuvem são eficientes. A pré-concentração é necessária para detectar e reunir um determinado elemento em uma solução para poder extraí-lo. (Ribeiro et al., 2015). A concentração das saponinas presentes no sisal também pode ser feita em uma coluna de espuma, substituindo a concentração em n-butanol, usada tradicionalmente nesse tipo de experimento (Ribeiro et al., 2013).

2.3.2. *Agave sisalana* na indústria agropecuária

Os extratos de *Agave sisalana*, especialmente das folhas, que compõem a maior parte dos subprodutos do processo produtivo de sisal, tiveram sua ação pesticida testada contra uma série de pragas comuns, tanto urbanas quanto rurais.

O mosquito *Aedes aegypti*, conhecido como mosquito da dengue, é um inseto da ordem Diptera, família Culicidae, vetor de doenças como, além da própria dengue, febre amarela, zika e chikungunya, todas causadas por vírus. O extrato cru desidratado da planta foi avaliado contra pupas de *Aedes aegypti* e *Culex quinquefasciatus*, transmissor da filariose. Para o mosquito da dengue, encontrou-se uma dose letal (LC₅₀) de 322 ppm, equivalente a 0,32 mg/mL, enquanto para *C. quinquefasciatus* encontrou-se dose letal (LC₅₀) de apenas 183 ppm, equivalente a 0,18 mg/mL (Pizarro et al., 1999). Outros experimentos comprovaram que o extrato líquido cru de *Agave sisalana* possui uma dose letal (LC₅₀) de 4.5±0,07 mg/mL contra larvas de *A. aegypti* na fase L4 e que essa letalidade era mediada a partir da inibição da produção de óxido nítrico pelo metabolismo das larvas e da necrose interna de suas células (Nunes et al., 2014). O efeito larvicida do extrato cru desidratado de *A. sisalana* foi avaliado em um novo experimento contra larvas de três mosquitos diferentes: *Aedes aegypti*, *Culex quinquefasciatus* e *Anopheles stephensi*, o principal vetor da malária. Os testes foram feitos com larvas nos estágios III e IV de desenvolvimento e os resultados

indicaram que a dose letal (LC₅₀) média de extrato cru para os três insetos foi de 86 ppm para *C. quinquefasciatus*, 76 ppm para *A. aegypti* e 75 ppm para *A. stephensi* (Singh et al., 2014).

Enquanto todos os testes apresentados até o momento foram realizados *in vivo*, o teste *in vitro* demonstrou que o extrato cru do sisal pode ser letal para os hemócitos de *Aedes aegypti* por aumentar a produção de NO (óxido de nitrogênio) nessas células. (Oliveira et al., 2016). Embora as concentrações finais variem, as conclusões entre todos os experimentos similares mostram que os resíduos industriais de *A. sisalana* possuem potencial considerável para a produção de inseticidas e larvicidas contra mosquitos vetores de doenças urbanas e tropicais, como as espécies citadas.

O extrato de sisal foi utilizado também como inseticida potencial contra *Dactylopius opuntiae*, conhecido como cochonilha-de-carmim. Esses insetos parasitam os cactos do gênero *Opuntia*, popularmente denominados como palmas, que são de grande importância econômica no nordeste brasileiro. O extrato de *A. sisalana* e também de *Libidibia ferrea* (pau-ferro) podem ser combinados a inseticidas sintéticos para potencializar consideravelmente seus efeitos nas cochonilhas, sem causar maiores danos ao ambiente. Um experimento mostrou que o extrato de *A. sisalana* com concentração de 17 a 46 mg/L aplicado sobre os insetos causou mortalidade de 51 a 97% das cochonilhas fêmeas adultas, e uma mistura dos extratos das duas plantas poderia ser combinada com o inseticida clorpirifós para causar mortalidade de até 90% dos insetos (Lopes et al., 2018).

Os extratos de *Agave sisalana* também foram testados no combate ao caruncho-do-feijão (*Callosobruchus maculatus*). Esta praga afeta plantações de grãos semelhantes ao feijão, o inseto ataca principalmente o feijão-roxo no período pós-colheita, causando perdas de até 30% da produção. Em concentrações que variavam de 12,5 a 100 /mL o extrato n-hexânico do sisal causou a mortalidade de insetos adultos, pois possui compostos que inibem a respiração dos indivíduos. A aplicação do extrato nestas mesmas concentrações também reduziu a oviposição destes insetos, portanto servindo também como um tratamento preventivo (Hammuel et al., 2015).

A ação dos extratos dos subprodutos do sisal no controle de pragas vai além de seu efeito contra insetos. Dois extratos diferentes feitos com os resíduos do desfibramento de sisal foram utilizados como nematicida contra *Meloidogyne javanica*, conhecido como nematóide-das-galhas. O nome provém do principal sintoma de contaminação: galhas nas raízes. O primeiro extrato era fresco, uma mistura dos resíduos com água, filtrada em uma peneira de malha; o segundo extrato era fermentado: uma mistura do resíduo com água, deixada em garrafas de plástico a temperatura ambiente por quatro dias e depois filtrada em peneira de malha. Para os testes com o tomateiro, exemplares plantados em uma mistura estéril de areia e terra foram inoculados com ovos de *M. javanica* e, após alguns dias, o extrato foi colocado diretamente sobre o solo de algumas das plantas, outras receberam tratamento com um nematicida sintético e outras não receberam nenhum tratamento. Diversas culturas agrícolas são afetadas por esse nematóide e os extratos de sisal se mostraram tão efetivos quanto os agroquímicos sintéticos na eliminação dos ovos e indivíduos jovens de *M. javanica*, em especial o extrato fresco, pois, ao contrário do fermentado, este não afetava as culturas microbianas naturais do solo e importantes para o crescimento das plantas (Damasceno, 2015).

O sisal também foi testado como pesticida contra outro nematóide, o *Radopholus similis*, conhecido como nematóide-cavernícola ou escavador. É uma das principais pragas que afetam as plantações de banana em todo o mundo. Ele age abrindo cavidades na raiz da planta, que faz com que ela sofra necrose e, em casos mais severos, morra por não conseguir captar água e nutrientes. Nos testes *in vitro*, concentrações de 5 a 25% dos extratos foram utilizadas. Para o extrato fresco, a concentração de 5% causou mortalidade de 90,1% dos nematóides juvenis e a concentração de 25% causou 97% de mortalidade; o extrato fermentado apresentou 87,6% de mortalidade na menor concentração e 100% de mortalidade na maior concentração. Já no teste *in vivo*, o extrato fermentado mostrou-se tóxico para as plantas em concentrações acima de 25%, embora tenha reduzido em 80% o número de juvenis no solo e 77% nas raízes, enquanto o extrato fresco reduziu

em 66% a quantidade de juvenis no solo e 84% nas raízes, mas não apresentou fitotoxicidade. (Jesus et al., 2014).

Os extratos das folhas de sisal demonstraram ter grande potencial moluscicida contra o aruá (*Pomacea canaliculata*). Esse caramujo é uma espécie invasora na China e responsável por causar grandes danos às plantações de arroz, uma das principais culturas da agricultura chinesa. Os caramujos foram imersos nos extratos aquoso, n-butanólico e etanólico do sisal para testar sua toxicidade. A dose letal (LC₅₀) dos extratos foram respectivamente 35.3 g·L⁻¹, 93.3 mg·L⁻¹ e 298.6 mg·L⁻¹ e todos causaram danos aos caramujos através de alterações hepáticas nas enzimas produzidas pelo órgão. (Li et al., 2012).

Microrganismos endofíticos encontrados em *A. sisalana* também podem ser usados como agentes no controle de pragas agrícolas. Uma de suas bactérias endofíticas, *Bacillus* sp., mostrou ser capaz de inibir a reprodução do fungo *Phytophthora infestans*, conhecido como requeima-do-tomateiro, justamente por ser uma praga em plantas do gênero *Solanaceae*, como o tomate e a batata (Otero et al., 2014). Outras bactérias endofíticas e do solo associadas ao sisal também foram testadas para combater o fungo *Colletotrichum musae*, praga de plantações de banana, causador de uma deformação chamada antracnose. Doze espécies de bactérias de diferentes gêneros foram selecionadas a partir do sisal, tanto da planta quanto do solo. Destacaram-se nos testes *in vivo* as espécies *Bacillus velezensis*, *Enterobacter cloacae*, *Serratia marcescens* e *Stenotrophomonas maltophilia*, podendo ser comparadas a agroquímicos sintéticos (Damasceno et al., 2019).

O extrato de sisal também demonstrou potencial inibitório no crescimento do fungo *Lasiodiplodia theobromae*, causador de uma doença chamada podridão na raiz, que afeta principalmente os citros. Os extratos fresco, fermentado, fervido e estéril das folhas do sisal foram testados contra o fungo. *Agave sisalana* apresentou potencial para inibir a germinação do fungo, mas não foi muito eficiente no tratamento do fungo após a germinação, em comparação com outras plantas do gênero *Agave*. (Hong et al., 2016).

Os resíduos do desfibramento do sisal são usados como complemento na alimentação de ruminantes. As saponinas e flavonóides presentes na planta funcionam também como antiparasitários nos animais. Nos testes *in vitro*, os extratos aquoso e de etil-acetato de *A. sisalana* demonstraram potencial ovicida contra nematóides parasitas de bodes (*Haemonchus* spp., *Oseophagostum* spp. e *Trichostrongylus* spp.) (Botura et al., 2013). Os testes *in vivo* haviam demonstrado um bom potencial ovicida do extrato aquoso de *A. sisalana* contra os nematóides parasitas, mas não um bom potencial larvicida (Botura et al., 2011). Testes semelhantes foram feitos utilizando o extrato aquoso de sisal contra parasitas nematóides do sistema gastrointestinal de ovelhas e bodes, obtendo resultados similares: eficácia antiparasitária dos extratos, especialmente no estágio L1 das larvas destes animais (Silveira et al., 2012). Posteriormente, testes sugeriram que o ácido succínico presente nos resíduos de *A. sisalana* é uma das substâncias-chave na ação ovicida destes extratos (Santos et al., 2017).

Os extratos de *Agave sisalana* demonstraram também ter efeito anti-helmíntico contra *Heterakis gallinarum*, um parasita de galinhas, quando comparado com os extratos de *Aloe ferox* e *Gunnera perpensa*. Grupos de frangos naturalmente infectados foram separados e receberam doses de água destilada e mebendazol como controles negativo e positivo e concentrações de 50 a 400 mg/kg dos extratos das três plantas. Embora tenha sido a planta que levou mais tempo para reduzir a quantidade de ovos de parasitas nos animais (+7 dias), o sisal foi a planta que em menor concentração obteve resultados significativos na redução de nematóides adultos 14 dias após a aplicação, com 73% de redução a uma concentração entre 50 e 100 mg/kg. O mebendazol, controle positivo, obteve 85% e *G. perpensa* 86%, mas em concentrações maiores de 200 mg/kg. (Mwale e Masika, 2014).

Todos os usos potenciais dos resíduos do sisal na indústria agropecuária encontram-se resumidos na Tabela 1.

Ação	Nome Científico	Nome Popular	Referências
Inseticida	<i>Aedes aegypti</i>	Mosquito-da-dengue	Pizarro et al. (1999); Nunes et al. (2014); Singh et al. (2014); Oliveira et al. (2016)
	<i>Culex quinquefasciatus</i>	Pernilongo	Pizarro et al. (1999); Singh et al. (2014)
	<i>Anopheles stephensi</i>	Pernilongo	Singh et al. (2014)
	<i>Dactylopus opuntiae</i>	Cochonilha-de-carmim	Lopes et al. (2018)
	<i>Callosobruchus maculatus</i>	Caruncho-do-feijão	Hammuel et al. (2015)
Nematicida	<i>Meloidogyne javanica</i>	Nematóide-das-galhas	Damasceno (2015)
	<i>Radopholus similis</i>	Nematóide-escavador	Jesus et al. (2014)
Fungicida	<i>Phytophthora infestans</i>	Requeima-do-tomateiro	Otero et al. (2014)
	<i>Colletotrichum musae</i>	Antracnose	Damasceno et al. (2019)
	<i>Lasiodiplodia theobromae</i> ,	Podridão-de-raiz	Hong et al. (2016)
Antihelmíntica	Nematóides gastrintestinais de caprinos	-	Botura et al. (2011); Botura et al. (2013); Silveira et al. (2012)
	<i>Heterakis gallinarum</i>	-	Mwale e Masika (2014)
Moluscicida	<i>Pomacea canaliculata</i>	Aruá	Li et al. (2012)

Tabela 1. Possíveis usos dos resíduos de *Agave sisalana* como agroquímico.

2.2.3. *Agave sisalana* na indústria cosmética e farmacêutica

Plantas são largamente usadas na medicina popular e tradicional no combate a infecções microbianas, inclusive o sisal. Tendo isso em vista, as ações antimicrobianas de *Agave sisalana* e seu potencial medicinal foram analisados por uma variedade de artigos.

Os extratos hidroalcoólico e metanólico do sisal foram avaliados contra *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Micrococcus luteus*. Os extratos de *A. sisalana* não demonstraram efeito antimicrobiano significativo contra nenhum destes

microrganismos. No entanto, quando testado contra o fungo *Candida albicans*, o extrato apresentou a mesma eficiência que a nistatina, um antibiótico usado clinicamente para tratar infecções por esse fungo (Santos et al., 2009).

Um estudo semelhante foi desenvolvido, com os extratos aquoso e metanólico dos resíduos de sisal contra *E. coli*, *S. aureus*, *Salmonella typhi*, *Streptococcus pyogenes* e *C. albicans*. As concentrações inibitórias mínimas dos extratos encontraram-se entre 10 e 20 mg/mL, sendo ambos eficazes em sua ação antimicrobiana. *S. typhi* foi a bactéria mais resistente aos extratos. As análises químicas demonstraram que os extratos possuíam alta quantidade de saponinas, flavonóides, esteróides e taninas, responsáveis pela ação antimicrobiana do sisal (Hammuel et al., 2011). Estudos preliminares haviam mostrado concentrações inibitórias mínimas entre 20 e 40 mg/mL para inibir *Shigella dysenteriae*, *Bacillus atrophaeus*, *Enterococcus faecalis*, *P. aeruginosa* e *C. albicans* (Ade-Ajayi et al., 2011).

A hecogenina, saponina encontrada nos resíduos do sisal, pode ser utilizada como anti-inflamatório, antifúngico e até mesmo no tratamento contra o câncer. Um estudo feito com camundongos mostrou que a combinação da hecogenina com um composto farmacêutico denominado fluticasona é capaz de produzir uma substância que suprime a dermatite alérgica, além disso, essa saponina combinada a ovalbumina também foi inserida nas vias aéreas dos camundongos, induzindo uma hiper-resposta do sistema respiratório, útil no tratamento de doenças como a asma (Ingawale et al., 2019).

A atividade antimicrobiana do sisal já foi testada na prática, com a avaliação de um produto cosmético contendo extrato de sisal, cuja propaganda dizia ter atividades antimicrobianas. Testes foram realizados e comprovaram que o extrato tinha ação contra *E. coli* e *Bacillus stearothermophilus*, mas não na concentração contida no produto (Zwane et al., 2010). Os resíduos do desfibramento do sisal também produzem uma substância rica em polissacarídeos, utilizada na indústria de cosméticos como um emulsificante, com duração de até 90 dias sem alterações e sem

potencial citotóxico, sendo, portanto, uma alternativa aos emulsificantes sintéticos (Barreto et al., 2017).

Para uso geral na indústria farmacêutica, um estudo testou o potencial citotóxico, antioxidante e mutagênico de extratos derivados dos resíduos do sisal. Compostos obtidos a partir da hidrólise ácida, do precipitado seco e o extrato hexânico destes produtos foram testados *in vitro* e *in vivo* com células Vero, linfócitos humanos e camundongos. Os resultados demonstraram que estes compostos são citotóxicos e antioxidantes, podendo ser usados para tratar células que apresentam atividade maligna ao corpo, como tumores. No entanto, possuem também efeito mutagênico considerável, podendo causar destruição do DNA em humanos, sendo necessários estudos posteriores para evitar danos colaterais (Araldi et al., 2018).

2.2.4. *Agave sisalana* na indústria de biocombustíveis

Os resíduos de *Agave sisalana* demonstraram potencial bioenergético considerável. A bioenergia é um setor em alta nas pesquisas biotecnológicas, tendo em vista a escassez de recursos capazes de produzir combustíveis. Um dos biocombustíveis existentes é chamado de biogás. Biogases são extraídos, em geral, de resíduos sólidos orgânicos, como esterco de gado ou resíduos de aterros sanitários, e é composto em sua maior parte por metano.

Para produzir o biogás, o resíduo orgânico é colocado em um biorreator, onde é digerido por microrganismos anaeróbios, cujo metabolismo produz, dentre outros gases, o metano, que será usado como combustível. Algumas plantas são misturadas aos resíduos nestes biorreatores, otimizando a produção de biogás. Dentre estas plantas, o sisal mostrou-se eficiente, apresentando entre 210 a 330 mL/dia de metano, enquanto o *palash*, planta comparada com o sisal, apresentou entre 135 e 260 mL/dia de metano (Arisutha et al., 2014).

O gênero *Agave*, por ser constituído por plantas de ciclo CAM, tem alto potencial de produção de etanol para combustível (Borland et al., 2009). Os biocombustíveis de segunda geração são produzidos a partir de compostos orgânicos primários, que geram um composto orgânico secundário, a partir do qual será extraído o combustível. Estes combustíveis são vantajosos porque

em geral não são obtidos a partir de plantas comestíveis, portanto não há competição de mercado entre a indústria alimentícia e de combustíveis (Naik et al., 2010). Um estudo conduzido por Kaschuk et al. (2017) mostra que o sisal mercerizado produz até 21,4 g L⁻¹ de glicose após a hidrólise de sua celulose, o que corresponde a 89% do conteúdo celulósico presente na polpa. A merceirização é um processo comum na indústria têxtil, que consiste em impregnar os fios (geralmente de algodão) com soda cáustica (hidróxido de sódio), para melhorar sua aparência e resistência. A glicose obtida a partir da celulose é, por sua vez, capaz de ser fermentada por microrganismos e gerar o etanol, sendo então o sisal uma fonte de etanol celulósico, um importante combustível de segunda geração. Um estudo posterior indicou, ainda, que uma alta concentração de celulasas no pré-tratamento da polpa de sisal poderia elevar esse aproveitamento de 89% para até 98% da celulose (Kaschuk et al., 2019). Os melhores tratamentos feitos com cascas de arroz, também usadas para produção de bioetanol de segunda geração, obtiveram 75% de recuperação da celulose total (Wood et al., 2016). Outras plantas usadas na produção de bioetanol de segunda geração, como as palhas de trigo, apresentaram cerca de 85% de conversão máxima da celulose em glicose (Bjerre et al., 1995).

2.2.5. *Agave sisalana* na indústria alimentícia

Alguns experimentos isolaram grandes quantidades do açúcar d-Manitol a partir dos resíduos das folhas de *A. sisalana* (Branco et al., 2010). O d-Manitol é utilizado principalmente na indústria farmacêutica como excipiente para comprimidos e na indústria alimentícia para produzir alimentos dietéticos (pois sua absorção é independente de insulina) (Oliveira et al., 2009).

Além do d-Manitol, o sisal também é fonte de outro açúcar de grande importância biotecnológica: a inulina. A inulina é um polissacarídeo pertencente à classe dos frutanos. Dentre os seus principais usos, a inulina é utilizada como fonte primária para obter inulinases, importantes em diversas áreas da indústria; ao utilizar um organismo rico em inulina, as empresas reduzem o custo de obtenção de inulinase. A inulina também é utilizada para a produção de xaropes de frutose, substitutos do açúcar comum (glicose), especialmente em produtos *diet* na indústria alimentícia,

sendo também um potente prebiótico. Em alguns casos, pode ser convertida em etanol, butanol e acetona, além de alguns compostos orgânicos ácidos (Singh et al., 2019). O sisal teve sua inulina extraída, isolada e caracterizada por Apolinário et al. (2017), apresentando prevalência de oligossacarídeos, com grau de polimerização entre 5 e 13.

Baseado na produção de inulina pelo sisal, um estudo avaliou o extrato aquoso da planta e descobriu que ele possui potencial prebiótico para bactérias do gênero *Lactobacillus*. Os probióticos, como essas bactérias, são importantes na fermentação de alimentos e também como auxiliares na manutenção da microbiota intestinal (Apolinario et al., 2020).

O bagaço do sisal também é um potencial produtor de polióis. Os polióis são alcoóis, utilizados na indústria alimentícia também na substituição do açúcar, para criar produtos seguros para pessoas com deficiência na produção de insulina, como diabéticos. Um estudo utilizou a levedura *Debaryomyces hansenii* em um meio rico em resíduos de sisal para produzir xilitol e arabitol, dois polióis importantes para a indústria dos alimentos. Este estudo aponta também que o sisal possui mais celuloses capazes de serem metabolizadas em polióis que a cana-de-açúcar, principal fonte de açúcares atualmente (Medeiros et al., 2020).

2.2.6. Agave sisalana como biorremediador

Biorremediadores são organismos naturais capazes de retirar compostos tóxicos de um ambiente, como rios ou o solo. Não apenas os resíduos industriais do sisal, mas também as fibras, geralmente aproveitadas apenas na indústria têxtil ou em artesanatos, possuem usos alternativos como biorremediadores.

Um dos grandes problemas ambientais enfrentados por uma série de indústrias é a poluição por metais potencialmente tóxicos. Diversas técnicas foram desenvolvidas para filtrar e eliminar estes metais do solo ou da água, dentre elas a biossorção. A biossorção consiste em adicionar um resíduo agroindustrial capaz de adsorver metais específicos ao efluente industrial, liberando rejeitos livres dos metais selecionados (Barros et al., 2017). As fibras de *A. sisalana* foram testadas como potenciais adsorventes para o processo de biossorção do chumbo (Pb) e cádmio (Cd), dois metais

potencialmente tóxicos para o ambiente e apresentaram uma superfície adsorvente em monocamada de 1.85 mg g^{-1} para o cádmio e 1.34 mg g^{-1} para o chumbo (Santos et al., 2011). As fibras também mostraram-se um potente adsorvente de íons de cromo (Cr), com uma superfície adsorvente de 10.9 mg g^{-1} , podendo ser aumentada para até 58.6 mg g^{-1} com a adição de alguns agentes quelantes (Bendjeffal et al., 2018).

As fibras do sisal também são capazes de realizar a biossorção do biodiesel. Quando ocorrem acidentes que envolvem a contaminação do solo ou da água com estes produtos, o sisal demonstrou-se forte adsorvente para remover o excesso do óleo nas áreas contaminadas, podendo ser usado na indústria de abastecimento como um biorremediador (Costa et al., 2018). Na indústria de biocombustíveis, as fibras do sisal também podem ser utilizadas para realizar a biossorção de cobre, níquel e zinco no biodiesel, podendo assim servir como ferramenta para realizar a medição das concentrações destes metais na solução combustível (Anjos et al., 2021).

Os resíduos industriais do sisal também podem ser carbonizados a temperaturas que variam de 550 a 650°C . Neste processo, eles transformam-se em carvão ativado, com alta superfície de contato. O carvão ativado é um poderoso adsorvente, geralmente extraído de rochas (carvão mineral), portanto, além de não-renovável, é caro. O carvão ativado a partir de resíduos agroindustriais, como os do sisal, é mais barato e ecologicamente amigável (Dizbay-Onat et al., 2017).

2.3. CONCLUSÕES

Apesar de seu enorme potencial biotecnológico, os resíduos do desfibramento do sisal ainda são descartados no meio ambiente, sendo tratados como um rejeito. Estes resíduos, no entanto, podem ser usados em vários processos industriais. Os subprodutos do desfibramento do sisal são promissores como produtores de surfactantes e biosurfactantes, como defensivos agrícolas, como fonte de biocombustíveis, fonte de açúcares importantes na indústria de alimentos dietéticos, além de seu potencial farmacêutico contra infecções bacterianas, fúngicas e alergias e seu possível uso

como biorremediador ou agente filtrante. Este trabalho conclui, portanto, que é urgente que as indústrias passem a aproveitar os subprodutos do sisal, sendo esse um recurso abundante e barato, minimizando assim impactos ambientais e econômicos de seu descarte.

2.4 AGRADECIMENTOS

Agradeço ao apoio da equipe do Laboratório de Microbiologia Aplicada da Universidade Federal de São Carlos - *campus* Sorocaba, aos docentes da instituição que trabalham incansavelmente e aos pesquisadores que dão o melhor de si todos os dias.

2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADE-AJAYI, A. F.; HAMMUEL, C.; EZEYANASO, C.; *et al.*, 2011. Preliminary phytochemical and antimicrobial screening of *Agave sisalana* Perrine juice (waste). **Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology**, v. 3, n. 7, pp. 180-183. <https://doi.org/10.5897/JECE.9000051>

ANJOS, S. L.; ALMEIDA, J. S.; TEIXEIRA, L. S. G.; *et al.*, 2021. Determination of Cu, Ni, Mn and Zn in diesel oil samples using energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry after solid phase extraction using sisal fiber. **Talanta**, v. 225, art. 121910. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.121910>

APOLINÁRIO, A. C.; CARVALHO, E. M.; DAMASCENO, B. P. G. L.; *et al.*, 2017. Extraction, isolation and characterization of inulin from *Agave sisalana* boles. **Industrial Crops and Products**, v. 108, p. 355–362. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.06.045>

APOLINÁRIO, A. C.; VIEIRA, A. D. S.; SAAD, S. M. I.; *et al.*, 2020. Aqueous extracts of *Agave sisalana* boles have prebiotic potential. **Natural Product Research**, v. 34, n. 1, pp. 2367-2371. <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1536129>

ARALDI, R. P.; SANTOS, M. O.; BARBON, F. F.; *et al.*, 2018. Analysis of antioxidant, cytotoxic and mutagenic potential of *Agave sisalana* Perrine extracts using Vero cells, human lymphocytes and mice polychromatic erythrocytes. **Biomedicine and Pharmacotherapy**, v. 98, n. 1, pp. 873-885. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.01.022>

ARISUTHA, S.; BAREDAR, P.; DESHPANDE, D. M.; *et al.*, 2014. Evaluation of methane from sisal leaf residue and palash leaf litter. **Journal of The Institution of Engineers (India): Series E**, v. 95, n. 2, pp. 105–110. <http://dx.doi.org/10.1007/s40034-014-0045-x>

BARRETO, S. M. A. G.; MAIA, M. S.; BENICA, A. M.; *et al.*, 2017. Evaluation of in vitro and in vivo safety of the by-product of *Agave sisalana* as a new cosmetic raw material: Development and clinical evaluation of a nanoemulsion to improve skin moisturizing. **Industrial Crops and Products**, v. 108, n. 1, pp. 470-479. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.06.064>

BARROS, D. C., 2017. Processo de biossorção para remoção de metais pesados por meio de resíduos agroindustriais: uma revisão. **Revista de Biotecnologia e Ciência**, v. 6, n. 1, pp. 01-15. <https://www.revista.ueg.br/index.php/biociencia/article/view/6161>

BARROS, F. F. C.; QUADROS, C. P.; MARÓSTICA JÚNIOR, M. R.; *et al.*, 2007. Surfactina: propriedades químicas, tecnológicas e funcionais para aplicações em alimentos. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 409–414. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000200031>

BENDJEFFAL, H.; DJEBLI, A.; MAMINE, H.; *et al.*, 2018. Effect of the chelating agents on biosorption of hexavalent chromium using *Agave sisalana* fibers. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v. 26, n. 5, pp. 984–992. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2017.10.016>

BJERRE, A. B.; OLESEN, A. B.; FERNQVIST, T.; *et al.*, 1995. Pretreatment of wheat straw using combined wet oxidation and alkaline hydrolysis resulting in convertible cellulose and hemicellulose. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 49, n. 1, pp. 568-577. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0290\(19960305\)49:5%3C568::aid-bit10%3E3.0.co;2-6](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0290(19960305)49:5%3C568::aid-bit10%3E3.0.co;2-6)

BLUNDEN, G.; PATEL, A. V. & CRABB, T. A., 1986. Barbourgenin, a new steroidal sapogenin from *Agave sisalana* leaves. **Journal of Natural Products**, v. 49, n. 4, pp. 687-689. <https://doi.org/10.1021/np50046a024>

BORLAND, A. M.; GRIFFITHS, H.; HARTWELL, J.; *et al.*, 2009. Exploiting the potential of plants with crassulacean acid metabolism for bioenergy production on marginal lands. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 10, p. 2879-2896. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp118>

BOTURA, M. B.; SANTOS, J. D. G.; SILVA, G. D.; *et al.*, 2013. In vitro ovicidal and larvicidal activity of *Agave sisalana* Perr. (sisal) on gastrointestinal nematodes of goats. **Veterinary Parasitology**, v. 192, n. 1-3, pp. 211-217. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.10.012>

BOTURA, M. B.; SILVA, G. D.; LIMA, H. G.; *et al.*, 2011. In vivo anthelmintic activity of an aqueous extract from sisal waste (*Agave sisalana* Perr.) against gastrointestinal nematodes in goats. **Veterinary Parasitology**, v. 177, n. 1-2, p. 104-110. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2010.11.039>

BRANCO, A.; SANTOS, J. D. G.; PIMENTEL, M. M.A.M.; *et al.*, 2010. d-Mannitol from *Agave sisalana* biomass waste. **Industrial Crops and Products**, v. 32, n. 3, p. 507-510. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.06.025>

COSTA, E.; SILVA, A. & MATTEDI, S., 2018. Evaluation of ionic liquid treated sisal (*Agave sisalana*) fiber as sorbent in biodiesel spill. **International Conference on Materials Engineering and Applications**, v. 348, n. 1, art. 012006. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/348/1/012006>

CRIPPS, A. L. & BLUNDEN, G. A., 1978. A quantitative gas-liquid chromatographic method for the estimation of hecogenin and tigogenin in the leaves, juice and sapogenin concentrates of *Agave sisalana*. **Steroids**, v. 31, n. 5, pp. 661–669. [https://doi.org/10.1016/S0039-128X\(78\)80006-3](https://doi.org/10.1016/S0039-128X(78)80006-3)

DAMASCENO, C. L.; DUARTE, E. A. A.; SANTOS, L. B. P. R.; *et al.*, 2019. Postharvest biocontrol of anthracnose in bananas by endophytic and soil rhizosphere bacteria associated with sisal (*Agave sisalana*) in Brazil. **Biological Control**, v. 137, art. 104016. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104016>

DAMASCENO, J. C. A.; SOARES, A. C. F.; JESUS, F. N.; *et al.*, 2015. Sisal leaf decortication liquid residue for controlling *Meloidogyne javanica* in tomato plants. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 2, pp. 155–162. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620150000200004>

DING, Y.; TIAN, R.; YANG, C.; *et al.*, 1993. Two new steroidal saponins from dried fermented residues of leaf-juices of *Agave sisalana* forma Dong No. 1. **Chemical and Pharmaceutical Bulletin**, v. 41, n. 3, pp. 557–560. <https://doi.org/10.1248/cpb.41.557>

DING, Y.; CHEN, Y.; WANG, D.; *et al.*, 1989. Steroidal saponins from a cultivated form of *Agave sisalana*. **Phytochemistry**, v. 28, n. 10, pp. 2787–2791. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)98089-0](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)98089-0)

DIZBAY-ONAT, M.; VAIDYA, U. K. & LUNGU, C. T., 2017. Preparation of industrial sisal fiber waste derived activated carbon by chemical activation and effects of carbonization parameters on surface characteristics. **Industrial Crops and Products**, v. 95, n. 1, pp. 583-590. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.11.016>

FELIPE, L. O. & DIAS, S. C., 2017. Surfactantes sintéticos e biossurfactantes: vantagens e desvantagens. **Química Nova na Escola**, v. 39, n. 3, pp. 228-236. <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160079>

FAO/IBGE, 2020 [Viewed 21 May 2021]. **Sisal Brasil - Informativo Dezembro 2020**. Brasil. Available from: https://www.cosibra.com.br/blog_ver.php?id=9

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2010 [Viewed 21 March 2021]. **Future Fibres: Sisal**. Alemanha. Available from: <http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/sisal/en/>

HAMMUEL, C.; YEBPELLA, G. G.; SHALLANGWA, G. A.; *et al.*, 2011. Phytochemical and antimicrobial screening of methanol and aqueous extracts of *Agave sisalana*. **Acta poloniae pharmaceutica**, v. 68, n. 4, pp. 535-539. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21796935/>

HAMMUEL, C.; MOHAMMED, M.; ADESINA, O. B.; *et al.*, 2015. Efficacy of *Agave sisalana* n-Hexane extract in the control of *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) (Colloptera: Bruchidae) **Pest. Journal of Applied Biology**, v. 3, n. 4, pp. 1-3. <http://dx.doi.org/10.7324/JABB.2015.3401>

HONG, H. X.; HUANG, F. Y.; LAN, X.; *et al.*, 2016. Antifungal effects of sisal leaf juice on *Lasiodiplodia theobromae*, the causal agent of mulberry root rot. **African Journal of Biotechnology**, v. 15, n. 6, pp. 165-171. <https://doi.org/10.5897/AJB2015.15112>

IKBAL C., 2010. Saponins as Insecticides: A Review. **Tunisian Journal of Plant Protection**, v. 5, n. 1, pp. 39-50. <http://www.iresa.agrinet.tn/tjpp/PreviousIssues.php>

INGAWALE, D.K.; MANDLIK, S. K. & PATEL, S. S., 2019. Anti-inflammatory potential of hecogenin on atopic dermatitis and airway hyper-responsiveness by regulation of pro-inflammatory cytokines. **Immunopharmacology and Immunotoxicology**, v. 41, n. 2, pp. 327-336. <https://doi.org/10.1080/08923973.2019.1608445>

JESUS, F. N.; DAMASCENO, J. C. A.; BARBOSA, D. H. S. G.; *et al.*, 2014. Control of the banana burrowing nematode using sisal extract. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 2, pp. 783–791. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0264-z>

KASCHUK, J. J.; LACERDA, T. M.; COMA, V.; *et al.*, 2017. Enzymatic hydrolysis of mercerized and unmercerized sisal pulp. **Cellulose**, v. 24, n. 6, pp. 2437–2453. <https://doi.org/10.1007/s10570-017-1284-z>

KASCHUK, J. J.; LACERDA, T. M. & FROLLINI, E., 2019. Investigating effects of high cellulase concentration on the enzymatic hydrolysis of the sisal cellulosic pulp. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 138, pp. 919–926. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.07.173>

LI, L.; XU, W.; ZHONG, Q.; *et al.*, 2012. Toxicological effect of *Agave sisalana* Perrine extract on golden apple snail (*Pomacea canaliculata* Lamarck). **Chinese Journal of Eco-Agriculture**, v. 20, n. 1, pp. 69–74. <http://dx.doi.org/10.3724/SP.J.1011.2012.00069>

LOPES, R. S.; OLIVEIRA, L. G.; COSTA, A. F.; *et al.*, 2018. Efficacy of *Libidibia ferrea* var. *ferrea* and *Agave sisalana* extracts against *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Coccoidea). **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 4, p. 255. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n4p255>

MARIN, C. P.; KASCHUK, J. J.; FROLLINI, E.; *et al.*, 2015. Potential use of the liquor from sisal pulp hydrolysis as substrate for surfactin production. **Industrial Crops and Products**, v. 66, n. 1, pp. 239–245. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.01.001>

MARTIN, A. R.; MARTINS, M. A.; MATTOSO, L. H. C.; *et al.*, 2009. Caracterização química e estrutural de fibra de sisal da variedade *Agave sisalana*. **Polímeros**, v. 19, n. 1, pp. 40-46. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282009000100011>

MEDEIROS, L. L.; SILVA, F. L. H.; QUEIROZ, A. L. M.; *et al.*, 2020. Structural-chemical characterization and potential of sisal bagasse for the production of polyols of industrial interest. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 37, n. 3, pp. 451-461. <https://doi.org/10.1007/s43153-020-00049-3>

MEGIATTO, J. D.; HOAREAU, W.; GARDRAT, C.; *et al.*, 2007. Sisal fibers: surface chemical modification using reagent obtained from a renewable source; characterization of hemicellulose and lignin as model study. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, pp. 8576-8584. <https://doi.org/10.1021/jf071682d>

MWALE, M. & MASIKA, P. J., 2014. In vivo anthelmintic efficacy of *Aloe ferox*, *Agave sisalana* and *Gunnera perpensa* in village chickens naturally infected with *Heterakis gallinarum*. **Tropical Animal Health and Production**, v. 47, n. 1, p. 131–138. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0696-0>

NAIK, S. N.; GOUD, V. V.; ROUT, P. K.; *et al.*, 2010. Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 2, pp. 578–597. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.003>

NUNES, F. C.; LEITE, J. A.; OLIVEIRA, L. H. G.; *et al.*, 2014. 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**, v. 114, n. 2, pp. 543–549. <https://doi.org/10.1007/s00436-014-4216-y>

OAKENFULL, D., 1981. Saponins in food—A review. **Food Chemistry**, v. 7, n. 1, pp. 19–40. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(81\)90019-4](https://doi.org/10.1016/0308-8146(81)90019-4)

OLIVEIRA, L. H. G.; SOUSA, P. A. P. S.; HILARIO, F. F.; *et al.*, 2016. *Agave sisalana* extract induces cell death in *Aedes aegypti* hemocytes increasing nitric oxide production. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 6, n. 5, pp. 396–399. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apjtb.2015.12.018>

OLIVEIRA, P. S. M.; FERREIRA, V. F. & SOUZA, M. V. N., 2009. Utilização do D-manitol em síntese orgânica. **Química Nova**, v. 32, n. 2, pp. 441-452. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000200031>

OTERO, I. D.; HURTADO, A. M.; ARANGO, O.; *et al.*, 2014. Bacterias aisladas del jugo de fique con actividad antagónica sobre *Phytophthora infestans* (mont.) de Bary. **Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, v. 12, n. 1, pp. 28-35. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/330>

PIZARRO, A. P. B.; OLIVEIRA FILHO, A. M.; PARENTE, J. P.; *et al.*, 1999. O aproveitamento do resíduo da indústria do sisal no controle de larvas de mosquitos. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 32, n. 1, p. 23–29. <https://doi.org/10.1590/S0037-86821999000100005>

QUEIROGA, V. P.; SILVA, O. R. R. F.; MEDEIROS, J. C.; *et al.*, 2021. **Sisal (*Agave sisalana*, Perrine): Tecnologias de plantio e utilização**. Campina Grande: AREPB. 217 p.

RIBEIRO, B. D.; ALVIANO, D. S.; BARRETO, D. W.; *et al.*, 2013. Functional properties of saponins from sisal (*Agave sisalana*) and juá (*Ziziphus joazeiro*): Critical micellar concentration, antioxidant and antimicrobial activities. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 436, n. 1, pp. 736-743. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2013.08.007>

RIBEIRO, B. D.; BARRETO, D. W. & COELHO, M. A. Z., 2013. Application of foam column as green technology for concentration of saponins from sisal (*Agave sisalana*) and Juá (*Ziziphus joazeiro*). **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 30, n. 4, pp. 701–709, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322013000400002>

RIBEIRO, B. D.; BARRETO, D. W. & COELHO, M. A. Z., 2015. Use of micellar extraction and cloud point preconcentration for valorization of saponins from sisal (*Agave sisalana*) waste. **Food and Bioproducts Processing**, v. 94, pp. 601–609. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2014.07.004>

SANTOS, E. M. C. & SILVA, O. A., 2017. Sisal in Bahia - Brazil. **Mercator**, v. 16, n. 12, pp. 1–13. <https://doi.org/10.4215/rm2017.e16029>

SANTOS, J. D. G.; BRANCO, A.; SILVA A. F.; *et al.*, 2009. Antimicrobial activity of *Agave sisalana*. **African Journal of Biotechnology**, v. 8, n. 22, pp. 6181-6184. <https://doi.org/10.5897/AJB09.862>

SANTOS, N. S. S.; SANTOS, J. D. G.; SANTOS, F. O.; *et al.*, 2017. Ovicidal activity of succinic acid isolated from sisal waste (*Agave sisalana*) against gastrointestinal nematodes of goats. **Ciência Rural**, v. 47, n. 8. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170036>

SANTOS, W. N. L.; CAVALCANTE, D. D.; SILVA, E. G. P.; *et al.*, 2011. Biosorption of Pb (II) and Cd (II) ions by *Agave sisalana* (sisal fiber). **Microchemical Journal**, v. 97, n. 2, pp. 269–273. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2010.09.014>

SIDANA, J.; SINGH, B. & SHARMA, O. P., 2016. Saponins of Agave: Chemistry and bioactivity. **Phytochemistry**, v. 130, pp. 22–46. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2016.06.010>

SILVA, F. P. M., 2017. O território do sisal. In: ORTEGA, A. C. & PIRES, M. J. S. **As Políticas Territoriais Rurais e a Articulação Governo Federal e Estadual: um estudo de caso da Bahia**. Brasília: IPEA, pp. 151-183.

SILVEIRA, R. X.; CHAGAS, A. C. S.; BOTURA, M. B.; *et al.*, 2012. Action of sisal (*Agave sisalana*, Perrine) extract in the in vitro development of sheep and goat gastrointestinal nematodes.

Experimental Parasitology, v. 131, n. 2, p. 162–168.

<https://doi.org/10.1016/j.exppara.2012.03.018>

SINGH, R. K.; MITTAL, P. K.; KUMAR, G.; *et al.*, 2014. Evaluation of mosquito larvicidal efficacy of leaf extract of a cactus plant, *Agave sisalana*. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 2, n. 1, pp. 83-86.

<https://www.entomoljournal.com/archives/?year=2014&vol=2&issue=1&ArticleId=49>

SINGH, R.S.; SINGH, T. & LARROCHE, C., 2019. Biotechnological applications of inulin-rich feedstocks. **Bioresource Technology**, v. 273, n. 1, pp. 641–653.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.11.031>

TREJO-TORRES, J. C.; GANN, G. D. & CHRISTENHUSZ, M. J. M., 2018. The Yucatan Peninsula is the place of origin of sisal (*Agave sisalana*, Asparagaceae): historical accounts, phytogeography and current populations. **Botanical Sciences**, v. 96, n. 2, p. 366.

<https://doi.org/10.17129/botsci.1928>

WOOD, I. P.; CAO, H.; TRAN, L.; *et al.*, 2016. Comparison of saccharification and fermentation of steam exploded rice straw and rice husk. **Biotechnology for Biofuels**, v. 9, n. 193.

<https://doi.org/10.1186/s13068-016-0599-6>

YU, H.; ZOU, P.; SONG, X.; *et al.*, 2011. Two new steroidal saponins from the fresh leaves of *Agave sisalana*. **Helvetica Chimica Acta**, v. 94, n. 7, pp. 1351–1358.

<https://doi.org/10.1002/hlca.201000442>

ZWANE, P. E.; DLAMINI, A. M. & NKAMBULE, N., 2010. Antimicrobial properties of sisal (*Agave sisalana*) used as an ingredient in petroleum jelly production in Swaziland. **Current Research Journal of Biological Sciences**, v. 2, n. 6, pp. 370-374.
<https://maxwellsci.com/jp/abstract.php?jid=CRJBS&no=78&abs=04>