

Universidade do Estado do Pará
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia
Curso de Graduação em Engenharia Florestal
Campus de Marabá – VIII – CCNT



Lohana Vieira Souza

Caracterização da casca do caule de *Bagassa guianensis* Aubl. proveniente da Amazônia brasileira com visão de potencial de utilização na indústria de biorrefinaria

Marabá-PA
2023

Lohana Vieira Souza

**Caracterização da casca do caule de *Bagassa guianensis* Aubl.
proveniente da Amazônia brasileira com visão de potencial de
utilização na indústria de biorrefinaria**

Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado como requisito parcial ao curso
de Graduação em Engenharia Florestal,
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia,
para a obtenção do título de Engenheira
Florestal da Universidade do Estado do Pará.
Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo de Lima
Melo
Coorientadora: Ma. Laise de Jesus dos
Santos

Marabá-PA
2023

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Souza, Lohana Vieira.

Caracterização da casca do caule de *Bagassa guianensis* Aubl. proveniente da Amazônia brasileira com visão de potencial de utilização na indústria de biorrefinaria. / Lohana Vieira Souza, Orientador Dr. Luiz Eduardo de Lima Melo; Coorientadora Ma. Laise de Jesus dos Santos – 2023.

30 f.il.

TCC (Engenharia Florestal) - Universidade do Estado do Pará, Marabá, 2023.

1. Casca. 2. Biorrefinaria. 3. *Bagassa guianensis*. I. Melo, Luiz Eduardo de Lima, *orient.* II. Título.

CDD 23. ed.: 633

Lohana Vieira Souza

**Caracterização da casca do caule de *Bagassa guianensis* Aubl.
proveniente da Amazônia brasileira com visão de potencial de
utilização na indústria de biorrefinaria**

Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado como requisito parcial ao curso
de Graduação em Engenharia Florestal,
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia,
para a obtenção do título de Engenheira
Florestal da Universidade do Estado do Pará.
Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo de Lima
Melo
Coorientadora: Ma. Laise de Jesus dos
Santos

Data de aprovação: 22/08/2023

Banca examinadora:

Profº Luiz Eduardo de Lima Melo
Dr. em Ciência e Tecnologia da Madeira
Universidade do Estado do Pará - UEPA

Profº Javan Pereira Motta
Me. em Ciências Florestais
Universidade do Estado do Pará - UEPA

Sabrina Benmuyal Vieira
Ma. em Ciências Ambientais
Pesquisa e Inovação – Grupo Arboris

A minha falecida Avó: Joana Elza Rodrigues Vieira, que em vida foi a maior multiplicadora das práticas tradicionais proporcionado pelos saberes empíricos dos recursos naturais da Amazônia

Dedicatória

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por ter me dado consolo nos momentos mais difíceis e sabedoria para conseguir enfrentar as adversidades da vida.

Agradeço a minha falecida Avó Joana Elza Rodrigues Vieira, minha maior fonte de inspiração, símbolo de bondade, generosidade e amor, agradeço por ter me criado da melhor forma possível, sempre me direcionando pelos caminhos corretos e sem dúvidas hoje sei que sou motivo de orgulho para a senhora aí do céu, agradeço também ao meu Avô Raimundo de Souza Vieira, por todas as conversas, histórias engraçadas e também por todo amor e carinho.

Agradeço a minha mãe Joana Maridalva Rodrigues Vieira, por todas as mensagens diárias, suporte, apoio, amor e carinho, mãe a senhora foi essencial para que eu conseguisse concluir esse curso.

Agradeço ao meu Amor Higor Tadeu Pereira Martins, por ter me apoiado nos momentos mais difíceis, pelas palavras de carinho e por todo suporte na minha estadia em Marabá. Agradeço também a sua família que me acolheu da melhor forma possível.

Agradeço os meus primos/irmãos, Gabriela Vieira, Kauê Vieira, Diogo Arnour, vocês foram meu ponto de apoio em todas as fases dessa graduação, o suporte de vocês foi essencial para que me mantivesse firme nesse propósito.

Agradeço as minhas Tias e Tios, Marinalda, Minevalda, Minalva, Marinalva, Minerval, Marinaldo e Minelvado por sempre me apoiaram e acreditarem em mim.

Agradeço a minha prima Daniele Arnour que me acolheu em sua casa nos primeiros anos dessa graduação, o seu suporte foi essencial na minha formação.

Agradeço a minha amiga de vida Beatriz Sousa, por todos os desabafos, lamentações e acima de tudo compreensão e apoio.

Agradeço a minha amiga de república Alcilane Guedes, pelos almoços, jantares, lanches e conversas, você tornou a minha passagem por marabá mais leve.

Agradeço os meus colegas de turma, Lourene Oliveira, Elida Alves, Fabiola Farias, João Enrique e Mateus Olivera foi uma honra conhecer e dividir essa fase com vocês.

Agradeço as minhas colegas de turma, grupo de trabalho, liga acadêmica e laboratório Vivian Arantes e Mariane Baião, pelas manhãs e tardes juntas e também por tornarem esse tempo o mais leve possível, foi uma honra conhecer e dividir essa fase com vocês.

Agradeço o meu Orientador Luiz Eduardo Melo, por todo suporte, direcionamento e por sempre acreditar em mim e no meu potencial, o senhor foi essencial na minha formação.

Agradeço a minha Coorientadora Laise Santos, por ter aceitado me coorientar nesse trabalho, proporcionado um suporte incrível para que essa pesquisa fosse realizada da melhor forma possível, além de sempre acreditar em mim e no meu potencial, você foi essencial na minha formação.

Agradeço as bolsas de Iniciação Científica que participei durante todos esses anos de graduação, que sem dúvidas foram essenciais para que eu me mantivesse e conseguisse concluir o curso de Engenharia florestal em Marabá.

Agradeço ao Grupo Arboris, em nome do Sr. Marco Siviero e Sabrina Benmuyal, por terem fornecido matéria prima para o desenvolvimento dessa pesquisa e também por terem concedido a bolsa de iniciação científica.

Agradeço o Laboratório de Anatomia da Madeira da Universidade Federal de Lavras – UFLA e também o Núcleo de Estudos em Anatomia e Produtos Químicos da Madeira, por terem sido tão receptivos, além de cederem o espaço para a realização da parte química da casca deste estudo.

Agradeço o Laboratório de Ciência e Tecnologia da Madeira da Universidade do Estado do Pará – UEPA, Campus VIII, Marabá e a Liga de Ciência e Tecnologia da Madeira por terem sido a minha casa durante 3 anos e também por terem me ensinado tanto. Os ensinamentos proporcionados por esses espaços sem dúvidas foram de grande valor e agregaram no meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Com isso me despeço e agradeço a todos que de alguma forma me ajudaram nesse ciclo, saibam que sou eternamente grata.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de localização da área de coleta do estudo	13
Figura 2 (A) Aspectos macroscópicos da casca externa de <i>Bagassa guianensis</i> Aubl.; (B) Sessão transversal macroscópica da casca de <i>Bagassa guianensis</i> Aubl., evidenciando (1) floema condutor, (2) floema não condutor e (3) ritidoma. Barra de escala = 100 µm.....	18
Figura 3 (A-C) Sessão transversal da casca de <i>Bagassa guianensis</i> Aubl., (R) ritidoma (E) esclereide (P) periderme (RD) raio dilatado (F) Floema condutor (ET) elemento de tubo (*) Fibra (seta) células companheiras. Barra de escala = 100 µm.	18
Figura 4 (A) Sessão tangencial da casca de <i>Bagassa guianensis</i> Aubl. (R) Raio (B) Sessão radial da casca de <i>B. guianensis</i> (C) Sessão transversal da casca de <i>B. guianensis</i> (R) Raio (Seta) Parênquima. Barra de escala = 100 µm.	19
Figura 5 Elementos dissociados da casca de <i>Bagassa guianensis</i> Aubl. (A) elemento de tubo (B) cristais de oxalato de cálcio (C) fibra. Barra de escala = 100 µm.....	19
Figura 6. Comparação da capacidade de quelação do Zinco, Cobre e Ferro com o extrato da casca de <i>Bagassa guianensis</i> e o quelante comercial EDTA.	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Análises químicas somativas que foram realizadas nas cascas da espécie em estudo e suas respectivas normas.	16
Tabela 2 Composição química somativa das cascas de <i>Bagassa guianensis</i> Aubl.	20
Tabela 3 Rendimento da extração de fenólico total, flavonoides e taninos condensados	22
Tabela 4 Constituição elementar da casca de <i>Bagassa guianensis</i>	23

SUMÁRIO

1. Introdução.....	12
2. Material e Métodos.....	13
2.1 Amostragem.....	13
2.2 Clima	13
2.3 Coleta das cascas	14
2.4 Identificação das espécies	14
2.5 Caracterização anatômica da casca	14
2.6 Densidade da casca	15
2.7 Caracterização química somativa da casca	15
2.8 Fenóis totais, flavonoides e taninos condensados	16
2.9 Análise elementar quantitativa da casca	16
2.10 Atividade quelante de Ferro (Fe), Zinco (Zn) e Cobre (Cu)	16
2.11 Análise estatística.....	17
3. Resultados e Discussões.....	18
3.1 Estrutura anatômica da casca.....	18
3.2 Densidade da casca	20
3.3 Composição da química somativa	20
3.4 Teor fenólico de extratos da casca	21
3.5 Análise elementar quantitativa da casca	22
3.6 Atividade quelante da casca	23
4. Conclusões	25
Referências bibliográficas	26

Artigo 1 - Caracterização da casca do caule de *Bagassa guianensis* Aubl. proveniente da Amazônia brasileira com visão de potencial de utilização na indústria de biorrefinaria
Elaborado conforme as normas do periódico Biomass Conversion and Biorefinery (versão preliminar)

Lohana Vieira Souza¹, Bianca Bueno Rosário¹, Laise de Jesus dos Santos², Elesandra da Silva Araujo², Mário Sérgio Lorenço², Sabrina Benmuyal Vieira³, Agust Sales³, Marco Antônio Siviero³, Fabio Akira Mori², Luiz Eduardo de Lima Melo¹

¹ Departamento de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade do Estado do Pará, Campus VIII, 68503-120, Marabá, Pará, Brasil

² Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, 37200-005, Lavras, Minas Gerais, Brasil

³ Departamento de Pesquisa e Inovação, Grupo Arboris, 68633-000, Dom Eliseu, Pará, Brasil

Autora correspondente Email: lohanavieirasouza@gmail.com

Resumo

Os resíduos de casca possuem um fluxo considerável e disponível na indústria florestal e tem sido um recurso potencialmente interessante para a biorrefinaria. Para que ocorra o aproveitamento dessa biomassa é necessário conhecer as características anatômicas, físicas e químicas do material. Com isso, o objetivo deste trabalho é realizar a caracterização da casca do caule da espécie arbórea de *Bagassa guianensis* Aubl. para subsidiar a sua comercialização na indústria de biorrefinaria. Para isso, foram selecionados cinco indivíduos da espécie *B. guianensis*, onde foram analisadas a anatomia: macroscópica e microscópica, a densidade básica e também a química do material, que inclui a: química somativa, quantificação de fenólico total, composição mineral da casca e atividade quelante de Ferro, Zinco e Cobre. Na anatomia foi observado que o material apresenta aglomerados de esclereides, raios dilatados e presença de cristais de oxalato de cálcio em células de parênquima. Na química somativa a *B. guianensis* apresentou 24% de extrativos totais, 1,97% de suberina, 6,6% de cinza, 10,46% de lignina e 56,97% de polissacarídeos. A espécie apresentou valores baixos para conteúdo fenólico e na análise da composição mineral o macronutriente que mais se destacou foi o cálcio e o micronutriente foi o ferro. A casca da *B. guianensis* apresentou resultados promissores para quelação do metal pesado Zinco na concentração 1 mg/mL (72%) e na 0,1 mg/mL (51%), ambas se mostraram mais eficiente que o quelante comercial EDTA. Já Zinco e Ferro tiveram resultados inferiores ao quelante comercial EDTA. As características que mais se destacaram na química somativa foram o alto teor de extrativos e polissacarídeos, as concentrações apresentadas podem ser direcionadas para fabricação de produtos que se beneficiem dos altos teores desses químicos. Outra característica química marcante foi a atividade quelante do extrato da casca em Zinco que se mostrou superior ao quelante comercial EDTA, sendo um indicativo que a casca dessa espécie pode ser utilizada para tratamento de intoxicação desse metal pesado.

Palavras-chave: Anatomia, densidade básica, produtos florestais, atividade quelante, tatajuba.

1. Introdução

A biorrefinaria combina processos de conversão biológicas com instalações para gerar produtos de alto valor agregado, como os biocombustível, bioenergia, bioquímicos e biomateriais utilizando biomassa lignocelulósica como matéria prima sustentável [42]. Dessa forma, destaca-se a casca do caule que é um recurso florestal abundante e renovável que, na maioria das vezes é queimado para geração de energia, embora um grande excedente que poderia ser utilizado como matéria prima para a produção de produtos químicos, materiais e energia é subaproveitado [1]. Nesse sentido, há uma crescente necessidade de beneficiar esses resíduos gerados e a biorrefinaria surge como um ramo promissor, pois a partir do aproveitamento da biomassa pode ser gerados novos produtos com alto valor agregado [2]

Para que ocorra o aproveitamento da casca, é necessário conhecer sua composição anatômica, química e física. A anatomia da casca possui uma estrutura complexa e é formada por todos os tecidos fora com cambio vascular, apresenta dois meristemas o câmbio vascular e o felogênio, o floema secundário compreende o floema condutor e não condutor e a periderme é formada pelo felogênio, feloderme, felema [3, 4]. A química da casca é mais diversa que a madeira e possui polímeros de carboidratos (celulose, hemiceluloses e pectinas), polímeros fenólicos (lignina e taninos condensados), poliésteres de ácidos graxos e glicerol (suberina), extrativos (ácidos graxos, terpenoides, taninos) e inorgânicos [4, 5].

Devido a anatomia e a química da casca serem complexa associada a falta de informações sobre a casca de árvores, tem sido difícil direcionar o aproveitamento desse resíduo florestal, por isso é necessária uma caracterização detalhada das características estruturais e químicas da casca para que possam ser utilizadas e valorizadas [1]. A casca possui diversas finalidades, principalmente nos ramos medicinais, alimentícios e na produção de energia [6]. Além de que é utilizada há anos por comunidades tradicionais nacional e internacional para o preparo de medicações e geralmente quando o material é estudado há comprovação científica nas práticas tradicionais [7, 8, 9]

Apesar das diversas possibilidade de uso da casca do caule, pouco se conhece sobre o potencial de utilização das cascas de espécies, principalmente as da região da Amazônia brasileira, uma vez que, os principais estudos relacionados aos componentes da casca concentram-se nos biomas do cerrado e caatinga [10]. Conhecer a composição anatômica e atrelar ao conhecimento do estudo químico da casca do caule é uma importante ferramenta para o melhor conhecimento dos potenciais usos não madeireiros, além de contribuir com a inclusão de outros tipos de produtos provenientes da floresta [11]

Nesse sentido, destaca-se a *Bagassa guianensis* que é uma das principais espécies madeireiras da Amazônia, apresenta madeira resistente a ataque de microrganismos e é comumente utilizada na construção civil, assoalhos, mobiliário e embarcações, além de que, no processamento industrial gera uma grande quantidade de resíduos [12, 13, 14]. Estudos com o resíduo da casca de *B. guianensis* apontaram que a espécie possui a presença de substancia que são importantes para a indústria de fármacos, apresentam flavonoides,

moracinas e estilbenos, além disso, é importante destacar que muitos desses bioativos são encontrados em espécies de relevância medicinal [14]. Portanto, pode-se afirmar que as cascas estão se tornando uma atrativa matéria prima para biorrefinaria, pois associam abundância, disponibilidade e baixo custo com características químicas, físicas e bioativas intrinsecamente ricas e que podem ser utilizadas para fabricação de produtos químicos e de materiais [4]

Dessa forma, o estudo busca caracterizar a casca do caule da espécie arbórea *Bagassa guianensis*, buscando a valoração, para que essa seja indicada e possivelmente utilizada na indústria de biorrefinaria.

2. Material e Métodos

2.1 Amostragem

As cascas da espécie *Bagassa guianensis* foram coletadas no mês de maio de 2022, em uma área de manejo florestal sustentável na região amazônica, na Fazenda Shet, localizada no município de Dom Eliseu, no sudeste do Estado do Pará, Brasil (Figura 1).

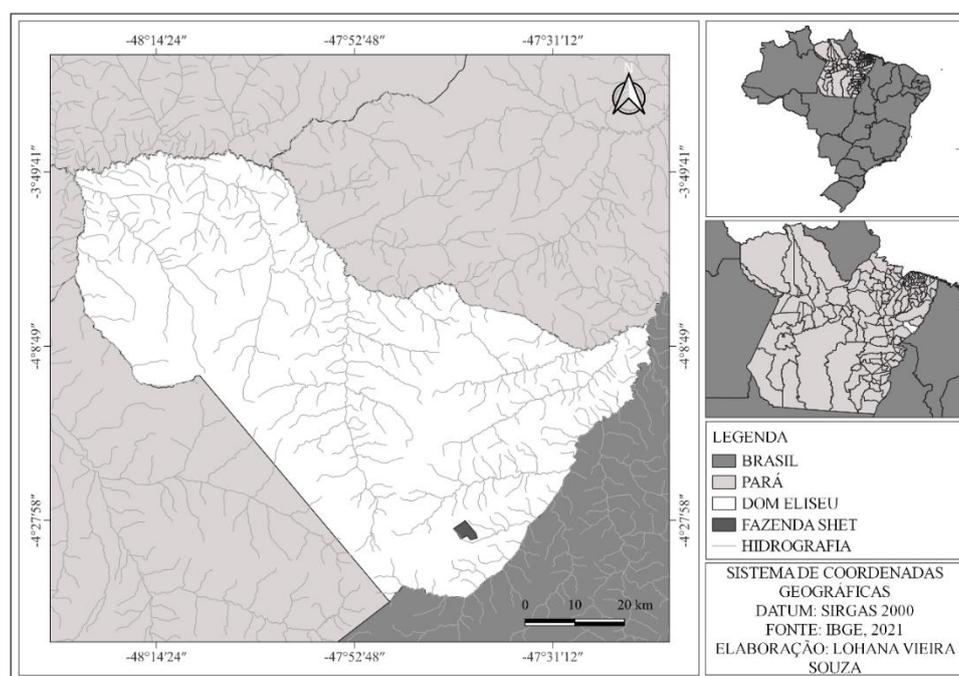


Figura 1 Mapa de localização da área de coleta do estudo

2.2 Clima

De acordo com Köppen e o Awi, o clima de Dom Eliseu é tropical chuvoso, com períodos longos de estiagem, sendo o trimestre mais seco nos meses de julho, agosto e setembro e o trimestre mais chuvoso são os meses de fevereiro, março e abril [15, 16]. A temperatura média anual está em torno de 25° C e as médias das mínimas diárias, em cerca de 20° C. A precipitação anual média é de 1638 mm, entretanto, há uma grande variabilidade espacial na região, podendo a precipitação anual média variar de 1445 a 2030 mm dentro do município e o mesmo se encontra a uma altitude de 247 metros [17]. O tipo de solo

predominante é o Latossolo Amarelo textura argilosa e o relevo plano a suavemente ondulado [18].

2.3 Coleta das cascas

Foram coletadas cascas de cinco árvores da espécie com o Diâmetro a Altura do Peito - DAP acima de 25 cm. A remoção das cascas foi feita com auxílio de facão. A retirada foi realizada da região da base do tronco da árvore até dois metros acima do solo. Foram retiradas 10 amostras de cascas de várias posições do lenho de um mesmo indivíduo arbóreo e as amostras retiradas possuíam 10 cm de altura e 5 cm de largura. Posterior a remoção das cascas foi aplicada a calda bordalesa (sulfato de cobre e cal).

Foi feita a fixação de placas metálicas com códigos para o monitoramento do processo de regeneração da casca. Depois da coleta, as cascas foram secas ao ar livre e logo em seguida armazenadas em sacos de polietileno para serem encaminhadas ao Laboratório de Ciência e Tecnologia da Madeira, vinculada a Universidade do Estado Pará (LCTM-UEPA) para a realização da anatomia da casca. Já a parte química foi feita no Laboratório de Anatomia da Madeira do Departamento de Ciências Florestais (DCF) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Minas Gerais.

2.4 Identificação das espécies

A confirmação do material botânico foi realizado pelo Herbário da Embrapa Amazônia Oriental (IAN), localizada em Belém, Pará, Brasil.

2.5 Caracterização anatômica da casca

As cascas das espécies foram caracterizadas macroscopicamente e microscopicamente. Para a análise macroscópica da casca, as amostras foram seccionadas e as superfícies da seção transversal serão polidas com uma sequência de lixas com granulometrias de 80, 120, 320, 600 e 1200. Em um estereomicroscópio de luz Leipzig GZ 800 APO (Leipzig, Alemanha), conectado a uma câmera digital de Leipzig, serão obtidas fotografias para observar o ritidoma, periderme e floema condutor e não condutor.

Pequenos fragmentos da casca interna e externa foram retirados e macerados em solução de CH_3COOH e H_2O_2 1:1 (v/v) a 60°C com a metodologia adaptada para 24h [19]. A partir do macerado foram determinados a largura total e a largura do lúmen (para estimar a espessura da parede) das fibras, bem como o comprimento das fibras e dos elementos de tubo.

As lâminas permanentes foram feitas com os cortes das seções transversais e longitudinais das cascas. Para retirar os cortes histológicos as cascas foram impregnadas com polietilenoglicol (PEG) 1500 [20]. A impregnação consiste em duas fases, primeiramente as amostras foram adicionadas em solução contendo 20% de PEG 1500 e 80% de água deionizada, e depois aquecidas em estufa a 60°C durante aproximadamente 48 h. Na segunda fase, será utilizado PEG puro, e as amostras serão mantidas na estufa durante 2 h a 60°C . À temperatura ambiente o PEG solidifica e posteriormente serão retirados cortes histológicos

variando entre 12 – 20 µm utilizando um micrótomo de deslize Leicam SM 2010R (Leica, Biosystemas, Wetzlar, Alemanha).

Foi realizado a dupla coloração com crisoidina (1%) e azul astra (1%), posteriormente foi realizado a desidratação dos cortes por aumento das séries alcoólicas de 20, 40, 60, 80 e 100%, e $C_6H_{12}O_2$ a 100%. Os cortes foram montados em lâminas e colados com resina sintética Entellan. Na seção transversal, foi determinado o diâmetro dos elementos de tubo e esclereides. Na seção longitudinal tangencial, foi determinado altura, largura e o número de células dos raios por altura. Observações microscópicas e aquisição de dados foram realizadas num microscópio de luz ZEEIS Primo Star Hall/LED (Carl Zeiss, Oberkochen, Alemanha), acoplado a uma câmera digital Opton, foram feitas 150 medições em cada parâmetro microscópico por indivíduo, utilizando o software TCapture. Foram obtidas imagens das seções histológicas utilizando um microscópio acoplado a um sistema de captura de imagens (Carl Zeiss, Oberkochen, Alemanha). A descrição anatômica seguiu a terminologia da [21]

2.6 Densidade da casca

A densidade básica da casca foi determinada em cinco réplicas por imersão em água, utilizando a massa seca em estufa e o volume verde saturado [Associação Técnica da Indústria de Celulose e Papel (TAPPI) 258 om-02, 2002].

2.7 Caracterização química somativa da casca

As cascas secas da espécie foram reduzidas em moinho martelo para obter um material homogêneo com granulometria de 60 mesh para as análises químicas. Amostras compostas de cascas de cinco árvores por espécie foram misturadas para quantificação de extrativos totais, suberina, cinzas e lignina total. As cinzas foram quantificadas de acordo com as normas TAPPI (T 211 om-93) e os extrativos totais de acordo com as normas TAPPI (T 204 om-88 e T207 om-93).

A determinação do conteúdo de suberina foi feita em cascas livre de extrativos usando 50 mol L⁻¹ de solução de sódio metálico [22]. Nesse processo, 1,5 g de cascas com 100 mL de solução de sódio metálico a 3% foi aquecido em manto de aquecimento durante 3 h. Posteriormente, a solução foi filtrada através de cadinho de vidro sinterizado com porosidade 2 em condições de vácuo e lavada com metanol, os resíduos retidos no funil foram novamente aquecidos com mais 100 mL de solução de sódio metálico durante 15 minutos e filtrados mais uma vez.

A solução filtrada resultante foi acidificada a um PH 6 com 2 mol L⁻¹ de solução de ácido sulfúrico metanol. Após a acidificação, o metanol foi recuperado por um evaporador rotativo e o balão foi lavado com 50 mL de água deionizada e o resíduo foi derramado num funil separador durante três lavagens sucessivas com 50 mL de diclorometano cada. No final, foram adicionadas duas espátulas de sulfato de sódio anidro, e a solução foi armazenada num frigorífico durante a noite. No dia seguinte, a solução foi filtrada por um papel filtro para

remover o sulfato de sódio anidro e o volume, determinado. Num balão volumétrico limpo e seco, a solução foi derramada, e o diclorometano recuperado por um evaporador rotativo. O frasco foi armazenado a 60 °C durante a noite e depois a 100 °C durante 2 h. O teor de suberina foi determinado gravimetricamente e os resultados expressos em relação à massa seca inicial. A análise foi realizada em duplicata.

A lignina Klason foi determinada em duplicata de acordo com a Norma TAPPI T222 om-88. A lignina solúvel foi quantificada a partir do material filtrado da lignina de Klason, realizando as leituras de absorvância a 205 nm num espectrofotômetro, de acordo com a TAPPI UM 250.

Tabela 1 Análises químicas somativas que foram realizadas nas cascas da espécie em estudo e suas respectivas normas.

Análise	Procedimento
Teor de Cinzas	TAPPI (T211 om-93)
Extrativos totais	TAPPI (T 204 om-88 e T207 om- 93)
Suberina	Pereira, 1988
Lignina Klason	TAPPI T222 om-88
Lignina solúvel	TAPPI UM 250

2.8 Fenóis totais, flavonoides e taninos condensados

Amostras de 0,5g da casca (base seca) foram extraídas em solução de Etanol/Água 1:1 (v/v) utilizando banho ultrassônico a 50°C durante 60 min. A solução foi filtrada em cadinho de vidro sinterizado nº 2 e o filtrado teve seu volume completado para 50 mL com água deionizada. O resíduo sólido retido na filtração foi seco e o rendimento de extração calculado com relação à massa do material inicial. Do extrato foi determinado os teores de fenóis totais, flavonoides totais e taninos condensados a partir da leitura de absorvâncias em espectrofotômetro biospectro SP-22. O teor de fenóis totais foi determinado pelo método Folin-Ciocalteu utilizando ácido gálico como padrão [23] e seu resultado foi expresso em mg de equivalentes de ácido gálico (GAE) / g de extrato seco da casca. Os flavonoides totais foram quantificados por ensaio colorimétrico de cloreto de alumínio com padrão de catequina [24] e os taninos condensados pelo método de vanilina H₂SO₄ [25]. Ambos os resultados foram expressos em mg de equivalentes de catequina (CE)/g de extrato da casca.

2.9 Análise elementar quantitativa da casca

As cascas foram moídas e as partículas que passaram através de uma peneira de 60 mesh foram utilizadas. Uma amostra composta de 100g de casca das cinco árvores foram homogeneizadas para análise. A composição elementar das cascas (macro e micronutrientes) foi quantificada por espectrometria de emissão óptica de plasma acoplado indutivamente (ICP-OES, Spectro Instrumentos Analíticos, Alemanha).

2.10 Atividade quelante de Ferro (Fe), Zinco (Zn) e Cobre (Cu)

Para avaliar a atividade quelante dos íons de ferro (FIC) foi utilizado e adaptado o método descrito por [55]. A adaptação para microplacas consiste em adicionar uma alíquota de 100 µL de amostra diluída (realizadas em triplicatas) e na sequência adicionar 100 µL de FeSO₄ 0,1 mM e 100 µL ferrozine 0,25 mM. A microplaca foi encubada no escuro a temperatura ambiente por 10 minutos antes das medições de absorvância serem feitas a 562 nm. A propriedade quelante dos íons de ferro dos extratos foi calculada pela fórmula:

$$\% \text{ Inibição} = [(A_c - A_s) / A_c] \times 100$$

onde: A_c foi a absorvância do controle

A_s: foi a absorvância na presença de amostra de extratos vegetais e padrão

Para avaliar a atividade de quelante de íons de zinco e cobre foi utilizado solução 1 mg/mL e 10 mg/mL em DMSO (C₂H₆SO), usando o método de murexida descrito por [56]. A adaptação para microplacas consiste em adicionar uma alíquota de 143 µL de amostra diluída (realizada em triplicata) e na sequência adicionar 143 µL de CuSO₄ 3 mM ou 143 µL ZnCl₂ 8 mM de 14 µL de murexida 5 mM. A mistura foi então mantida a temperatura ambiente no escuro por 3 min, e o a absorvância foi medida a 462 - 520 nm. A porcentagem de inibição do complexo murexide-Zn²⁺ ou Cu²⁺ formação foi dada pela fórmula:

$$\% \text{ Inibição} = [(A_c - A_s) / A_c] \times 100$$

onde: A_c foi a absorvância do controle

A_s: foi a absorvância na presença de amostra de extratos vegetais e padrão

2.11 Análise estatística

A análise estatística descritiva e a elaboração do gráfico foram realizadas no software da Microsoft Office Excel® 2016.

3. Resultados e Discussões

3.1 Estrutura anatômica da casca

A espessura média da casca de *Bagassa guianensis* é de 7,1 mm. [26] relata que a casca da espécie pode atingir até 10 mm. A superfície do ritidoma é escamosa e possui uma coloração que vai cinza ao marrom, além de apresentar algumas manchas brancas, a casca interna apresenta cor creme-rosada (**Fig. 2A**) e quando cortado libera um látex branco e abundante, que logo se coagula. As cascas incluem floema (condutor e não condutor) e o ritidoma (**Fig. 2B**)

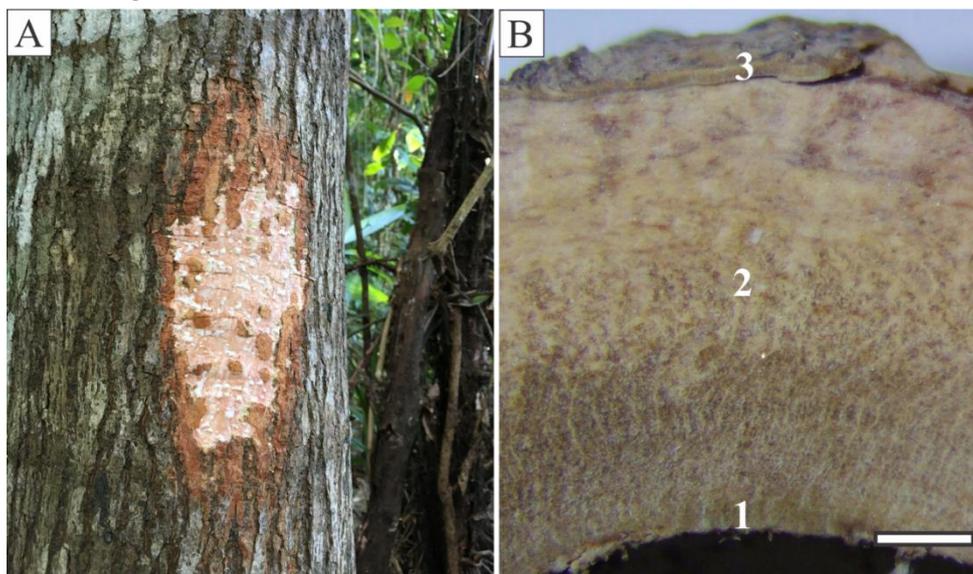


Figura 2 (A) Aspectos macroscópicos da casca externa de *Bagassa guianensis* Aubl.; (B) Sessão transversal macroscópica da casca de *Bagassa guianensis* Aubl., evidenciando (1) floema condutor, (2) floema não condutor e (3) ritidoma. Barra de escala = 100 μ m.

O ritidoma da *Bagassa guianensis* apresenta peridermes sequenciais reticuladas (**Fig. 3A**). Na periderme, algumas das células do feleme e feloderme são esclereificadas e na parte mais interna apresenta grupos de esclereides (**Fig. 3A**)

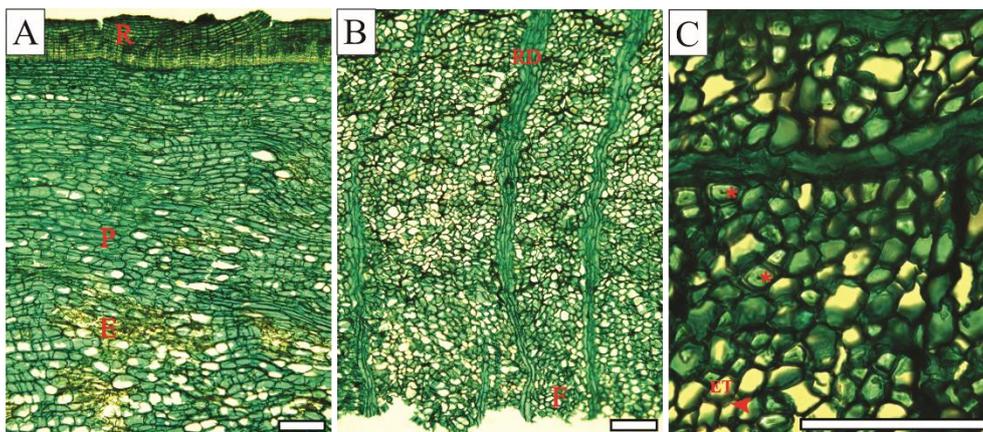


Figura 3 (A-C) Sessão transversal da casca de *Bagassa guianensis* Aubl., (R) ritidoma (E) esclereide (P) periderme (RD) raio dilatado (F) Floema condutor (ET) elemento de tubo (*) Fibra (seta) células companheiras. Barra de escala = 100 μ m.

Não foi possível observar a transição do floema condutor para o não condutor (**Fig. 3B**). No floema não condutor próximo à periderme foi observado esclereides em arranjos

difusos e difusos em agregado (**Fig. 3A**). O floema condutor inclui elementos de tubo com pequenas células companheiras adjacentes, fibras e células de parênquima axial e radial (**Fig. 3C, 4C**). Os elementos de tubo possuem placas simples e os diâmetros tangenciais do elemento do tubo apresentaram em média 13 – 33 μm e o comprimento 52 -206 μm (**Fig. 5A**)

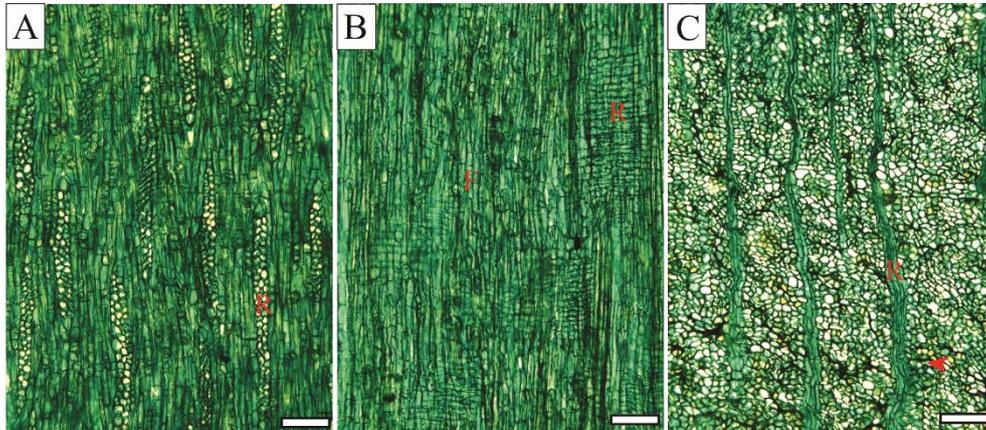


Figura 4 (A) Sessão tangencial da casca de *Bagassa guianensis* Aubl. (R) Raio (B) Sessão radial da casca de *B. guianensis* (C) Sessão transversal da casca de *B. guianensis* (R) Raio (Seta) Parênquima. Barra de escala = 100 μm .

O parênquima axial é distribuído de forma difusa e difusa em agregados (**Fig. 4C**). Os raios não são estratificados (**Fig. 4A**). O número de células dos raios varia entre 8-36 em altura e 2-4 em largura. Altura média dos raios foi de 167-698 μm e a largura foi de 27-77 μm , os raios são formados por células procumbentes, eretas e quadradas (**Fig. 4B**). No floema não condutor, os raios dilatam-se devido a divisão anticlinal e expansão celular (**Fig. 3B, 4C**).

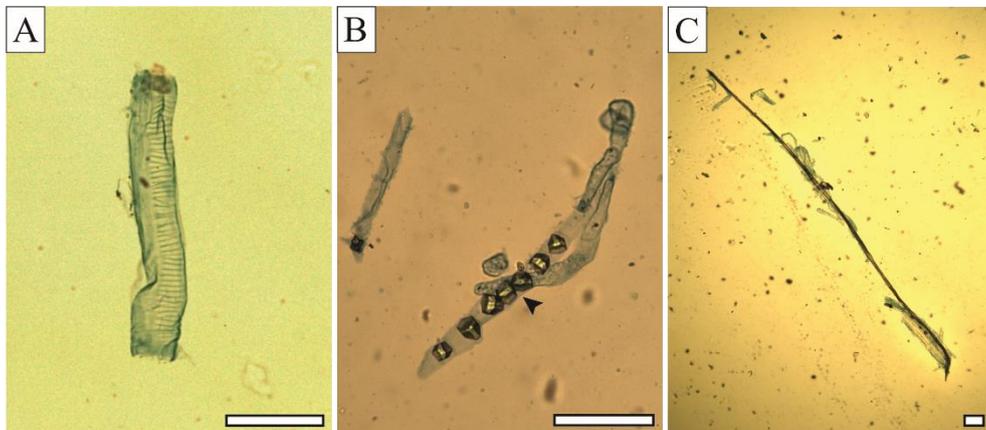


Figura 5 Elementos dissociados da casca de *Bagassa guianensis* Aubl. (A) elemento de tubo (B) cristais de oxalato de cálcio (C) fibra. Barra de escala = 100 μm

As fibras têm um comprimento médio de 859-9381 μm (**Fig. 5C**) uma espessura média de 6,59 μm . As fibras da *Bagassa guianensis* são finas e alongadas. Característica interessante pois o conhecimento do comprimento da fibra é um preditor importante das propriedades físico-mecânicas de qualquer produto a base de fibra [21]. No floema condutor, as fibras ocorrem em grupos pequenos isolados entre as células do parênquima (Fig. 3C). As esclereides possuem paredes lignificadas e atingem um diâmetro tangencial médio de 13-27 μm . As fibras e os esclereides possuem paredes espessas e lignificadas e são formados pelo tecido esclerenquimático, o mesmo tem a função de fornecer suporte estrutural e proteção

contra danos mecânicos na planta, a fibra é normalmente encontrada no floema condutor e a esclereide é encontrada no floema não condutor [27, 28] Segundo [21] a esclerificação de células de raios em contato com fibras ou esclereídeos é típico para, por exemplo, *Alnus* (Betulaceae), *Morus* (Moraceae) e *Pyrus* (Rosaceae). Vale ressaltar que a espécie deste estudo *B. guianensis* pertence à família botânica Moraceae. Cristais de oxalato de cálcio foram observados aderidos nas células de parênquima axial (**Fig. 5B**). A abundância desses cristais, justificam a composição química da casca de *Bagassa guianensis* onde o cálcio é o 1º macronutriente mais abundante da análise (**Tabela 4**).

3.2 Densidade da casca

A densidade básica da casca de *Bagassa guianensis* foi de 330 Kg.cm⁻³, resultado diferente foi encontrado para as espécies amazônicas *Goupia glabra* 690 Kg.cm⁻³ [29] e *Copaifera langsdorffii* com 781 Kg.cm⁻³ [30]. É importante avaliar a densidade básica da casca, porque para o processo de produção de energia, alguns parâmetros das propriedades do material são levando em consideração e a densidade é uma delas, além de o teor de umidade, granulometria, poder calorífico, teor de cinzas e a quantidade de contaminantes presentes no material [31]. Vale destacar também que a condutividade térmica da casca é afetada pela densidade e teor de umidade [32]. Além disso, a densidade da casca é correlacionada com o teor de cinzas presente no material, ou seja, casca de madeira de alta densidade costuma apresentar maiores teores de cinza na carbonização comparado com as cascas de madeira de baixa densidade [33, 34]. Nesse sentido, ressalta-se que a densidade básica da madeira da *B. guianensis* é considerada moderadamente densa com 700 Kg.cm⁻³ [52], logo a casca da espécie do estudo apresentou teor de cinza intermediário com 6.6 %.

3.3 Composição da química somativa

Os resultados encontrados de médias, desvio padrão e coeficiente de variação, para a composição química da casca de *Bagassa guianensis* são apresentados na tabela 2. O conteúdo dos extrativos totais para a espécie do estudo foi 24%, com 89,78% total removido na espécie, correspondendo os valores de compostos polares que são solúveis em etanol e água. A *Bagassa guianensis* apresentou 1,97% de suberina, 6,6% de cinza, 10,46% de lignina e 56,97% de polissacarídeos.

Tabela 2 Composição química somativa das cascas de *Bagassa guianensis* Aubl.

Composição química	<i>Bagassa guianensis</i>
Extrativos totais %	24
Diclorometano %	3.37 ± 0.41
Etanol %	9.33 ± 0.63
Água %	11.32 ± 1.64
Suberina %	1.97
Cinza %	6.6 ± 0.01
Lignina total %	10.46
Lignina Klason %	8.68
Lignina solúvel %	1.78
Polissacarídeos^a %	56.97

Os símbolos apresentados na tabela correspondem (\pm) desvio padrão da população e (^a) Determinado por diferença.

[35] avaliando a composição química da casca de *Anadenanthera peregrina* e *Anadenanthera colubrina* encontrou valores altos e semelhantes de extrativos totais para ambas as espécies, correspondendo o valor de 29%. Além de que encontrou valores de 85 e 90% de extrativos polares solúveis em etanol e água, respectivamente. Resultado parecido foi encontrado na espécie *Bagassa guianensis*, com 24% de extrativos totais e 89,78 de composto polares solúveis em etanol e água. O alto teor de extrativos pode indicar que o material é rico em compostos fenólicos [36].

A espécie do estudo *Bagassa guianensis* apresentou 1,97% de conteúdo de suberina. Valores baixos também foram encontrados para *Albizia niopoides* apresentando um valor de 0,5% de conteúdo suberizado, isso se deve ao fato da pequena proporção do felema, o que resulta em pouco teor de suberina [37].

[38] pesquisando o teor de cinzas de casca e madeira para a espécie *Eucalyptus globulus* encontrou valores superiores de cinza para a casca do que para a madeira, correspondendo 5,4 e 0,7% respectivamente. Isso se deve ao fato de a composição química da casca ser diferente da madeira. A espécie do estudo *B. guianensis* apresentou o valor de 6,6% de teor de cinzas para a casca, esse resultado é considerado intermediário, uma vez que, a casca de madeira com densidade baixa costuma apresentar um menor teor de cinzas, quando comparadas com casca de espécies de alta densidade [33, 34]. Altos teores de cinzas podem ser prejudiciais para a carbonização do material, uma vez que, as cinzas da casca são materiais incombustíveis que consomem parte da energia produzida para manter a temperatura [38]

[39] estudando clones de Eucalyptos (*Eucalyptos urophylla* x *Eucalyptos grandis*) encontrou valores de lignina total variando de 18 a 21%, com lignina de Klason de 16 a 18% e lignina solúvel variou de 2 a 3%. Enquanto que, a espécie *B. guianensis*, apresentou valores baixos com 10,46% de lignina total, 8,68 de lignina de Klason e 1,78 para lignina solúvel. A lignina revela em estudos alto potencial como substituto de materiais de origem fóssil, é um composto aromático natural formado por 3 álcoois hidroxicinâmicos, coniferil e sinapílico [48]. Tradicionalmente a lignina é considerado um resíduo de baixo valor [50]. E nas últimas décadas, há uma crescente iniciativa nas pesquisas que visam valorar e mudar as perspectivas do material para gerar produtos valiosos, como polímero, adesivos, gás de síntese, fibra de carbono, compostos fenólicos, produtos oxidados e hidrocarbonetos multifuncionais [49, 50].

A casca de *B. guianensis* apresentou alto valor de polissacarídeos com 56,97%. Já Sen et al., (2010) estudando a cortiça e o floema da espécie *Quercus cerris*, encontrou maiores valores de polissacarídeos no floema do que na cortiça, correspondendo a 30,6 e 16,5 respectivamente. O alto teor de polissacarídeos pode ser interessante para diversas aplicações, como polióis para espumas de poliuretano, oligômeros derivados de hemicelulose ou produção de etanol [38].

3.4 Teor fenólico de extratos da casca

Os polifenóis são produtos naturais vegetais ou metabólicos secundários, formado por grupos fenólicos, que incluem o ácido fenólico, flavonoides, taninos e outros, e são responsáveis pelo aroma, cor e propriedades antioxidantes dos vegetais [43]. Além de serem conhecidos por possui efeito benéfico a saúde. Nas últimas décadas, os polifenóis tem ganhado destaque devido contribuir com resultados positivos na prevenção de diversas doenças, como: cardiovasculares, diabetes mellitus, cânceres e doenças neurodegenerativas [44]. Os teores de polifenóis do extrato da casca de *Bagassa guianensis* são apresentados na tabela 3. O teor de fenólico total foi de 8.56 mg GAE g⁻¹, esse resultado é inferior aos valores encontrados para as espécies amazônicas como *Astronium lecointei* 77.1 mg GAE g⁻¹ [41] e *Myrcia eximia* 242.4 mg GAE g⁻¹ [10].

Tabela 3 Rendimento da extração de fenólico total, flavonoides e taninos condensados

Analises	<i>Bagassa guianensis</i>
Teor fenólico total (mg GAE g ⁻¹ de extrato)	8.56
Flavonoides (mg CE g ⁻¹ de extrato)	10.45
Taninos condensados (mg CE g ⁻¹ de extrato)	2.24

O teor de flavonoide da *B. guianensis* foi de 10.45 mg CE g⁻¹ e resultados superiores foram encontrados para as espécies amazônicas *Tachigali guianensis* 69.5 CE g⁻¹ e *Tachigali glauca* 373 CE g⁻¹ [36]. Apesar do teor de flavonoide da *B. guianensis* ter apresentado valor inferior aos encontrados em literatura, ainda sim foi a análise química mais representativa dos fenólicos totais. E estudos recente tem testado outras formas de extração selecionando solventes mais eficientes, e os resultados foram positivos e surpreendentes como encontrado no trabalho de [45, 46]. Os flavonoides são amplamente conhecidos como agentes terapêuticos, e a maioria de suas aplicações são voltadas para o campo da medicina, sendo utilizado como anticancerígenos, antimicrobianos, antivirais, antiangiogênicos, antimaláricos, antioxidantes, neuroprotetores, antitumorais e agentes antiproliferativo [47]. O teor de tanino condensado da *B. guianensis* foi de 2.24 CE g⁻¹, resultado diferente foi encontrado para *Myracrodruon urundeuva* com 8.50 mg CE g⁻¹ [42]. Os taninos condensados também chamados de proantocianidinas são formados por monômeros de flavan-3-ol, e o principal uso dos taninos nos últimos anos foi para produção de couro, no entanto, devido ter natureza fenólica, esse químico pode substituir o fenol de origem fóssil em diversas aplicações, como na produção de espumas isolantes e adesivos [51]

3.5 Análise elementar quantitativa da casca

A caracterização da composição mineral da casca de *B. guianensis* é mostrada na tabela 3. O macronutriente mais representativo da casca foi o cálcio 25.42 g kg⁻¹, provavelmente resultante da alta quantidade de oxalato de cálcio observada nas células de parênquima (**Fig. 5B**), seguido do Nitrogênio com 12.8 g kg⁻¹ e Potássio 9.89 kg⁻¹. O micronutriente mais representativo da casca de *B. guianensis* é o ferro com 498.62 mg kg⁻¹,

seguido do Manganês 52.53 mg kg⁻¹, Cobre 15.36 mg kg⁻¹, Zinco 14.6 mg kg⁻¹ e Boro 13.9 mg kg⁻¹.

Tabela 4 Constituição elementar da casca de *Bagassa guianensis*

Mineral	Quantidade de elemento
N (g kg ⁻¹)	12.8
P (g kg ⁻¹)	0.42
K (g kg ⁻¹)	9.89
Ca (g kg ⁻¹)	25.42
Mg (g kg ⁻¹)	1.13
S (g kg ⁻¹)	0.55
Cu (mg kg ⁻¹)	15.36
Zn (mg kg ⁻¹)	14.6
Fe (mg kg ⁻¹)	498.62
Mn (mg kg ⁻¹)	52.53
B (mg kg ⁻¹)	13.9

Vale ressaltar que as altas concentrações de cálcio, nitrogênio e potássio na casca pode indicar que o material possui uma fonte de bioelementos, e o mesmo é utilizado como componente de substrato para plantas [5]. Para a queima o alto teor de potássio é negativo, devido ser um mineral formador de cinzas e o mesmo é prejudicial na carbonização pois ocasiona corrosão [53]. A elevada concentração de ferro na casca de *B. guianensis* pode ser justificada devido a área de coleta do material está próxima ao maior depósito de minério de ferro do mundo que pertence a província mineral de Carajás [54]

3.6 Atividade quelante da casca

Os resultados da atividade quelante da casca de *Bagassa guianensis* são apresentados na **figura 6**.

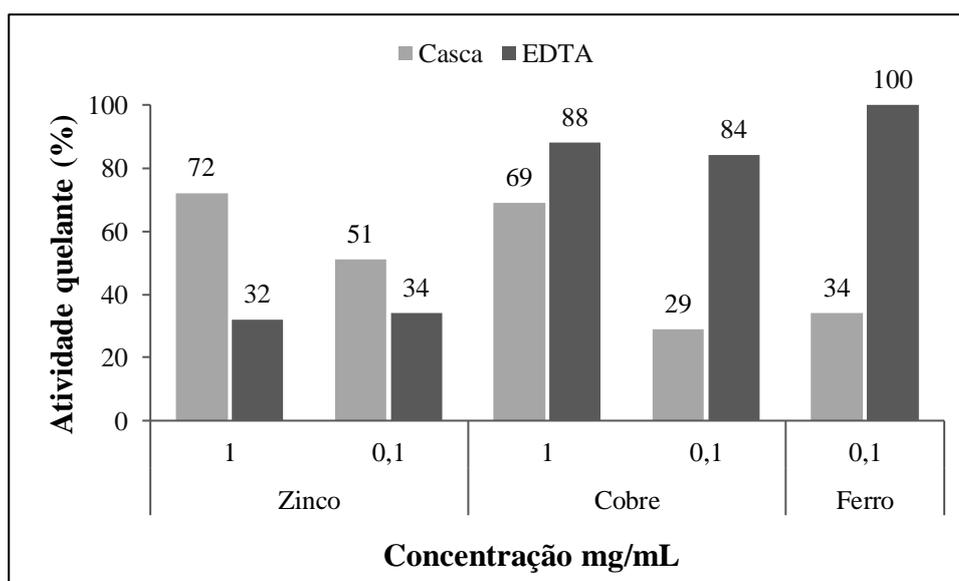


Figura 6. Comparação da capacidade de quelação do Zinco, Cobre e Ferro com o extrato da casca de *Bagassa guianensis* e o quelante comercial EDTA.

Os resultados mostraram-se promissores para capacidade de quelação do Zinco tanto na concentração de 1 mg/mL que a atividade quelante foi de (72%) quanto, na concentração de 0,1 mg/mL com resultado de (51%), ressaltando que ambas as concentrações o extrato de *B. guianensis* quelou mais que o quelante comercial EDTA. Já na análise que quelação de cobre o EDTA foi superior nas duas concentrações analisadas e na avaliação da atividade quelante de ferro na concentração de 0,1 mg/mL o quelante comercial se mostrou mais eficiente. É importante destacar que, os metais pesados são essenciais para os processos biológicos, no entanto, acima da quantidade ideal pode ser prejudicial à saúde humana, afetando principalmente o sistema respiratório, nervoso, reprodutor e digestivo [57]. A intoxicação por metais pesados pode ser ocasionada por algumas atividades como na mineração e fundição, resíduos industriais, agrícolas e de esgoto [58]. A terapia quelante de metais é o tratamento clínico mais importante e primário em caso de intoxicação por metais pesados [57]. Nesse caso, é importante enfatizar que os agentes quelantes tem uma ação significativa como antioxidantes porque induzem o potencial redox e estabilizam a forma oxidada do íon metálico, ou seja, os metais pesados podem ser excretados do corpo após o tratamento com agentes quelantes [59].

4. Conclusões

A casca de *Bagassa guianensis* foi caracterizada pela primeira vez quanto a sua estrutura anatomia, química e física. A casca da espécie apresenta ritidoma, floema condutor e não condutor, aglomerados de esclereides e raios dilatados.

As características químicas mais marcantes foram o alto teor de extrativos e polissacarídeos, ou seja, ambos podem ser direcionados para fabricação de produtos que se beneficiem dos altos teores desses químicos. A atividade quelante do extrato da casca em Zinco mostrou-se superior ao quelante comercial EDTA, sendo um indicativo que a casca dessa espécie pode ser utilizada para tratamento de intoxicação desse metal pesado.

Portanto a casca de *Bagassa guianensis* pode ser considerada uma matéria prima promissora para biorrefinaria e também deve ser altamente valorizada por seu alto teor de extrativos, polissacarídeos e capacidade quelação do Zinco.

Referências bibliográficas

1. Sartori, C. J., Mota, G. S., Mori, F. A., Miranda, I., Quilho, T., & Pereira, H. (2021). Bark characterization of a commercial *Eucalyptus urophylla* hybrid clone in view of its potential use as a biorefinery raw material. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01199-7>
2. Andrew, J., Masetlwa, J., Tesfaye, T., & Sithole, B. (2020). Beneficiation of eucalyptus tree barks in the context of an integrated biorefinery – Optimisation of accelerated solvent extraction (ASE) of polyphenolic compounds using response surface methodology. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 18, 100327. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100327>
3. Caccianiga, M., Compostella, C., Caccia, G., & Cattaneo, C. (2021). Contribution of plant anatomy to forensic investigation: Tree bark morphology. *Forensic Science International*, 318, 110598. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110598>
4. Vangeel, T., Neiva, D. M., Quilho, T., Costa, R. A., Sousa, V., Sels, B. F., & Pereira, H. (2021). Tree bark characterization envisioning an integrated use in a biorefinery. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01362-8>
5. Sousa, T. B., Mota, G. D. S., Araujo, E. D. S., Carréra, J. C., Silva, E. P., Souza, S. G., ... & Mori, F. A. (2022). Chemical and structural characterization of *Myracrodruon urundeuva* barks aiming at their potential use and elaboration of a sustainable management plan. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01093-2>
6. dos Santos, M. G. S., Silva, T. C., da Costa, R. R., Barbosa, J. P. F., & dos Santos, A. F. (2021). Analysis of the phytochemical prospecting of the species *Ziziphus cotinifolia* Reissek. *Diversitas Journal*, 6(2), 2839-2858. <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v6i2-1074>
7. Liang, T., Yu, J., Qu, S., Xie, Q., Shama, R., Bao, M., ... & Borjigidai, A. (2023). *Ardisia gigantifolia* stapf (Primulaceae): A review of ethnobotany, phytochemistry, pharmacology, clinical application, and toxicity. *Journal of Ethnopharmacology*, 116079. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2022.116079>
8. SILVA, J. B. D. (2013). Influence of stem bark extractivism on the pre-emergent reproductive success of *Himatanthus drasticus* [Mart.] Plumel (Apocynaceae) e *Stryphnodendron rotundifolium* Mart.(Fabaceae, Abaceae, Mimosoidae). Dissertation, University Federal Rural of Pernambuco.
9. Coelho, V. P. D. M. (2009). Anatomy of the stem (bark and wood), leaf and colleter of *Bathysa cuspidata* (St. Hil.) Hook. f.(RUBIACEAE). Dissertation, University Federal of Viçosa.
10. Araujo, E. S., Lorenço, M. S., Zidanes, U. L., Sousa, T. B., da Silva Mota, G., de Oliveira Reis, V. D. N., ... & Mori, F. A. (2021). Quantification of the bark *Myrcia eximia* DC tannins from the Amazon rainforest and its application in the formulation of natural adhesives for wood. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124324. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124324>
11. Araujo, E. D. S., Mota, G. D. S., Lorenço, M. S., Zidanes, U. L., Silva, L. R. D., Silva, E. P., ... & Mori, F. A. (2020). Characterisation and valorisation of the bark of *Myrcia eximia* DC. trees from the Amazon rainforest as a source of phenolic compounds. *Holzforschung*, 74(10), 989-998. <https://doi.org/10.1515/hf-2019-0294>
12. Lima, T. F. P., Almeida, T. H. D., Almeida, D. H. D., Christoforo, A. L., & Lahr, F. A. R. (2018). Physical and mechanical properties of Tatajuba wood specie (*Bagassa guianensis*) from two different Brazilian regions. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 23. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620180003.0519>
13. Technological Research Institute of the state of São Paulo (2023). Wood information. https://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=50. Accessed 28 January 2023.
14. Pinheiro, W. B. S., Neto, J. P., Botelho, A. S., Dos Santos, K. I. P., Da Silva, G. A., Muribeca, A. J. B., ... & Arruda, M. S. P. (2022). The use of *Bagassa guianensis* aubl.

- forestry waste as an alternative for obtaining bioproducts and bioactive compounds. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(6), 103813. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.103813>
15. Amazon Protection System (2018). Amazon Climate Bulletin. <https://www.gov.br/censipam/pt-br>. Accessed 10 January 2023.
 16. Institute For Economic, Social and Environmental Development of Pará (2012). Municipal Statistics, Dom Eliseu – Climate.
 17. Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 25(15), 1965-1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
 18. Martorano, L. G. (1993). Climate studies of the state of Pará, climate classification (Koppen) and water deficit (Thornthwaite, Mather).
 19. Franklin, G. L. (1945). Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. *Nature*, 155(3924), 51-51.
 20. Quilhó, T., Pereira, H., & Richter, H. G. (2000). Within-tree variation in phloem cell dimensions and proportions in *Eucalyptus globulus*. *IAWA journal*, 21(1), 31-40.
 21. IAWA committee (2016). List of microscopic bark features. *IAWA Journal* 37 (4): 517–615. <https://doi.org/10.1163/22941932-20160151>
 22. Pereira, H. (1988). Chemical composition and variability of cork from *Quercus suber* L. *Wood science and technology*, 22(3), 211-218.
 23. Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
 24. Zhishen, J., Mengcheng, T., & Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food chemistry*, 64(4), 555-559. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2)
 25. Abdalla, S., Pizzi, A., Ayed, N., Charrier-El Bouhtoury, F., Charrier, B., Bahabri, F., & Ganash, A. (2014). MALDI-TOF analysis of *Aleppo pine* (*Pinus halepensis*) bark tannin. *BioResources*, 9(2), 3396-3406.
 26. CARVALHO, P. E. R (2003) Brazilian Tree Species: *Bagassa guianensis*. Embrapa Technological Information, Brasilia. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/231793/1/Especies-Arboreas-Brasileiras-vol-4-Tatajuba.pdf>. Accessed 6 Jun 2023.
 27. Lopez, F. B., & Barclay, G. F. (2017). Plant anatomy and physiology. In *Pharmacognosy* (pp. 45-60). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802104-0.00004-4>
 28. Carrillo-López, A., & Yahia, E. M. (2019). Morphology and anatomy. In *Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables* (pp. 113-130). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00006-3>
 29. Carmo, J. F., Miranda, I., Quilhó, T., Carvalho, A. M., Carmo, F. H., de Figueiredo Latorraca, J. V., & Pereira, H. (2016). Bark characterisation of the Brazilian hardwood *Goupia glabra* in terms of its valorisation. *BioResources*, 11(2), 4794-4807.
 30. Carmo, J. F., Miranda, I., Quilhó, T., Sousa, V. B., Cardoso, S., Carvalho, A. M., ... & Pereira, H. (2016). *Copaifera langsdorffii* bark as a source of chemicals: Structural and chemical characterization. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 36(5), 305-317. <https://doi.org/10.1080/02773813.2016.1140208>
 31. Corradi, G.M. (2021). Energy quality of different forest biomasses used in western Paraná. Dissertation, University State of Western Paraná.
 32. Nolan, R. H., Rahmani, S., Samson, S. A., Simpson-Southward, H. M., Boer, M. M., & Bradstock, R. A. (2020). Bark attributes determine variation in fire resistance in resprouting tree species. *Forest Ecology and Management*, 474, 118385. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118385>
 33. Harun, J., e Labosky, P. (1985). "Chemical constituents of five northeastern barks." *Wood Fiber Sci*, 17:274-280.

34. Bryers, R. W. (1996). Fireside slagging, fouling, and high-temperature corrosion of heat-transfer surface due to impurities in steam-raising fuels. *Progress in energy and combustion science*, 22(1), 29-120. [https://doi.org/10.1016/0360-1285\(95\)00012-7](https://doi.org/10.1016/0360-1285(95)00012-7)
35. Mota, G. S. Anatomical and ecological characteristics of bark and wood of *Anadenanthera*. 2016. Thesis, Federal University of Lavras.
36. Mota, G. S., Sartori, C. J., Ribeiro, A. O., Quilhó, T., Miranda, I., Ferreira, G. C., ... & Pereira, H. (2021). Bark Characterization of *Tachigali guianensis* and *Tachigali glauca* from the Amazon under a Valorization Perspective. *BioResources*, 16(2), 2953.
37. Carmo, J. F., Miranda, I., Quilhó, T., Sousa, V. B., Carmo, F. H., Latorraca, J. V., & Pereira, H. (2016). Chemical and structural characterization of the bark of *Albizia niopoides* trees from the Amazon. *Wood Science and Technology*, 50, 677-692.
38. Neiva, D. M., Araujo, S., Gominho, J., de Cássia Carneiro, A., & Pereira, H. (2018). Potential of *Eucalyptus globulus* industrial bark as a biorefinery feedstock: Chemical and fuel characterization. *Industrial Crops and Products*, 123, 262-270. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.070>
39. Sartori, C., da Silva Mota, G., Ferreira, J., Miranda, I., Mori, F. A., & Pereira, H. (2016). Chemical characterization of the bark of *Eucalyptus urophylla* hybrids in view of their valorization in biorefineries. *Holzforschung*, 70(9), 819-828. <https://doi.org/10.1515/hf-2015-0258>
40. Şen, A., Miranda, I., Santos, S., Graça, J., & Pereira, H. (2010). The chemical composition of cork and phloem in the rhytidome of *Quercus cerris* bark. *Industrial Crops and Products*, 31(2), 417-422. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.01.002>
41. Mota, G. S., Araujo, E. S., Lorenço, M., de Abreu, J. L. L., de O. Mori, C. L., Ferreira, C. A., ... & Ferreira, G. C. (2021). Bark of *Astronium lecointei* Ducke trees from the Amazon: chemical and structural characterization. *European Journal of Wood and Wood Products*, 79, 1087-1096. <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01670-w>
42. Velvizhi, G., Balakumar, K., Shetti, N. P., Ahmad, E., Pant, K. K., & Aminabhavi, T. M. (2022). Integrated biorefinery processes for conversion of lignocellulosic biomass to value added materials: Paving a path towards circular economy. *Bioresource technology*, 343, 126151. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126151>
43. Hano, C., & Tungmunnithum, D. (2020). Plant polyphenols, more than just simple natural antioxidants: Oxidative stress, aging and age-related diseases. *Medicines*, 7(5), 26. <https://doi.org/10.3390/medicines7050026>
44. D'Angelo, S. (2020). Polyphenols: Potential beneficial effects of these phytochemicals in athletes. *Current Sports Medicine Reports*, 19(7), 260-265. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000729>
45. Sillero, L., Prado, R., Welton, T., & Labidi, J. (2021). Energy and environmental analysis of flavonoids extraction from bark using alternative solvents. *Journal of Cleaner Production*, 308, 127286. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126151>
46. Sillero, L., Prado, R., Welton, T., & Labidi, J. (2021). Extraction of flavonoid compounds from bark using sustainable deep eutectic solvents. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 24, 100544. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2021.100544>
47. Ullah, A., Munir, S., Badshah, S. L., Khan, N., Ghani, L., Poulson, B. G., ... & Jaremko, M. (2020). Important flavonoids and their role as a therapeutic agent. *Molecules*, 25(22), 5243. <https://doi.org/10.3390/molecules25225243>
48. Rietzler, B., Karlsson, M., Kwan, I., Lawoko, M., & Ek, M. (2022). Fundamental insights on the physical and chemical properties of organosolv lignin from Norway spruce bark. *Biomacromolecules*, 23(8), 3349-3358. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.2c00457>
49. Yu, O., & Kim, K. H. (2020). Lignin to materials: A focused review on recent novel lignin applications. *Applied Sciences*, 10(13), 4626. <https://doi.org/10.3390/app10134626>
50. Bajwa, D. S., Pourhashem, G., Ullah, A. H., & Bajwa, S. G. (2019). A concise review of current lignin production, applications, products and their environmental impact. *Industrial Crops and Products*, 139, 111526. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111526>

51. Kemppainen , K. , Siika-aho , M. , Pattathil , S. , Giovando , S. , & Kruus , K. (2014). Spruce bark as an industrial source of condensed tannins and non-cellulosic sugars. *Industrial Crops and Products*, 52, 158-168. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.10.009>
52. Laboratory of Forest Products (2023). Bagassa guianensis. https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/?option=com_madeirasbrasileiras&view=especieestudada&especieestudadaid=24
53. Nunes, L. J. R., Matias, J. C. O., & Catalão, J. P. S. (2016). Biomass combustion systems: A review on the physical and chemical properties of the ashes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 235-242. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.053>
54. Justo, A. P., Dantas, E. L., Bau, M., Freitas-Silva, F. H., Santos, R. V., & Schorscher, J. H. D. (2020). Paleobasinal to band-scale REE+ Y distribution in iron formations from Carajás, Amazon Craton, Brazil. *Ore Geology Reviews*, 127, 103750. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103750>
55. Gülçin, İ. (2005). The antioxidant and radical scavenging activities of black pepper (*Piper nigrum*) seeds. *International journal of food sciences and nutrition*, 56(7), 491-499. <https://doi.org/10.1080/09637480500450248>
56. Watak, S., & Patil, S. S. (2012). Formation and Evaluation of Herbomineral Complex. *Asian Journal of Pharmaceutical Analysis*, 2(2), 52-67.
57. Gulcin, İ., & Alwasel, S. H. (2022). Metal ions, metal chelators and metal chelating assay as antioxidant method. *Processes*, 10(1), 132. <https://doi.org/10.3390/pr10010132>
58. Kim, J. J., Kim, Y. S., & Kumar, V. (2019). Heavy metal toxicity: An update of chelating therapeutic strategies. *Journal of Trace elements in Medicine and Biology*, 54, 226-231. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2019.05.003>
59. Rodrigues, F. A. M., Giffony, P. S., dos Santos, S. B., Guedes, J. A., Ribeiro, M. E. N., Araújo, T. G. D., ... & Ricardo, N. M. (2021). Spondias purpurea L. stem bark extract: Antioxidant and in vitro photoprotective activities. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 32, 1918-1930. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20210082>



Centro de Ciências Naturais e Tecnologia

Curso de Engenharia Florestal

Av. Hiléia, s/n – Agrópolis INCRA

Marabá – PA

www.uepa.br