



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA – CCET

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA E AMBIENTE – PPGEA

ISAAC RANNYER SOUSA DE OLIVEIRA

**POTENCIAL ENERGÉTICO DO COCO ARIRI (*Syagrus cocoides*) PARA A
GERAÇÃO DE ENERGIA**

SÃO LUÍS

2018

ISAAC RANNYER SOUSA DE OLIVEIRA

**POTENCIAL ENERGÉTICO DO COCO ARIRI (*Syagrus cocoides*) PARA A
GERAÇÃO DE ENERGIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente da Universidade Federal do Maranhão para a obtenção do título de Mestre em Energia e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Adeilton Pereira Maciel

Co-orientador: Prof. Dr. Maxwell Ferreira Lobato

SÃO LUÍS

2018

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Oliveira, Isaac Rannyer Sousa de.

POTENCIAL ENERGÉTICO DO COCO ARIRI *Syagrus cocoides*
PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA / Isaac Rannyer Sousa de
Oliveira. - 2018.

99 f.

Coorientador(a): Maxwell Ferreira Lobato.

Orientador(a): Adeilton Pereira Maciel.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Energia e Ambiente/ccet, Universidade Federal do Maranhão,
São Luís, 2018.

1. Arecáceas. 2. Ariri. 3. Oleaginosas. 4.
Potencial energético. 5. *Syagrus cocoides*. I. Lobato,
Maxwell Ferreira. II. Maciel, Adeilton Pereira. III.
Título.

ISAAC RANNYER SOUSA DE OLIVEIRA

**POTENCIAL ENERGÉTICO DO COCO ARIRI (*Syagrus cocoides*) PARA A
GERAÇÃO DE ENERGIA**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Energia e Ambiente da
Universidade Federal do Maranhão para a
obtenção do título de Mestre em Energia e
Ambiente.

Aprovada em: _____ / _____ / _____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Adeilton Pereira Maciel (Orientador)
Departamento de Química/Universidade Federal do Maranhão – UFMA

Prof. Dr. Maxwell Ferreira Lobato (Co-orientador)
Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária/Universidade Federal do
Maranhão – UFMA

Prof^ª. Dr^ª. Cáritas de Jesus Silva Mendonça (Membro interno)
Universidade Federal do Maranhão – UFMA

Prof. Dr. Fábio Afonso Mazzei Moura de Assis Figueiredo (Membro externo)
Departamento de Zootecnia/Universidade Estadual do Maranhão – UEMA

*A todos os brasileiros que dividem a sua
rotina entre trabalho, estudo e família.*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, por terem me incentivado a seguir no caminho da educação.

Ao meu filho José Heitor e a minha esposa Aládia, pelo carinho e apoio em todas as etapas.

Ao meu orientador Prof. Dr. Adeilton Maciel, pelos ensinamentos e pela oportunidade de trabalhar em seu grupo de pesquisa.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Maxwell Lobato, pela prontidão para contribuir com o desenvolvimento do trabalho.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente, por todo o conhecimento compartilhado.

Aos colegas do Programa, pelos momentos de aprendizado, troca de experiências profissionais e trabalhos em equipe.

A todos que fazem parte do Núcleo de Combustíveis, Catálise e Ambiental da UFMA, em especial o grupo de pesquisa dedicado ao estudo do coco ariri, nas pessoas da Prof^a. Thâmara Pires e do Prof. Dr. Carlos Oliveira, pela disponibilização de dados fundamentais para o desenvolvimento deste estudo; e da Prof^a. Dr^a. Cáritas Mendonça, pela contribuição na coleta de dados e prontidão em esclarecer dúvidas.

Ao servidor da UFMA Jean e ao Engenheiro Sr. Renato Nunes, por terem disponibilizado suas propriedades para a coleta de material.

A todos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Muito obrigado!

*“Os problemas são apenas oportunidades
em roupas de trabalho.”*

Henry John Kaiser

RESUMO

A avaliação do potencial da palmeira ariri para a geração de energia, com vistas à utilização do óleo para a produção de biodiesel e a casca (epicarpo e endocarpo) como combustível sólido foi o objetivo deste trabalho. Para isso, foram coletados de plantas nativas frutos e dados biométricos na cidade de Itaipava do Grajaú, localizada na Mesorregião Centro Maranhense. Foram colhidas amostras de solo no local onde estavam as palmeiras para obtenção dos resultados analíticos físicos e químicos. Condições climáticas locais também foram analisadas. O rendimento do óleo da amêndoa e os percentuais de cada fração do fruto (amêndoa, epicarpo e endocarpo) foram obtidos a partir de experimentos desenvolvidos no Núcleo de Combustíveis, Catálise e Ambiental, na Universidade Federal do Maranhão. As análises permitiram concluir que o percentual de óleo na amêndoa é de 15,76 % e que o percentual de casca no fruto é de 59,20 %. Com os dados de rendimento obtidos, foi realizada a estimativa de produtividade teórica em três diferentes densidades de plantio. Os cálculos de estimativa apontaram resultados entre 0,6 e 1,0 ton/ha de óleo e 6,5 a 11,5 ton/ha de casca, indicando a viabilidade na utilização da biomassa do ariri para a geração de energia, devido aos resultados promissores de produtividade teórica de óleo e casca, com valores próximos aos de outras espécies que são utilizadas como fornecedoras de biomassa para a geração de energia.

Palavras-chave: Arecáceas. Ariri. *Syagrus cocoides*. Oleaginosas. Potencial energético.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the potential of ariri palm tree for the generation of energy, with a view to the use of the oil for the production of biodiesel and the bark (epicarp and endocarp) as solid combustible. For this, fruits and biometric data from native plants were collected in the city of Itaipava do Grajaú, located in the Middle Region of Maranhão State. Soil samples were collected at the place where the palms were to obtain the physical and chemical analytical results. Local climatic conditions were also analyzed. The yield of the almond oil and the percentages of each fruit fraction (almond, epicarp and endocarp) were obtained from experiments developed at the Nucleus of Combustibles, Catalysis and Environmental, at the Federal University of Maranhão. The analysis allowed to conclude that the percentage of oil in the almond is 15.76% and that the percentage of bark in the fruit is 59.20%. With the yield data obtained, the theoretical productivity was estimated at three different planting densities. The estimation calculations showed results between 0.6 and 1.0 ton/ha of oil and 6.5 to 11.5 ton/ha of bark, indicating the viability of using the biomass of the ariri palm tree for the generation of energy, due to the promising results of theoretical productivity of oil and bark, with values close to those of other species that are used as suppliers of biomass for the generation of energy.

Key words: Arecaceae. Ariri. *Syagrus cocoides*. Oleaginous. Energetic potential.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Oferta de Energia Primária no Mundo por Fonte – 1973 e 2014	05
Tabela 2: Capacidade instalada de fontes alternativas por região do mundo (GW)	06
Tabela 3: Capacidade instalada de fontes alternativas no mundo – 10 maiores países em 2014 (GW)	07
Tabela 4: Geração por fontes alternativas por região do mundo (TWh)	07
Tabela 5: Geração por fontes alternativas no mundo – 10 maiores países (TWh)	08
Tabela 6: Consumo de energia elétrica no mundo por região (TWh)	08
Tabela 7: Consumo de energia elétrica no mundo – 10 maiores países (TWh)	09
Tabela 8: Participação na oferta e demanda de energia por fonte e variações (Δ s)	12
Tabela 9: Produção de biomassa florestal para energia, por região, em 2009	14
Tabela 10: Parâmetros químicos do óleo do coco ariri	21
Tabela 11: Espécies citadas pelos informantes, seus nomes, locais, categorias de uso citadas, números de uso e de citações por espécie	24
Tabela 12: Características da área de estudo	30
Tabela 13: Características biométricas e de produção de <i>Syagrus cocoides</i> Martius coletadas no município de Itaipava do Grajaú/MA	38
Tabela 14: Resultado analíticos das características químicas das amostras de solos coletadas em São Luís/MA e Itaipava do Grajaú/MA	42
Tabela 15: Classe de interpretação da acidez ativa no solo (pH)	42
Tabela 16: Classes de interpretação de teores de matéria orgânica	44
Tabela 17: Disponibilidade de P para as culturas em função do teor de P no solo determinado pelo extrator Mehlich-1	44
Tabela 18: Classes de interpretação para a soma de bases (SB)	45

Tabela 19: Classes de interpretação para o teor de alumínio trocável (Al ³⁺)	45
Tabela 20: Classes de interpretação para a CTC Total (T)	46
Tabela 21: Resultado analíticos das características físicas dos solos	47
Tabela 22: Critérios e limites para a classificação de solos quanto à salinidade e sodicidade	48
Tabela 23: Rendimento do óleo da amêndoa de <i>Syagrus cocooides</i> Martius	57
Tabela 24: Rendimento da casca de <i>Syagrus cocooides</i> Martius	57
Tabela 25: Características de culturas oleaginosas no Brasil	60
Tabela 26: Produtividade estimada da casca do coco ariri (<i>Syagrus cocooides</i> Mart.) em diferentes densidades de plantio	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução da oferta de Energia Primária no Mundo – 1972 a 2014	04
Figura 2: Matriz energética mundial – 2016	05
Figura 3: Matriz elétrica mundial – 2016	06
Figura 4: Evolução da Oferta Interna da Energia do Brasil – 1973 a 2015	10
Figura 5: Fontes na Matriz Energética Nacional 2015	10
Figura 6: Evolução da Dependência Externa de Energia – 1970 a 2015	11
Figura 7: Rotas de uso de biomassa para a produção de energia no Brasil	15
Figura 8: Mapa de distribuição do gênero <i>Syagrus</i>	18
Figura 9: Frutos da espécie <i>Syagrus cocoides</i> Martius	19
Figura 10: Mapa da distribuição do <i>Syagrus cocoides</i> e <i>S. cerqueirana</i>	22
Figura 11: Faixa de distribuição do <i>Syagrus cocoides</i> na América do Sul	23
Figura 12: Palmeira <i>Syagrus cocoides</i> utilizada para ornamentação de jardim em condomínio residencial na cidade de São Luís/MA	25
Figura 13: Estipes da palmeira <i>Syagrus cocoides</i> utilizadas como colunas de sustentação de enfeites de festas juninas	26
Figura 14: Palmeiras <i>Syagrus cocoides</i> utilizadas como cerca viva para demarcação de limites de propriedade localizada no Bairro Vila Maranhão da cidade de São Luís/MA	26
Figura 15: Estipes da palmeira <i>Syagrus cocoides</i> utilizadas de maneira rústica na construção civil, por moradores da comunidade Cajueiro, no Bairro Vila Maranhão da cidade de São Luís/MA	27
Figura 16: Restos de coco ariri deixados após alimentação por roedores	27
Figura 17: Mapa do Estado do Maranhão com a indicação das cidades São Luís e Itaipava do Grajaú	31

Figura 18: Mapa de Solos do Município de Itaipava do Grajaú e a Indicação Geográfica do local onde foi coletado o material	31
Figura 19: Representação esquemática da profundidade das amostras de solo coletadas em São Luís e em Itaipava do Grajaú	32
Figura 20: Representação esquemática do caminhar zigue zague para coleta das amostras simples	33
Figura 21: Extrator Soxhlet utilizado na extração do óleo do coco ariri	35
Figura 22: Rotaevaporador utilizado para a separação do óleo e do solvente	35
Figura 23: <i>Syagrus cocoides</i> Martius	39
Figura 24: Constituintes do fruto do <i>Syagrus cocoides</i> Martius	40
Figura 25: Amêndoas do fruto do <i>Syagrus cocoides</i> Martius	40
Figura 26: Amêndoas de <i>Syagrus cocoides</i> Martius após serem trituradas	41
Figura 27: Disponibilidade de nutrientes e alumínio em função do pH do solo	43
Figura 28: Classes texturais para solos de acordo com a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo	47
Figura 29: Precipitação na cidade de Barra do Corda no ano de 2017	49
Figura 30: Variação da temperatura média na cidade de Barra do Corda no ano de 2017	50
Figura 31: Umidade relativa na cidade de Itaipava do Grajaú no ano de 2017	50
Figura 32: Distribuição de Frequência da variável Diâmetro Longitudinal dos Frutos do material coletado em Itaipava do Grajaú	51
Figura 33: Distribuição de Frequência da variável Diâmetro Transversal dos Frutos do material coletado em Itaipava do Grajaú	52
Figura 34: Distribuição de frequência da variável Diâmetro Longitudinal das Amêndoas do material coletado em Itaipava do Grajaú	53
Figura 35: Distribuição de frequência da variável Diâmetro Transversal das Amêndoas do material coletado em Itaipava do Grajaú	53

Figura 36: Distribuição de frequência da variável Massa do Fruto Inteiro do material coletado em Itaipava do Grajaú	54
Figura 37: Distribuição de frequência da variável Massa da Amêndoa do material coletado em Itaipava do Grajaú	55
Figura 38: Distribuição de frequência da variável Massa do Epicarpo do material coletado em Itaipava do Grajaú	55
Figura 39: Distribuição de frequência da variável Massa do Endocarpo do material coletado em Itaipava do Grajaú	56
Figura 40: Estimativa de produtividade de <i>Syagrus cocoides</i> Mart. no espaçamento de plantio 3 m x 3 m, considerando eficiência de extração do óleo com Soxhlet de 85%	58
Figura 41: Estimativa de produtividade de <i>Syagrus cocoides</i> Mart. no espaçamento de plantio 4 m x 3,5 m, considerando eficiência de extração do óleo com Soxhlet de 85%	59
Figura 42: Estimativa de produtividade de <i>Syagrus cocoides</i> Mart. no espaçamento de plantio 4 m x 4 m, considerando a eficiência de extração de óleo com Soxhlet de 85%	59

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN – Balanço Energético Nacional
bep – Barril equivalente de petróleo
CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CE – Condutividade elétrica
CTC – Capacidade de troca de cátions
DLA – Diâmetro longitudinal das amêndoas
DLF – Diâmetro longitudinal dos frutos
DTA – Diâmetro transversal das amêndoas
DTF – Diâmetro transversal dos frutos
EIA – *United States Energy Information Administration* (Administração de Informações sobre Energia dos Estados Unidos)
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura)
GEE – Gases de efeito de estufa
GPS – *Global Positioning System* (Sistema de Posicionamento Global)
GW – Gigawatt
GWh – Gigawatt-hora
IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA – *International Energy Agency* (Agência Internacional de Energia)
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
ktep – Quilotonelada equivalente de petróleo
MA – Massa da amêndoa
MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MEC – Ministério da Educação
MEN – Massa do endocarpo
MEP – Massa do epicarpo
MF – Massa total de frutos presente em um cacho
MFI – Massa do fruto inteiro
MME – Ministério de Minas e Energia
MO – Matéria orgânica
Mtep – Megatonelada equivalente de petróleo
MTFP – Massa total de frutos por palmeira
Mtoe – Megatonelada de óleo equivalente
MW – Megawatt
MWh – Megawatt-hora

NCCA – Núcleo de Combustíveis, Catálise e Ambiental
NP – Número de palmeiras por hectare
OA – Teor de óleo da amêndoa (g de óleo / 100 g de amêndoa)
PNE – Plano Nacional de Energia
PNPB – Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel
PST – Porcentagem de sódio trocável
QTF – Quantidade total de frutos por palmeira
REN – Redes Energéticas Nacionais
RO – Rendimento de óleo por hectare (kg)
SB – Soma de bases
tep – Tonelada equivalente de petróleo
TWh – Terawatt-hora
UFMA – Universidade Federal do Maranhão
V% – Saturação por bases
WEC – *World Energy Council* (Conselho Mundial de Energia)

SUMÁRIO

1.0 - INTRODUÇÃO	1
2.0 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL.....	3
2.2 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA	9
2.3 GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DA BIOMASSA	13
2.4 O GÊNERO <i>Syagrus</i>.....	17
2.5 A ESPÉCIE <i>Syagrus cocoides</i> Martius	19
2.5.1 Características gerais.....	19
2.5.2 Distribuição geográfica	21
2.5.3 Utilidades das matérias-primas fornecidas pela espécie <i>Syagrus cocoides</i> Martius	23
3.0 - OBJETIVOS	29
3.1 GERAL	29
3.2 ESPECÍFICOS	29
4.0 - METODOLOGIA	30
4.1 ÁREA DE ESTUDO E COLETA DO MATERIAL.....	30
4.2 ANÁLISES DE SOLO.....	32
4.3 DADOS METEOROLÓGICOS.....	33
4.4 PARÂMETROS AVALIADOS EM CAMPO	33
4.5 BIOMETRIA DOS FRUTOS	34
4.6 RENDIMENTO DO ÓLEO	34
4.7 ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE	36
4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	37
5.0 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
5.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ESPÉCIE <i>Syagrus cocoides</i> Martius	38
5.2 ANÁLISES DE SOLO.....	42
5.3 DADOS METEOROLÓGICOS.....	49
5.4 BIOMETRIA.....	50
5.4.1 Diâmetro Longitudinal dos Frutos (DLF).....	51
5.4.2 Diâmetro Transversal dos Frutos (DTF)	52
5.4.3 Diâmetro Longitudinal das Amêndoas (DLA).....	52
5.4.4 Diâmetro Transversal das Amêndoas (DTA)	53
5.4.5 Massa do Fruto Inteiro (MFI).....	54

5.4.6 Massa da Amêndoa (MA)	54
5.4.7 Massa do Epicarpo (MEP)	55
5.4.8 Massa do Endocarpo (MEN)	56
5.4.9 Rendimento do óleo	56
5.4.10 Rendimento do epicarpo e do endocarpo	57
5.5 ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE DE ÓLEO E COPRODUTOS EM DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTIO	58
6.0 - CONCLUSÕES	62
REFERÊNCIAS	63
ANEXOS	73
APÊNDICES	76

1.0 - INTRODUÇÃO

Atualmente são diversos os estudos que abordam a busca pela produção de energias de fontes renováveis e que sejam economicamente viáveis. Entre estas, destaca-se a energia produzida a partir da biomassa, cujo potencial no Brasil é bastante considerável.

Em comparação com o mundo, a matriz energética brasileira é considerada limpa pelo uso intensivo das fontes de energia renováveis. Nesse aspecto, a biomassa tem grande representatividade, no entanto ainda não recebe o destaque merecido no balanço energético nacional (BRAND *et al.*, 2014).

Entre as muitas opções existentes para aproveitamento da biomassa, está a proveniente do coco da palmeira *Syagrus cocoides* Martius, popularmente conhecida no Estado do Maranhão como Ariri.

O gênero *Syagrus* pertence à família *Arecaceae*. Atualmente, existem 65 espécies, 2 subespécies e 14 híbridos naturais. O gênero é distribuído pelos Neotrópicos, com a maior concentração no leste e no centro do Brasil. As espécies de *Syagrus* ocupam uma variedade de habitats, como florestas tropicais úmidas, como a Amazônia ou a mata atlântica. Alguns podem sobreviver a condições extremamente secas, como a caatinga do nordeste do Brasil, que sofre longos períodos de baixa ou nenhuma chuva. Podem crescer desde o nível do mar até elevações de até 1800 m. No entanto, as zonas de transição, as florestas sazonalmente secas, as savanas (cerrados) e o campo rupestre abrigam a maior parte deste gênero (NOBLICK, 2017).

Os frutos da *Syagrus cocoides* formam um cacho pequeno e são de cor verde, de formato helicoidal, composto de um caroço lenhoso, pardo-claro recoberto por um epicarpo de cor verde, contendo no seu interior uma amêndoa oleosa. A composição do caroço é de 50% de casca lenhosa e 50% de amêndoa lenhosa. A amêndoa contém 32% de óleo amarelo-claro, de aroma agradável (PESCE, 2009).

A palmeira ariri tem seu aproveitamento na construção civil (madeira do tronco) e no aproveitamento do óleo do coco na culinária e de forma medicinal (ARAÚJO *et al.*, 2011). Visando a busca por mais uma forma de utilização desta espécie, foi estudada a viabilidade da produção de energia a partir da biomassa da casca e do óleo do coco desta palmeira.

Considerando que o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), em suas diretrizes, foca na produção de biodiesel a partir de diferentes fontes oleaginosas, de modo a fortalecer as potencialidades regionais para a produção da matéria prima, o óleo do coco ariri é uma opção no Estado do Maranhão para a produção de biomassa e geração de energia.

A literatura é escassa em relação a informações sobre o ariri. Este trabalho contribuirá com informações que servirão de suporte para trabalhos futuros, que testem com experimentos práticos os resultados de estimativas teóricas aqui apresentados.

O cultivo desta espécie em condições agronômicas controladas ainda é desconhecido, visto que se trata de planta nativa, de ocorrência natural, carente de estudos que determinem o seu potencial de aproveitamento, inclusive o energético a partir do coco.

Nesse contexto, o presente trabalho visa estimar o potencial energético a partir da biomassa do coco, comparando os resultados em diferentes espaçamentos de cultivo, a fim de se chegar a valores teóricos do quanto a espécie poderia produzir de óleo e casca para a geração de energia.

2.0 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL

É cada vez mais crescente a busca pela geração de energia a partir de fontes renováveis. Sabe-se que a energia originada a partir de combustíveis fósseis, além de ser potencial poluidora ao meio ambiente, é finita. O petróleo e o gás natural certamente apresentarão um quadro de escassez nas próximas décadas, o que comprometerá a disponibilidade de energia produzida a partir dessas fontes e o aumento do preço da mesma. Lima *et al.* (2014) afirma que nos próximos 36 anos a matriz energética mundial apoiada no petróleo não será mais capaz de suprir a crescente demanda.

Para contornar a situação, a sociedade está a procura de novas fontes de energia que sejam baratas, renováveis e menos poluentes, uma vez que o mundo enfrenta e sofre as consequências do aquecimento global causado pela emissão de Dióxido de Carbono (CO₂) na atmosfera (BRASIL, 2005).

Tendo isso em vista, as fontes de energias renováveis vêm ganhando mais destaque e espaço na matriz energética mundial. Os países estão investindo mais em tecnologias que utilizam como fontes de geração a energia solar, a energia dos ventos, a energia mecânica proveniente dos oceanos, a biomassa, o lixo, a energia geotérmica (restrito a alguns países que têm essa fonte de energia), dentre outras fontes.

Tendências sobre o mercado de energias de fontes renováveis refletem o forte crescimento e investimentos em todos os setores do mercado. Para comprovação de tal afirmação, pode-se dizer que, durante o período compreendido entre o final de 2005 até 2012, o setor cresceu a taxas médias variando de 15 % a 55 % ao ano (REN 21, 2013).

Além disso, estima-se que a população mundial se aproximará de 9 bilhões em 2040 e para atender a essa demanda, em comparação ao consumo de 2010, será necessário um aumento próximo a 35% na oferta total de energia. Isso exigirá maior diversificação de recursos energéticos e inovações tecnológicas mais eficientes e confiáveis para o meio ambiente e assim tornar a matriz energética mundial mais sustentável (IEA, 2017).

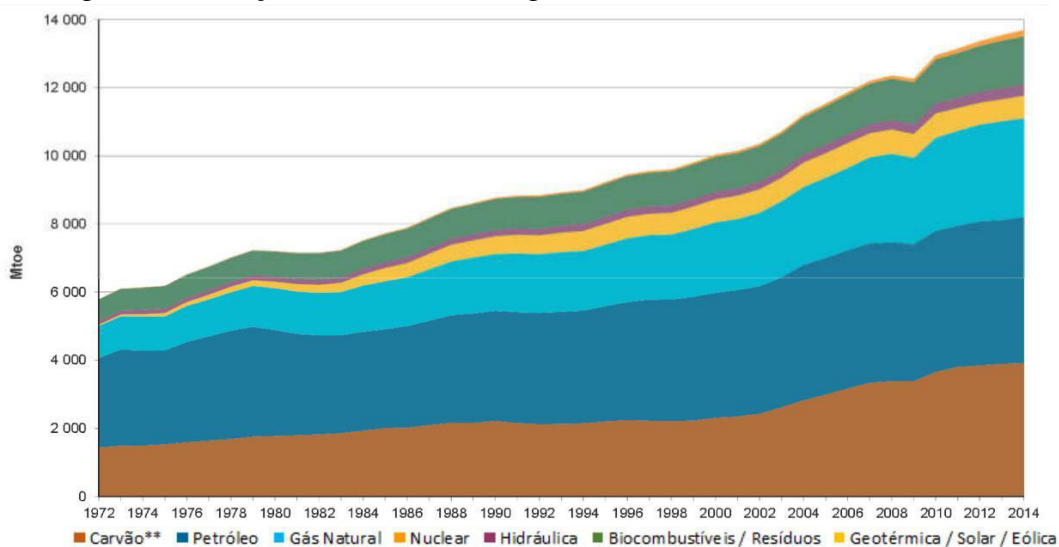
O World Energy Council – WEC, em relatório intitulado “Logistics Bottlenecks”, fez uma projeção do consumo e da demanda energética para 2020 e 2050, o qual corrobora

que haverá um aumento em energia primária até 2020, e estima a duplicação da demanda de energia no planeta, até 2050 (WEC, 2010b). No entanto, o Conselho assegura que os combustíveis fósseis ainda serão o principal componente da matriz energética por mais uma geração. O Conselho afirma ainda que a biomassa, a energia eólica, a geotermia e o aproveitamento energético de resíduos são tecnologias economicamente viáveis na atualidade (WEC, 2010a).

Em suma, o que se espera para as próximas décadas é a escassez de fontes de energia a partir de combustíveis fósseis e um grande crescimento da demanda por energia. Esse quadro é uma oportunidade perfeita para o crescimento da exploração das fontes de energia renováveis.

A Agência Internacional de Energia – IEA divulgou um balanço sobre a oferta primária de energia no mundo ocorrida a partir de 1972 até 2014 (Figura 1). É possível perceber na figura que ao longo dos anos a participação do petróleo na oferta primária de energia regride. Lê-se também na figura que a oferta primária de energia, que era em torno de 6.000 Mtep em 1972, cresceu para quase 14.000 em 2014, ou seja, mais do que dobrou em quatro décadas (COSTA, 2017).

Figura 1: Evolução da oferta de Energia Primária no Mundo – 1972 a 2014



*Exclui o comércio de eletricidade. ** Nesta figura, turfa e óleo de xisto estão agregados com carvão.

Fonte: IEA (2016)

A Tabela 1 mostra a oferta primária de energia no mundo por percentual representado por cada fonte, compreendida entre os anos de 1973 e 2014, com destaque para a queda do petróleo.

Tabela 1: Oferta de Energia Primária no Mundo por Fonte – 1973 e 2014

	1973	2014
Petróleo	48,3%	39,9%
Carvão ¹	13,5%	11,4%
Gás natural	14,0%	15,1%
Eletricidade	9,4%	18,1%
Biocombustíveis e resíduos ²	13,1%	12,2%
Outros ³	1,7%	3,3%

¹ Turfa e óleo de xisto estão agregados com carvão; ² Compreendem biocombustíveis sólidos e líquidos, biogás e resíduos industriais e municipais; ³ Inclui geotérmica, solar, eólica, etc.

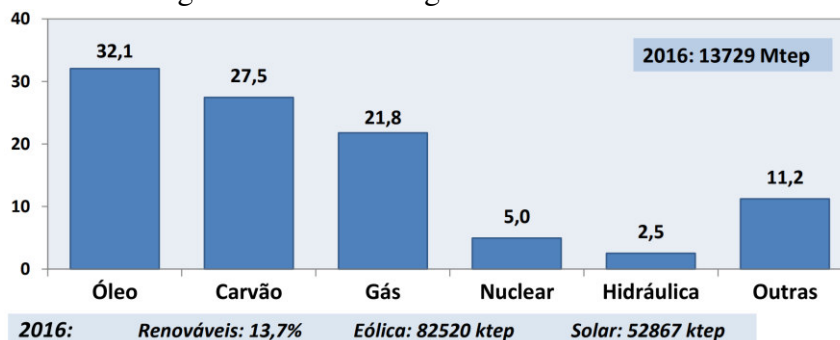
Fonte: IEA (2016)

Em 1973, o petróleo participava com 48,3% da oferta primária de energia no mundo, caindo para 39,9% em 2014. O carvão também regrediu, caindo de 13,5% para 11,4%. O gás natural aumentou a sua contribuição de 14% para 15,1% no mesmo período, devido a investimentos realizados nesta área. A participação dos biocombustíveis e resíduos decresceu ligeiramente, porém observou-se quase uma duplicação no percentual de outras fontes de energias renováveis, incluindo a solar, eólica e a geotérmica (COSTA, 2017).

Pode-se observar que os combustíveis fósseis ainda permanecem muito preponderantes na matriz energética global, conferindo-lhes um alto grau de importância (COSTA, 2017). Contudo, conforme anteriormente comentado, tratam-se de fontes de energia finitas, com a perspectiva de obterem escassez em algumas décadas, abrindo assim um grande leque de oportunidade para a exploração de outras fontes de energia.

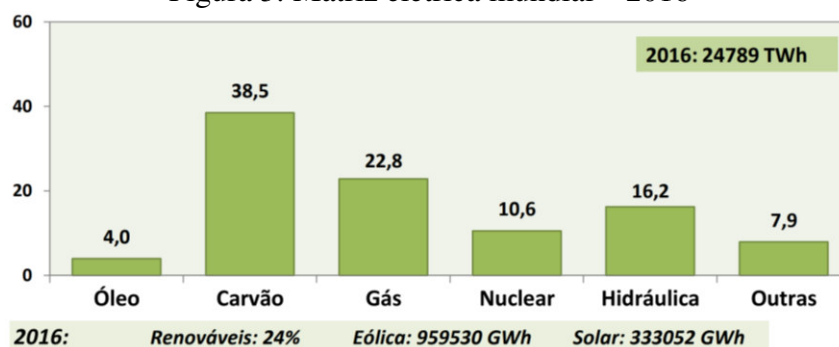
Dados de 2016 mostram que a matriz energética mundial está apoiada predominantemente no óleo, tendo em segunda posição o carvão (Figura 2). Por sua vez, a matriz elétrica mundial tem como principal fonte o carvão, sendo a segunda posição ocupada pelo gás (Figura 3).

Figura 2: Matriz energética mundial – 2016



Fonte: BRASIL, 2017

Figura 3: Matriz elétrica mundial – 2016



Fonte: BRASIL, 2017

A Empresa de Pesquisa Energética – EPE, por meio de uma publicação com título “Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 – Ano Base 2016”, divulgou dados a níveis mundiais sobre capacidade instalada de fontes alternativas de energia por regiões do mundo, bem como a capacidade instalada de fontes alternativas dos dez maiores países, conforme as tabelas a seguir (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2: Capacidade instalada de fontes alternativas por região do mundo (GW)

	2010	2011	2012	2013	2014	$\Delta\%$ (2014/2013)	Part. % (2014)
Mundo	303	380,3	460,9	541,8	662	22,2	100
Europa	147,8	185,3	219,2	244,2	264,7	8,4	40
Ásia e Oceania	75,3	103,1	127,8	170,6	244,6	43,4	37
América do Norte	62,7	72,1	90,8	99,2	117	17,9	17,7
América do Sul e Central	14,7	16,4	18,8	21,9	26,7	22,1	4
África	1,9	2,1	2,5	3,2	5,2	62,8	0,8
Eurásia	0,4	0,9	1,6	2,1	2,7	33,5	0,4
Oriente Médio	0,1	0,3	0,4	0,7	1	30,4	0,1

Nota: Fontes alternativas: geotérmica, eólica, solar, das marés, das ondas, biomassa e resíduos.

Fonte: U.S. Energy Information Administration (EIA); América do Sul: para o Brasil, Balanço Energético Nacional 2017. Adaptada por Empresa de Pesquisa Energética, 2017.

Observa-se a predominância da Europa, cujo percentual de participação no ano de 2014 correspondeu a 40 % a nível mundial. A Ásia, em conjunto com a Oceania, foi responsável por 37 % nesse mesmo ano, alavancadas pelos investimentos da China. A América do Sul apresentou uma participação de apenas 4 % em 2014, tendo esse valor a capacidade de ser exponencialmente aumentado devido às vocações naturais para geração de energia por fontes renováveis.

Tabela 3: Capacidade instalada de fontes alternativas no mundo - 10 maiores países em 2014 (GW)

	2010	2011	2012	2013	2014	Part. % (2014)
Mundo	303	380,3	460,9	541,8	662	100
China	36	56,3	72,6	101,1	151	22,8
Estados Unidos	54,7	62,6	78,9	84,9	99,6	15
Alemanha	53	62,9	73,1	80,7	87,7	13,3
Itália	12,5	23,4	29,1	31,8	32,2	4,9
Espanha	26,3	28,1	30,6	31,2	31,2	4,7
Índia	16,3	20,4	24	27,2	30,9	4,7
Japão	8	9,4	11,2	18,3	28,1	4,2
Reino Unido	7,6	10,6	13,9	18	22,8	3,4
França	8,6	12,5	14,4	15,8	17,8	2,7
Brasil	8,9	10,5	11,8	13,8	17,2	2,6
Outros	71,2	83,6	101,3	119	143,3	21,6

Nota: Fontes alternativas: geotérmica, eólica, solar, das marés, das ondas, biomassa e resíduos.

Fonte: U. S. Energy Information Administration (EIA); para o Brasil: Balanço Energético Nacional 2017.

Adaptada por Empresa de Pesquisa Energética, 2017.

O Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 – Ano Base 2016, trouxe ainda os dados de geração por fontes alternativas de energia por continentes do mundo, bem como a geração por fontes alternativas de energia dos dez maiores países, conforme as tabelas a seguir, com destaque para a Tabela 5, que mostra que os primeiros 3 países – Estados Unidos, China e Alemanha – juntos são responsáveis pela geração de 47% de toda a energia de fonte renovável no mundo no ano de 2014, excluía a geração hidrelétrica.

Tabela 4: Geração por fontes alternativas por região do mundo (TWh)

	2010	2011	2012	2013	2014	Part. % (2014)
Mundo	801,6	951	1.114,20	1.304,00	1.478,60	100
Europa	332,6	399,8	468,2	525,2	567,5	38,4
Ásia e Oceania	204	251	310,5	386,9	454,3	30,7
América do Norte	203,3	233,6	259,7	303,5	346	23,4
América do Sul e Central	51,3	55,1	62,7	72,3	88,3	6
África	5,1	5,3	5,5	7,2	11,9	0,8
Eurásia	5	5,6	7	7,9	9,1	0,6
Oriente Médio	0,3	0,6	0,7	1	1,6	0,1

Nota 1: Fontes alternativas: geotérmica, eólica, solar, das marés, das ondas, biomassa e resíduos

Nota 2: Fonte alternativa: renovável e não hidráulica

Fonte: U. S. Energy Information Administration (EIA); América do Sul: para o Brasil, Balanço Energético Nacional 2017. Adaptada por Empresa de Pesquisa Energética, 2017.

Tabela 5: Geração por fontes alternativas no mundo – 10 maiores países (TWh)

	2010	2011	2012	2013	2014	Part. % (2014)
Mundo	801,6	951	1.114,20	1.304,00	1.478,60	100
Estados Unidos	179,8	208,1	232,1	267,1	302,2	20,4
China	79,6	111,3	143,4	206,1	242,8	16,4
Alemanha	90,2	112,5	128,3	135,9	150,4	10,2
Espanha	56,1	57,7	67,1	75,2	71,8	4,9
Índia	40,6	43,3	56,1	54,7	67,7	4,6
Itália	34,4	43	52,8	60,2	67,5	4,6
Japão	28	39,4	52,6	61,5	64,6	4,4
Reino Unido	23,8	31,3	38,5	51,3	62,1	4,2
Brasil ¹	33,7	34,9	40,3	47,1	58,6	4
França	17,5	21,8	26,5	28	30,6	2,1
Outros	217,8	247,6	276,4	316,8	360,4	24,4

Nota 1: Fontes alternativas: geotérmica, eólica, solar, das marés, das ondas, biomassa e resíduos

Nota 2: Fonte alternativa: renovável e não hidráulica

Fonte: U. S. Energy Information Administration (EIA); para o Brasil, Balanço Energético Nacional 2017.

Adaptada por Empresa de Pesquisa Energética, 2017.

Por fim, observa-se também no Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 – Ano Base 2016, o consumo de energia elétrica no mundo por regiões e o consumo de energia elétrica no mundo nos dez maiores países, com destaque para a Tabela 7, onde é possível observar que os dois primeiros países – China e Estados Unidos – juntos foram responsáveis pelo consumo de mais de 43% de toda a energia elétrica do planeta no ano de 2014.

Tabela 6: Consumo de energia elétrica no mundo por região (TWh)

	2010	2011	2012	2013	2014	Part. % (2014)
Mundo	18.654,50	19.341,60	19.706,40	20.326,00	20.730,60	100
Ásia e Oceania	7.209,40	7.793,70	8.083,20	8.615,80	8.940,90	43,1
América do Norte	4.605,70	4.643,50	4.594,10	4.633,60	4.680,10	22,6
Europa	3.364,00	3.324,30	3.341,30	3.315,70	3.259,80	15,7
Eurásia	1.247,70	1.275,60	1.300,30	1.296,20	1.305,40	6,3
América do Sul e Central	939,8	971,6	1.007,80	1.040,50	1.053,10	5,1
Oriente Médio	735,8	754,5	790,3	821,8	874	4,2
África	552,1	578,4	589,4	602,4	617,2	3

Fonte: U. S. Energy Information Administration (EIA); América do Sul: para o Brasil, Balanço Energético Nacional 2017. Adaptada por Empresa de Pesquisa Energética, 2017.

Tabela 7: Consumo de energia elétrica no mundo – 10 maiores países (TWh)

	2010	2011	2012	2013	2014	Part. % (2014)
Mundo	18.654,50	19.341,60	19.706,40	20.326,00	20.730,60	100
China	3.713,30	4.178,90	4.434,90	4.845,70	5.066,80	24,4
Estados Unidos	3.886,50	3.882,60	3.832,30	3.868,30	3.912,80	18,9
Índia	727,1	802,2	831,4	903,5	972,6	4,7
Japão	1.038,40	1.028,60	966,1	959,1	934,4	4,5
Rússia	858,5	874,8	889,1	881,1	890,9	4,3
Alemanha	553	546,6	546,7	544,6	533	2,6
Brasil	464,7	481	498,4	516,2	532,6	2,6
Canadá	501,8	519,4	514,3	530,9	528,1	2,5
Coreia do Sul	450,2	472,7	482,9	487,8	495	2,4
França	474	443,6	454,7	455,1	431	2,1
Outros	5.986,90	6.111,30	6.255,60	6.333,50	6.433,30	31

Fonte: U. S. Energy Information Administration (EIA); Elaboração: EPE; Para o Brasil, Balanço Energético Nacional 2017 (inclui autoprodução). Adaptada por Empresa de Pesquisa Energética, 2017.

2.2 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

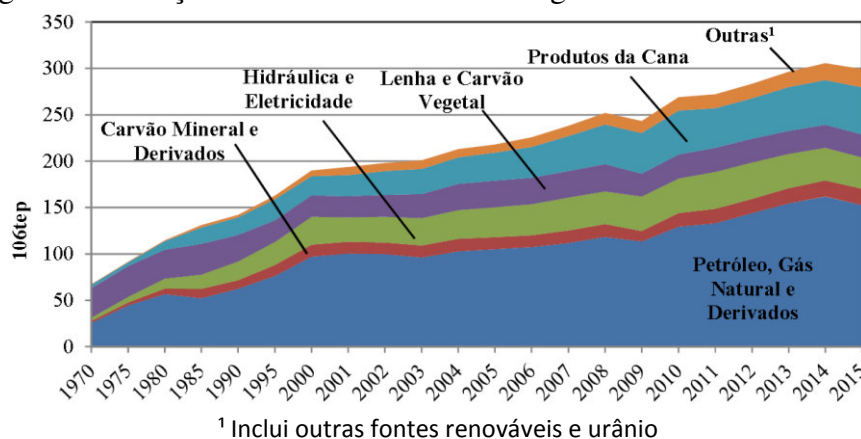
A matriz energética é a descrição de toda a produção e consumo de energia de um país, discriminada por fonte de produção e setores de consumo (VICHÍ e MANSOR, 2009). No Brasil, a descrição disponível mais completa que se tem é o Balanço Energético Nacional – BEN, que é elaborado anualmente pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE, sendo publicado pelo Ministério de Minas e Energia – MME.

O principal aspecto que deve ser considerado no planejamento energético de uma região é a disponibilidade dos recursos naturais existentes.

No Brasil, existem diversas fontes primárias de energia, o que o torna uma potência mundial extremamente competitiva. O país possui um enorme potencial nas fontes de energia renováveis, que pode ser aproveitado pela sua matriz energética, no entanto, são necessários investimentos em tecnologia para redução dos custos de implantação e geração (MANTOVANI, 2016).

A Figura 4 apresenta a evolução da oferta interna de energia no Brasil, conforme os dados reportados no Balanço Energético Nacional elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2016).

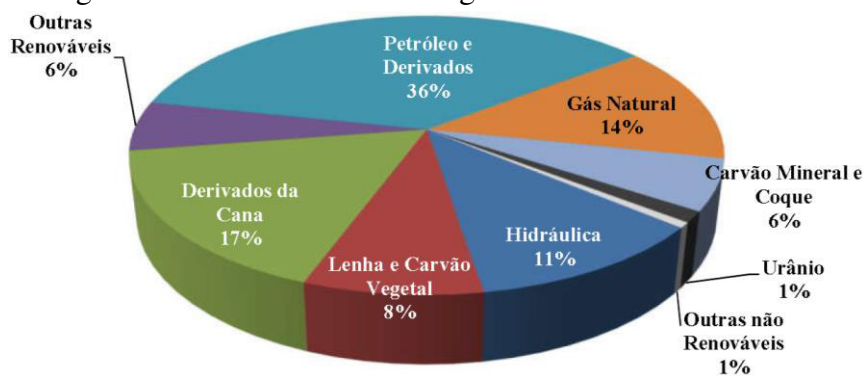
Figura 4: Evolução da Oferta Interna da Energia do Brasil – 1973 a 2015



Fonte: EPE, 2016

Na matriz brasileira o petróleo e seus derivados possuem a maior participação. Essas fontes de energias são extremamente poluentes e não renováveis, representando cerca de mais da metade da matriz energética no país. A Figura 5 mostra as porcentagens das fontes de energia na matriz energética nacional no ano de 2015.

Figura 5: Fontes na Matriz Energética Nacional 2015



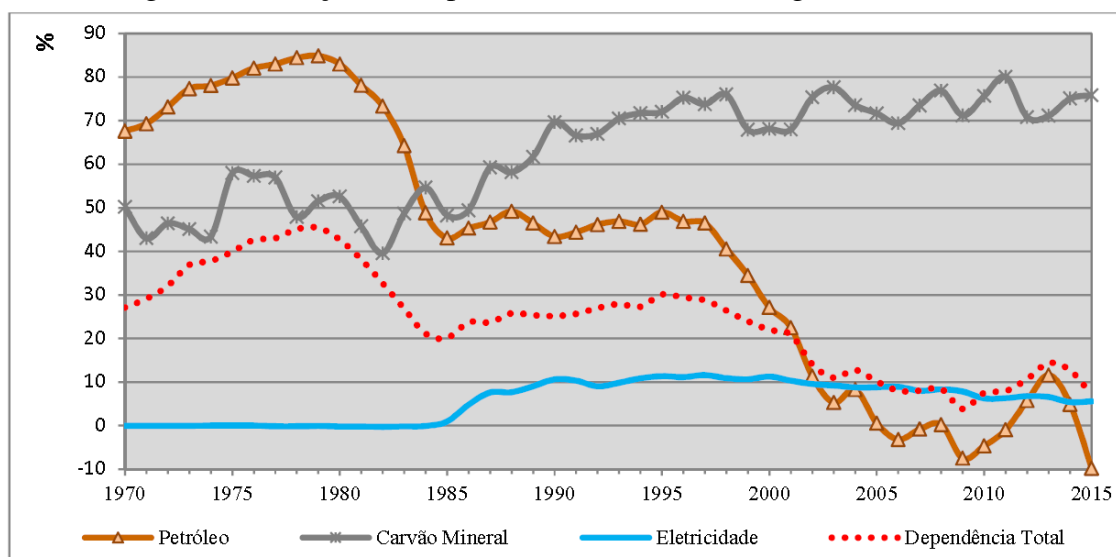
Fonte: EPE (2016)

A participação das energias de fontes renováveis na matriz energética nacional representou 41 % em 2015, uma das mais elevadas do mundo, cujo valor médio em 2014 foi de 14 %. Em termos de combustíveis fósseis, o petróleo, o gás natural e o carvão mineral juntos contribuíram com quase 57 % de toda oferta interna de energia em 2015. Somando à participação do urânio e de outras fontes, a participação das não renováveis na matriz nacional alcançou aproximadamente 59 % em 2015. A energia hidráulica respondeu por 11,5% da matriz energética nacional em 2015, representando 64% de toda a produção de eletricidade do país. Com 91,5 GW de capacidade instalada naquele ano, deverá manter a

sua predominância. Considerando a geração eólica e a biomassa, o total de renováveis na matriz elétrica foi de 75,5%, em muito superior à média mundial, de 22,7% em 2014 (IEA, 2016).

Embora o Brasil apresente várias opções abundantes como fontes de energia, ainda é um país que depende de energia externa. A diferença entre a produção interna e a demanda interna de energia (incluindo as perdas na transformação, distribuição e armazenagem, inclusive energia não-aproveitada, reinjeção e ajustes) exigiu uma importação de 22 Mtep em 2015, equivalendo a uma dependência externa de aproximadamente 7 % da energia consumida no país, conforme apresenta a Figura 6. Em relação ao petróleo, a dependência externa caiu drasticamente, chegando o Brasil a exportar esse produto na última década (EPE, 2016).

Figura 6: Evolução da Dependência Externa de Energia – 1970 a 2015



Fonte: EPE (2016)

Segundo dados obtidos da IEA (2015) e do Plano Nacional de Energia (PNE-2030) da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2015), as estruturas de ofertas primárias de energia global e no Brasil, em 2014, são muito dependentes do petróleo e demais combustíveis fósseis, todavia estão previstas variações (Δ s) que indicam menor dependência nas próximas décadas. Estima-se variação de -9,4% no Brasil até 2030 e -7,2% no mundo até 2040 (Tabela 8).

Tabela 8: Participação na oferta e demanda de energia por fonte e variações (Δ s)

FONTES DE ENERGIA/ANO		BRASIL (%)			MUNDO (%)		
		2014 ¹	2030 ²	Δ s	2014 ¹	2040 ¹	Δ s
Não renovável	Petróleo	39,4	30,0	-9,4	33,2	26,0	-7,2
	Carvão mineral	5,8	7,0	1,2	30,1	25,0	-5,1
	Gás natural	13,6	16,0	2,4	23,1	24,0	0,9
	Urânio	1,3	3,0	1,7	4,0	7,0	3,0
	Outras	0,6	-	-	0,5	-	-
Renovável	Energia hidráulica	11,5	13,0	1,5	6,0	3,0	-3,0
	Biomassa	23,9	24,0	0,1	1,1	10,0	8,9
	Outras	4,0	7,0	3,0	2,0	5,0	3,0

Fonte: PEDROSO *et al.*, 2018

De acordo com o cenário apresentado na Tabela 8 nas próximas décadas não há expectativa de grandes mudanças no setor de petróleo e derivados. Na verdade, as outras fontes de energias limpas e renováveis que crescerão na participação da matriz energética (PEDROSO *et al.*, 2018). Ou seja, a janela de oportunidade para o desenvolvimento das energias de fontes renováveis continuará a existir.

A matriz energética brasileira é bastante diversificada com importante participação de energias sustentáveis. Dentre elas, a energia produzida nas hidrelétricas é a principal renovável. A bioenergia supera a energia hidrelétrica, quando somadas todas as capacidades instaladas de energia primária gerada a partir de biomassa (biocombustíveis sólidos, líquidos e gasosos) proveniente de diversos setores agrícolas e industriais do Brasil. Mas no que se refere a energia elétrica, a maior participação é da energia hidráulica (PEDROSO *et al.*, 2018).

Historicamente, o Brasil vem investindo massivamente na geração hidrelétrica, principalmente devido a abundância de recursos hídricos disponíveis e o custo relativamente baixo em sua produção (EIA, 2015).

Estima-se que o crescimento das usinas hidrelétricas brasileiras será tímido (1,5%), mesmo sendo um país com grandes mananciais. Isto se deve ao fato do racionamento hídrico, cada vez mais típico, devido as atuais mudanças climáticas. Além disso, construir novas usinas de grande e médio porte demandam grandes investimentos iniciais. Os custos de transmissão também aumentarão, pois, as novas opções estão cada vez mais distantes dos grandes centros consumidores de energia (EPE, 2015).

As outras fontes renováveis, como a energia solar e a eólica, tem progressiva participação no mercado, aumentando (3%) igualmente no Brasil e no mundo. No caso da energia solar e eólica no Brasil, ainda são poucos os incentivos governamentais para cogeração residencial, comercial e industrial (SILVA, 2015). Contudo, o país se destaca como uma possível potência em energia solar por possuir altos níveis de insolação e grandes reservas de quartzo de qualidade; o quartzo contém silício, principal matéria prima para a fabricação da célula fotovoltaica. Estas são características naturais do Brasil, que lhe dão vantagens competitivas em produtos de alto valor agregado, como a fabricação de energia fotovoltaica.

2.3 GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DA BIOMASSA

Em todo o mundo, a escolha das principais fontes energéticas é função do nível de desenvolvimento industrial, disponibilidade, quantidade, preço e das restrições ambientais impostas pela sociedade. O petróleo deverá continuar mantendo-se como principal fonte de energia do planeta no decorrer das próximas décadas. No entanto, este cenário será marcado por crescentes exigências de uso eficiente e de especificações de derivados cada vez mais rigorosas (COSTA, 2017). Isso abrirá, cada vez mais, espaço para exploração de outras fontes de energia.

Nesse contexto, a biomassa apresenta-se como uma excelente opção, haja vista a sua disponibilidade e sua possibilidade de exploração em várias formas.

As principais fontes de biomassa são plantas e matérias-primas oleaginosas, sacarídeas, amiláceas e lignocelulósicas, além de aterros sanitários e dejetos de animais (PEDROSO *et al.*, 2018).

A utilização da biomassa florestal como fonte energética tem sido estimulada nas últimas décadas em razão de aspectos econômicos e energéticos (ZHANG *et al.*, 2015). A Tabela 9 mostra a produção de biomassa florestal para a geração de energia, por região do planeta, no ano de 2009.

Tabela 9: Produção de biomassa florestal para energia, por região, em 2009

Região	Sub-região	Produção (10³ m³)	Região (%)
África	Central	110.621	19%
	Leste	200.699	34%
	Norte	47.792	8%
	Sul	58.469	10%
	Oeste	171.091	29%
Total		588.672	100%
América Latina e Caribe	Caribe	5.120	2%
	América Central	40.195	17%
	América do Sul	195.856	81%
Total		241.171	100%
Ásia e Oceania	Leste Ásia	216.621	27%
	Sul Ásia	382.745	48%
	Sudeste Ásia	185.903	23%
	Oceania	12.838	2%
Total		798.107	100%

Fonte: Adaptado de Dobie e Sharma (2014)

No Brasil, o crescimento dos plantios florestais e os avanços tecnológicos alcançados têm propiciado o uso da biomassa lenhosa como alternativa energética para a geração térmica, cogeração e pequenas centrais elétricas (BRITO e CINTRA, 2004). Diversas indústrias estão optando pela madeira para produção de energia térmica em detrimento dos combustíveis fósseis (RIBEIRO e VALVERDE, 2016).

A energia de biomassa florestal no Brasil é constituída majoritariamente pela produção do carvão vegetal (carbonização) e consumo direto da lenha e resíduos florestais (combustão). A lenha é provavelmente a fonte energética mais antiga utilizada pelo homem. Segundo dados do Balanço Energético Nacional de 2015, embora seu uso tenha se reduzido no Brasil nos últimos anos, sua participação ainda se destaca na matriz energética brasileira, com cerca de 8% da produção de energia primária nacional (EPE, 2016).

Considerando os plantios florestais, a principal espécie utilizada para a produção de lenha é o eucalipto, com cerca de 5,63 milhões de hectares, que representou 72,2% das florestas plantadas do Brasil em 2015 (IBÁ, 2016). Atualmente, o cultivo do eucalipto abrange regiões além daquelas tradicionais, como o Sul e o Sudeste (SANTANA *et al.*, 2008). De acordo com Soares *et al.* (2006), o eucalipto configura-se como um forte gerador

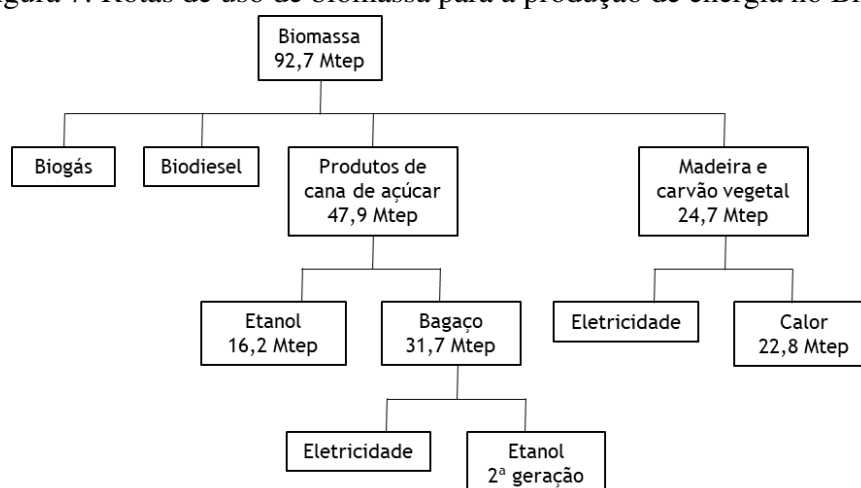
de biomassa por apresentar rápido crescimento e fácil adaptação a diferenciados tipos de solo e clima. Contudo, o autor chama a atenção para a necessidade de contínuos estudos visando o melhor aproveitamento do potencial de produção de biomassa.

Há ainda outras formas de explorar a biomassa vegetal para a geração de energia. A geração de energia a partir da biomassa depende de dois principais fatores: a disponibilidade de matéria-prima e o processo adotado para gerar a energia, seja qual for a forma (SAJID, 2016).

Na matriz energética brasileira, a biomassa tem uma participação importante devido ao uso de cana de açúcar na produção de etanol e eletricidade (17 %) e o uso de lenha e carvão vegetal (10 %) na produção de eletricidade e na siderurgia (GOLDEMBERG, 2017).

A Figura 7 mostra a participação das diferentes rotas do uso de biomassa para a produção de energia no país. Entre estas diversas rotas para a utilização de biomassa, a mais interessante do ponto de vista tecnológico e de maior significação econômica para o Brasil é a produção de etanol da cana de açúcar (GOLDEMBERG, 2017).

Figura 7: Rotas de uso de biomassa para a produção de energia no Brasil



Fonte: Adaptado de GOLDEMBERG, 2017

O biodiesel pode ser obtido a partir de vários óleos vegetais ou de gordura animal, por transesterificação, em presença de álcoois de cadeias curtas e de catalisador básico, ácido ou enzimático dando origem a monoésteres de ácidos graxos e glicerina (FU, 2015). Sua produção ultrapassou 3,8 bilhões de litros em 2016 (ANP, 2017).

O biodiesel tem o potencial de reduzir a dependência sobre os recursos naturais e as emissões de gases com efeito de estufa. Em comparação com o diesel produzido a partir do petróleo, o biodiesel exerce um baixo impacto sobre o meio ambiente, sendo biodegradável e não tóxico, e tem baixas emissões de dióxido de carbono, material particulado e hidrocarbonetos não queimados. Nesse contexto, o biodiesel é uma alternativa atraente porque, além de ser renovável, atende à demanda ambiental pela redução de emissão de poluentes (LEE, 2011; FU, 2015).

O uso de óleos vegetais como combustível alternativo possui mais de 100 anos, quando Rudolph Diesel inventou um motor movido a óleo de amendoim, enunciando a seguinte frase: “O uso de óleos vegetais como combustível para motores pode ser insignificante atualmente, mas ao longo do tempo podem se tornar tão importantes como os produtos do petróleo” (PINHO e SUAREZ, 2017).

O Brasil dispõe de várias opções para a produção de óleos vegetais. O desafio é aproveitar ao máximo as potencialidades regionais. No modelo adotado para o desenvolvimento do Programa Biodiesel, a cadeia de produção desse biocombustível utiliza como principal matéria-prima espécies oleaginosas. A diversidade de culturas oleaginosas a serem empregadas é grande e varia conforme as características de cada região. Para cada região do País, o desenvolvimento das cadeias produtivas das diferentes espécies oleaginosas precisa levar em consideração fatores que envolvem o meio ambiente e suas inter-relações com a sociedade moderna (RODRIGUES *et al.*, 2016).

Campos (2003) destaca para a região Norte, por exemplo, a utilização de matérias-primas como a palma, o babaçu, a soja e o amendoim. Na região Nordeste, as oleaginosas com destaque são o babaçu, a soja, a mamona, a palma (dendê), o algodão e o coco. Em relação ao Centro-Oeste, destaque para a soja, a mamona, o algodão, o girassol e o dendê. Para o Sul a soja, a colza, o girassol e o algodão. Para a região Sudeste a soja, o amendoim, a mamona, o algodão e o girassol.

Dentre as principais matrizes vegetais com grande potencial energético, estão a soja (*Glycine max* L.), o amendoim (*Arachis* sp.), o óleo extraído do cártamo (*Carthamus tinctorius*), da mamona (*Ricinus communis* L.), do girassol (*Helianthus annuus*), do algodoeiro (*Gossypium* sp.). Além dessas espécies, existem outras fontes bioenergéticas que vem sendo exploradas na atualidade, como o pinhão-manso (*Jatropha curcas*) e o dendezeiro ou palma (*Elaeis guineensis*) (MEDEIROS, 2014).

Nesse contexto, surge a oportunidade de estudar uma oleaginosa amplamente distribuída na região amazônica, de modo a comparar as suas características com as das

principais oleaginosas, a fim de determinar a viabilidade do seu cultivo para produção de biomassa (óleo e casca) para a geração de energia.

2.4 O GÊNERO *Syagrus*

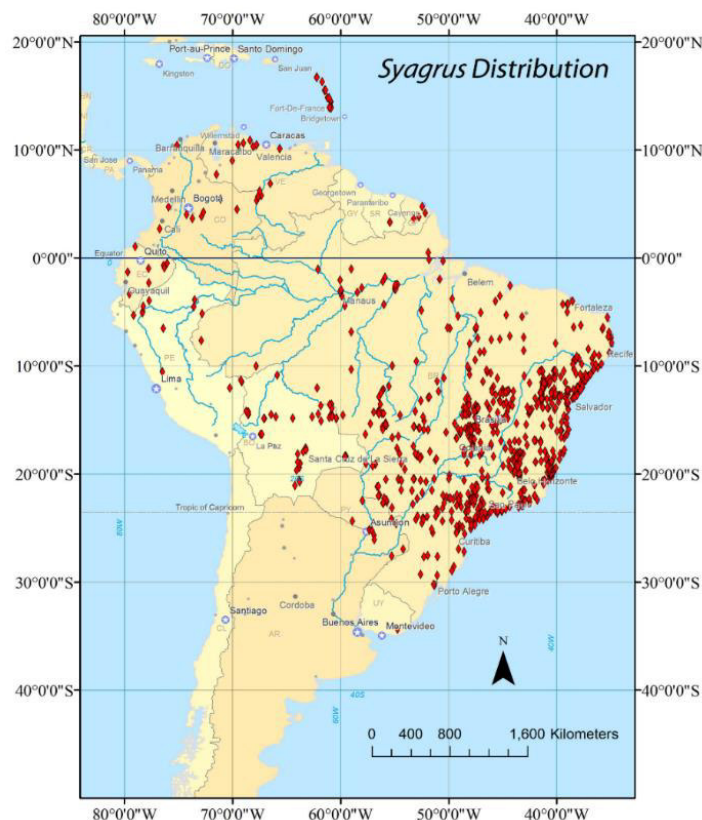
O gênero *Syagrus* pertence à família Arecaceae e subtribo Attaleinae, da tribo Cocoseae (subfamília Arecoideae). Atualmente, existem 65 espécies, 2 subespécies e 14 híbridos naturais. O gênero é distribuído pelos Neotrópicos, com a maior concentração ao leste e no centro do Brasil (NOBLICK, 2017).

As espécies de *Syagrus* ocupam vários habitats. Algumas habitam florestas tropicais úmidas, como a Amazônia ou a Mata Atlântica. Poucas conseguem sobreviver a condições extremamente secas, como a caatinga do nordeste do Brasil, que sofre longos períodos de pouca ou nenhuma chuva. Elas podem crescer do nível do mar até elevações de até 1800 m. As zonas de transição, as florestas sazonalmente secas, as savanas (cerrados) e o campo rupestre abrigam a maior parte deste gênero (NOBLICK, 2017).

A história do gênero *Syagrus* envolve o gênero *Cocos*. Linnaeus (1753) criou o gênero *Cocos* L. para incluir apenas o coco (*Cocos nucifera* L.) neste gênero, mas ficou surpreso quando seus alunos lhe enviavam cocos em miniatura (*Syagrus*) do Novo Mundo. Martius (1824) descreveu *Syagrus* para acomodar espécies com duas brácteas pedunculares: uma bráctea externa menor e mais estreita e uma bráctea peduncular interior maior, fusiforme, sulcada, em vez de uma simples bráctea peduncular (um caráter descritivo errôneo para *Cocos*); e espécies com uma flor feminina com pétalas planas, não convolutas; e um estigma subsessivo, não sésil. Martius (1824) não listou nenhuma espécie em seu artigo original (GLASSMAN, 1965). A primeira espécie que ele descreveu no gênero foi *Syagrus cocoides* Mart. em 1826. Numerosas outras espécies foram descritas depois disso. (NOBLICK, 2017).

Syagrus é um gênero grande quase totalmente restrito à América do Sul, com o centro e leste do Brasil Central e Oriental sendo o centro de sua distribuição. Suas populações estendem-se de norte a sul, do Caribe até a Argentina e o Uruguai, e do leste ao oeste, do Oceano Atlântico aos Andes (Figura 8). Todos os países da América do Sul têm espécies *Syagrus* nativas, exceto o Chile (NOBLICK, 2017).

Figura 8: Mapa de distribuição do gênero *Syagrus*



Fonte: NOBLICK, 2017

O gênero *Syagrus* apresenta semelhanças com o gênero *Cocos*. Tal proximidade já foi estudada por diversos autores. Áquila (2018), em seu trabalho sobre análises filogenéticas de uma sequência completa do genoma de uma espécie do gênero *Syagrus*, afirmou que o mesmo tem estreita relação com o gênero *Cocos*. Meerow (2009) apontou que o ancestral que ambos os gêneros compartilham ocorreu há cerca de 34,86 milhões de anos. Meerow apresentou ainda uma robusta relação irmã entre os gêneros *Cocos* e *Syagrus*. A conclusão do trabalho é que isto não é apenas um interesse em uma congruência biogeográfica e morfológica, mas também abrirá caminhos frutíferos de investigação à evolução de genes funcionais úteis para a melhoria das culturas. Tal descoberta também foi confirmada no trabalho de Eiserhardt *et al.* (2011).

Os melhoramentos genéticos supracitados podem chegar a resultados que, inclusive, proporcionem um menor ciclo da cultura, para que a exemplo do que foi feito com o coco (anão precoce), possa também ocorrer um ciclo mais rápido desde o plantio até a colheita do ariri e outras espécies do gênero *Syagrus*.

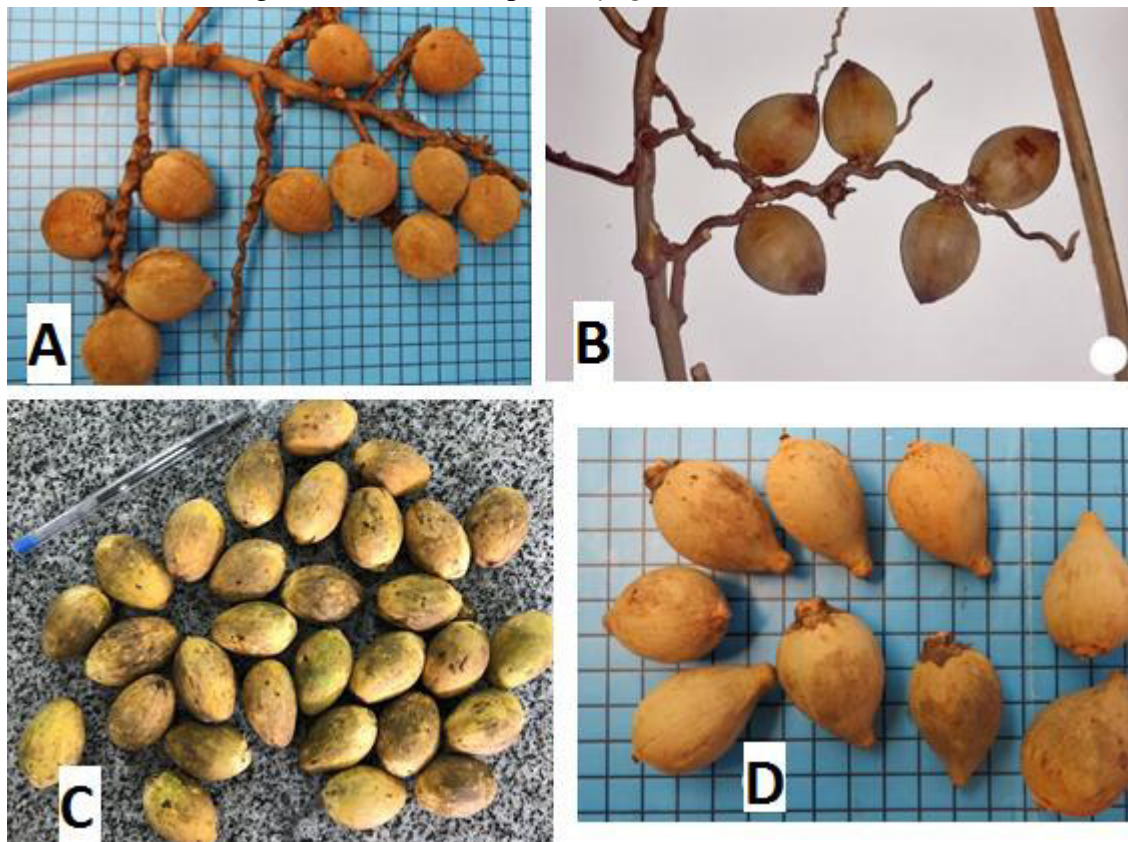
2.5 A ESPÉCIE *Syagrus cocoides* Martius

2.5.1 Características gerais

O *Syagrus cocoides*, conhecido no estado do Maranhão como ariri ou pati, também é conhecido como lous, jatá, jatá-uba, jatá-uva, piririma, pererema, iriri, pupunha-brava, cunham-galinha, uapirima e uaperema. Quanto à etimologia, o epíteto específico, *cocoides*, alude ao fato de que a noz é semelhante a um coco. Esta foi a primeira espécie a ser adicionada ao gênero *Syagrus* (PESCE, 2009; NOBLICK, 2017).

É uma palmeira de porte pouco elevado, tronco fino, copa pequena, comumente com frutos ovóides ou piriformes (Figura 9), medindo até 6 cm de comprimento, folhas plumosas com folíolos bem espaçados e estreitos. Os folhetos são mais ou menos membranáceos em textura e não possuem grandes feixes de fibras (PESCE, 2009; NOBLICK, 2013).

Figura 9: Frutos da espécie *Syagrus cocoides* Martius



A. Colhido no Estado do Piauí, formato ovóide (NOBLICK, 2017); B. Colhido no Estado do Pará, formato ovóide (HIURA e ROCHA, 2018); C. Colhido no estado do Maranhão, formato piriforme (AUTOR); D. Colhido no Estado de Goiás, formato piriforme (NOBLICK, 2017)

Fonte: Elaborada pelo autor

Noblick, em seu trabalho publicado em 2017, descreveu as características da espécie, que é uma palmeira de tamanho médio, solitária, medindo de 1,5 a 10 m de altura. O caule mede de 1,3 a 9 m de altura e tem entre 6 a 12 cm de diâmetro. O número de folhas é entre 14 a 22; a base da folha (bainha) tem medidas de 45 a 55 cm x 12 a 22 cm. A inflorescência é ereta ou pendular, ramificada em espiral. Frutificação globosa a obpiriforme (em forma de pêra, mas fixada na extremidade mais larga), com os frutos medindo de 3,5 a 5,8 cm x 1,5 a 3,5 cm, verde-amarelada quando madura, glabra com exceção da ponta, epicarpo com menos de 1 mm de espessura, mesocarpo com 1 mm de espessura, suculento e fibroso; endocarpo medindo 5,5 cm x 3,3 cm; Semente elipsóide para ovóide, medindo 2,0 a 2,9 cm x 1,4 a 2,2 cm, endosperma homogêneo. Germinação remoto-tubular. Quanto à sua fenologia, a floração ocorre no mês de dezembro; a frutificação, por sua vez, acontece entre os meses de agosto e setembro.

Em relação à conservação da espécie, NOBLICK (2017) destaca que esta espécie não está sob ameaça devido ao seu habitat e ampla distribuição. Muitas vezes é deixada nos campos depois que o resto da floresta foi limpo. Ela pode ser encontrada dentro dos limites de vários parques nacionais. Portanto, é uma espécie classificada como menos preocupante em relação ao risco de extinção.

Pesce (2009) ao se referir aos frutos do ariri, os descreveu como frutos que formam cachos pequenos e sendo de cor verde inicialmente, passando a ser castanho-amarelado quando maduro, helicoidais como uma grande azeitona, e que é composto de um caroço lenhoso, pardo-claro recoberto por um epicarpo de cor verde, contendo no seu interior uma amêndoa oleosa.

Ainda segundo Pesce, no fracionamento do coco, a composição do caroço é de 50% de casca lenhosa e 50% de amêndoa lenhosa. A amêndoa contém 32% de óleo amarelo-claro, de aroma agradável, parecido no gosto e qualidade com os óleos de tucumã e palmiste africano. Os parâmetros químicos do óleo estão descritas na Tabela 10. Tais informações descritas por Pesce (2009) foram inéditas em relação ao estudo do óleo do *Syagrus cocoides* Martius.

Tabela 10: Parâmetros químicos do óleo do coco ariri

PROPRIEDADE	VALOR
Índice de saponificação (mgKOH/g)	252,2
Índice de iodo (gI ₂ /100g)	12,5
Índice de refração Zeiss a 40°C	37,4
Índice de Koettstorfer	240,8
Índice de Huebl	21,7
Ponto de fusão – inicial (°C)	23
Ponto de fusão – completo (°C)	29
Ponto de solidificação (°C)	26,8
Ácidos graxos livres em ácido oleico (%)	3,2
Glicerina no óleo (%)	13,3

Fonte: PESCE, 2009

Como foi possível perceber durante a busca por informações da espécie na literatura, trata-se de uma palmeira escassa em relação a publicações, apresentando um vasto espaço para seu estudo.

2.5.2 Distribuição geográfica

Esta espécie está amplamente distribuída no Brasil, ao longo do leste do Amazonas, Pará, Maranhão, Piauí, Tocantins, Goiás e Mato Grosso.

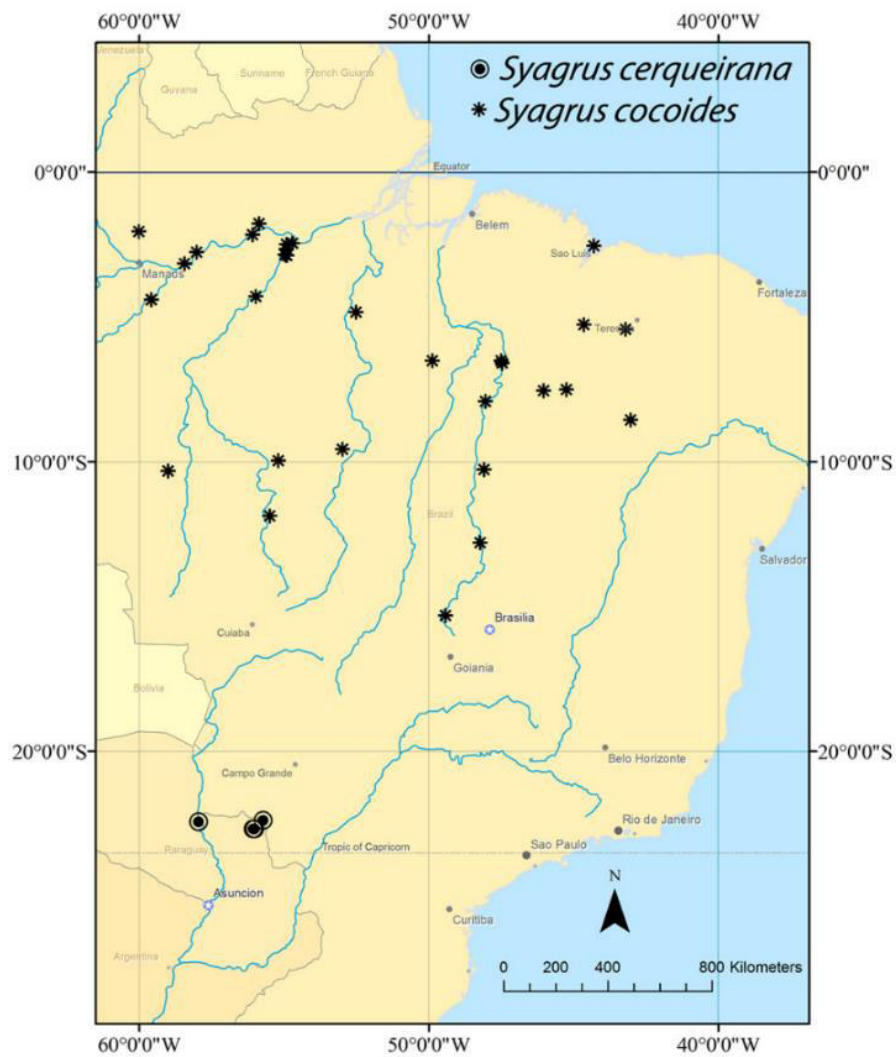
Ela cresce na floresta Amazônica ou pré-Amazônica (várzea de terra firme) e cerrado, geralmente em terreno rochoso a 500 m de altitude (NOBLICK, 2017).

Hiura e Rocha (2018) encontraram a espécie nas áreas de canga da Serra dos Carajás, no Pará.

Durante a realização desse estudo, foi observada uma ampla distribuição desta espécie no Estado do Maranhão, especialmente nas regiões Norte Maranhense, Centro Maranhense e Região da Baixada Maranhense.

A Figura 10 mostra o mapa da distribuição da espécie *Syagrus cocoides*.

Figura 10: Mapa da distribuição do *Syagrus cocoides* e *S. cerqueirana*



Fonte: NOBLICK, 2017

Pinheiro *et al.* (1996) realizaram pesquisa estudando a possível causa da ocorrência de uma população de palmeiras *Syagrus cocoides*, situadas no município de Barra do Corda/MA, com caules ramificados. Nesse trabalho, realizado há mais de 20 anos, publicaram um mapa contendo a faixa de distribuição da espécie na América do Sul, onde pode-se observar a predominância no Brasil, com destaque para os estados do Maranhão, Pará, Amazonas, Tocantins e Mato Grosso (Figura 11).

Figura 11: Faixa de distribuição do *Syagrus cocoides* na América do Sul



Fonte: PINHEIRO *et al.*, 2017

Ainda em relação ao trabalho de Pinheiro *et al.* (1996), os autores afirmaram não terem encontrado ariris com caules ramificados na cidade de São Luís/MA. Durante o desenvolvimento desta dissertação de mestrado, foi encontrada uma palmeira com caule ramificado em uma comunidade localizada na cidade de São Luís/MA (Apêndice A).

Pesce (2009) descreveu a sua distribuição citando que a mesma é encontrada em terrenos secos, espalhada em toda a Amazônia, sendo pouco encontrada na região das Ilhas.

2.5.3 Utilidades das matérias-primas fornecidas pela espécie *Syagrus cocoides* Martius

A literatura científica em relação às utilidades dos produtos e coprodutos da palmeira ariri é escassa.

Pesce (2009), ao se referir ao aproveitamento do coco ariri, descreveu-o como uma espécie de pouco interesse industrial, principalmente pela pouca abundância de seus produtos. Contudo, destacou positivamente que o óleo tem valor apreciável e que o seu refino não apresenta dificuldade pelo pouco cheiro que contém a semente.

Araújo *et al.* (2011) realizaram entrevistas, empregando questionários semi-estruturados em 232 famílias habitantes do Mosaico de Unidades de Conservação Lago do Tucuruí, no estado do Pará, a fim de obter informações de conhecimento popular sobre as formas de utilização de algumas espécies. Nesse estudo, viram que o *Syagrus cocoides* Martius era aproveitado na região de 3 formas: como alimento, uso medicinal e utilizado na construção civil. A Tabela 11 mostra os resultados obtidos na pesquisa, adaptada para dar destaque ao *Syagrus cocoides* Mart.

Tabela 11: Espécies citadas pelos informantes, seus nomes, locais, categorias de uso citadas, números de uso e de citações por espécie

Espécies	Nome vernacular	Categoria	Usos	Citações
<i>Attalea speciosa</i> Mart. ex Spreng.	Babaçu	a/cb/cm/c/m/u	62	1130
<i>Oenocarpus bacaba</i> Mart.	Bacaba	a/cm/c/m/u	28	349
<i>Euterpe oleracea</i> Mart.	Açaí	a/cm/c/m/u	21	321
<i>Attalea maripa</i> (Aubl.) Mart.	Inajá	a/c/m/u	28	259
<i>Socratea exorrhiza</i> (Mart.) H. Wendl.	Paxiúba	c/m/r/u	18	109
<i>Bactris maraja</i> Mart.	Marajá	a/u	2	26
<i>Astrocaryum vulgare</i> Mart.	Tucum	a/m/u	7	19
<i>Astrocaryum gynacanthum</i> Mart.	Mumbaca	a/c/u	4	13
<i>Cocos nucifera</i> L.	Coco	a/m/u	6	13
<i>Bactris gasipaes</i> Kunth	Pupunha	a	1	12
<i>Mauritia flexuosa</i> L. f.	Burití	a/m/u	5	12
<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart.	Macaúba	a/m	4	11
<i>Geonoma baculifera</i> (Poit.) Kunth	Ubim fêmea	u	1	10
<i>Syagrus cocoides</i> Mart.	Patí	a/c/m	5	8
<i>Attalea dahlgreniana</i> (Bondar) Wess. Boer	Piriná	a/c	2	6
<i>Astrocaryum aculeatum</i> G. Mey.	Tucumã	u	1	3
<i>Astrocaryum jauari</i> Mart.	Jauarí	a/u	2	3
<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	Dendê	u/m	2	2
<i>Oenocarpus bataua</i> Mart.	Patauá	u	2	2

a: alimento; cb: combustível; cm: comércio; c: construção; m: medicinal; r: rituais; u: utensílios

Fonte: Adaptado de Araújo *et al.*, 2011.

Noblick (2017) destacou os atributos ornamentais da planta, pela sua esbelta copa, citou o uso do caule da palmeira na construção civil em comunidades e apresentou a amêndoa como sendo rica em óleos comestíveis.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foram feitas buscas por lugares onde houvesse a ocorrência da espécie *Syagrus cocoides* a fim de se obter imagens e informações

sobre a mesma (APÊNDICES A, B e C). Em alguns lugares, foi possível conversar com moradores locais que possuíam o conhecimento popular do ariri e foram feitas perguntas sobre as formas de utilização da espécie (APÊNDICE D).

Na cidade de São Luís, em um condomínio residencial, palmeiras de ariri foram utilizadas na ornamentação de um jardim de acesso à entrada de uma das torres do condomínio (Figura 12). A idade aproximada das palmeiras é de 7 anos.

Figura 12: Palmeira *Syagrus cocoides* utilizada para ornamentação de jardim em condomínio residencial na cidade de São Luís/MA



A. Palmeiras plantadas na entrada de uma das torres de apartamentos; B. Palmeiras plantadas no jardim do condomínio.

Fonte: Autor

Ainda na cidade de São Luís, durante as festas juninas, observaram-se estipes da palmeira ariri sendo utilizados como colunas de sustentação para enfeites da festa (Figura 13). Os trabalhadores que estavam organizando o evento informaram que a espécie é muito procurada para esse tipo de uso, devido ao fato de o estipe ser fino, portanto fácil de ser derrubado com poucos golpes de facão; além disso, é um caule leve e fácil de transportar. Foi comentado que há organizadores de festas juninas que levam caminhões cheios de caules de palmeira ariri, o que gera uma preocupação ambiental neste sentido.

Na zona rural da cidade de São Luís, em uma propriedade localizada no povoamento Cajueiro, bairro Vila Maranhão, foi registrada a utilização do ariri como cerca viva, com o objetivo de demarcar os limites de um terreno (Figura 14). Neste caso, houve também uma preferência por parte do proprietário em relação aos atributos ornamentais

das palmeiras a serem expostas em todo o perímetro do seu terreno, haja vista o seu projeto futuro de tornar o local em uma área de recreio e descanso para fins de semana em família.

Figura 13: Estipes da palmeira *Syagrus cocoides* utilizadas como colunas de sustentação de enfeites de festas juninas



A. Estipes após as decorações; B. Estipes antes das decorações.

Fonte: Autor

Figura 14: Palmeiras *Syagrus cocoides* utilizadas como cerca viva para demarcação de limites de propriedade localizada no Bairro Vila Maranhão da cidade de São Luís/MA



Fonte: Autor

Em uma outra propriedade, esta pertencente a um morador local de uma comunidade do povoamento Cajueiro, viu-se a utilização do caule do ariri na construção civil local, corroborando com Araújo *et al.* (2011) (Figura 15). Moradores da comunidade afirmaram que os caules são também utilizados como postes de fiação elétrica no local.

Figura 15: Estipes da palmeira *Syagrus cocoides* utilizadas de maneira rústica na construção civil, por moradores da comunidade Cajueiro, no Bairro Vila Maranhão da cidade de São Luís/MA



A. Visão lateral da casa de um morador da comunidade; B. Destaque para área de serviço construída com estipes da palmeira ariri.

Fonte: Autor

No povoado Criolizinho, na cidade de Itaipava do Grajaú, moradores locais informaram que os frutos do ariri servem como alimento para animais silvestres, sendo bastante procurados por roedores, em especial a cutia. A Figura 16 mostra restos de coco ariri após ser utilizado como alimento por um animal selvagem, segundo moradores locais.

Figura 16: Restos de coco ariri deixados após alimentação por roedores



A. Coco ariri com parte interna da amêndoa completamente retirada; B. Partes do epicarpo e endocarpo deixadas pelos animais.

Fonte: Autor

Embora as formas de utilização anteriormente citadas terem sido registradas neste trabalho, a fim de serem apresentadas à comunidade acadêmica, este estudo direcionou

esforços à abordagem do ariri como uma fonte de biomassa para a geração de energia, como será visto no próximo capítulo do trabalho.

3.0 - OBJETIVOS

3.1 GERAL

Estudar o potencial energético do coco da palmeira ariri, com vistas a determinar a viabilidade do seu cultivo para a geração de energia.

3.2 ESPECÍFICOS

- ✓ Determinar o rendimento do óleo do coco ariri para a produção de biodiesel;
- ✓ Calcular o rendimento teórico da casca do coco ariri para sua utilização como combustível sólido;
- ✓ Estimar a produtividade teórica do óleo e da casca em três diferentes densidades de plantio para conhecer o potencial de geração de energia da espécie.

4.0 - METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE ESTUDO E COLETA DO MATERIAL

Foram colhidos cachos inteiros fisiologicamente maduros e vigorosos de coco ariri, indicados pela coloração amarelada e pelo início do desprendimento dos cocos dos cachos.

O material foi colhido em setembro de 2018, no alto de uma chapada, na Fazenda Sertânea, localizada na cidade de Itaipava do Grajaú/MA, inserida na Mesorregião Centro Maranhense e Microrregião do Alto Mearim e Grajaú (IBGE, 2016). Foram amostradas ao acaso 11 palmeiras. Foi colhido um cacho de cada planta para a realização das análises.

A Tabela 12 indica a localização geográfica do local da coleta do material.

Tabela 12: Características da área de estudo

Cidade	Localização geográfica	Altitude (m)
Itaipava do Grajaú/MA	Sul 05°21'09.2" Oeste 046°49'42.0"	215

Fonte: Autor

A Figura 17 destaca a cidade de Itaipava do Grajaú e a capital São Luís no mapa do Estado do Maranhão. A distância entre as duas cidades é de 555 quilômetros.

As coordenadas geográficas foram obtidas com a utilização de um aparelho GPS (*Global Positioning System*) da marca Garmin, modelo Etrex 10.

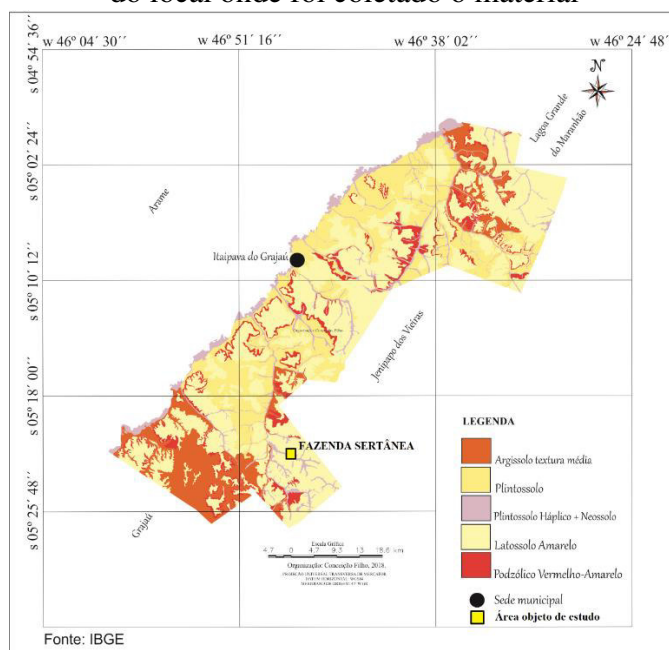
De acordo com o Mapa de Solos do Município de Itaipava do Grajaú e as coordenadas geográficas obtidas durante este estudo, o tipo de solo onde estão as palmeiras observadas neste trabalho é um Plintossolo Háplico + Neossolo (Figura 18).

Figura 17: Mapa do Estado do Maranhão com a indicação da cidade de Itaipava do Grajaú



Fonte: Google Maps, 2018

Figura 18: Mapa de Solos do Município de Itaipava do Grajaú e a Indicação Geográfica do local onde foi coletado o material

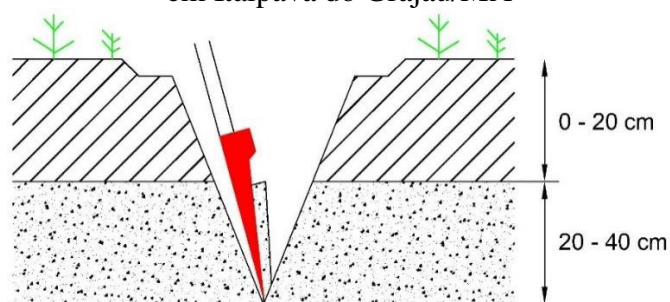


Fonte: Adaptado de Embrapa, 2006

4.2 ANÁLISES DE SOLO

Foram colhidas amostras para realização de análises laboratoriais físicas e químicas do solo do local onde estavam as palmeiras em estudo. Foi seguida a metodologia proposta pela EMBRAPA (2014) para culturas perenes, coletando o solo na camada 20 a 40 cm de profundidade (Figura 19). Uma pá de corte feita em aço da marca Tramontina foi utilizada para a realização da amostragem.

Figura 19: Representação esquemática da profundidade das amostras de solo coletadas em Itaipava do Grajaú/MA

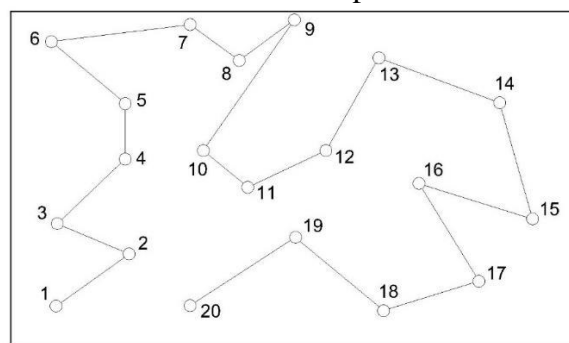


Fonte: Adaptado de EMBRAPA, 2014

Foram colhidas 20 amostras simples ao longo da área onde estavam as palmeiras, em caminhamento zigue zague (Figura 20), para que ao fim fosse criada uma amostra composta formada pela mistura das 20 amostras simples. Um balde de 8 kg de capacidade foi utilizado para o acondicionamento temporário das amostras simples. Um saco plástico de capacidade 5 kg foi utilizado para o acondicionamento final da amostra composta, que foi devidamente identificada antes de ser enviada ao laboratório.

A amostra composta foi enviada ao Laboratório de Química de Solos da Universidade Estadual do Maranhão para determinações do teor de nutrientes, tipo de textura do solo, dentre outros parâmetros físicos e químicos (ANEXOS A e B).

Figura 20: Representação esquemática do caminhamento zigue zague para coleta das amostras simples



Fonte: Autor

4.3 DADOS METEOROLÓGICOS

Em relação à climatologia da área estudada, dados relativos à pluviosidade, temperatura (mínima, máxima e média), umidade relativa, bem como à classificação climática de Köppen da cidade de Itaipava do Grajaú foram obtidos no sítio do Instituto Nacional de Meteorologia, onde foram coletadas informações com data de início em 01/01/2017 e data de fim 31/12/2017.

Foram utilizados os dados da estação convencional do município de Barra do Corda, código OMM 82571, distante 100 km da cidade de Itaipava do Grajaú, uma vez que esta é a estação climatológica do INMET mais próxima do local onde estão as palmeiras em estudo.

4.4 PARÂMETROS AVALIADOS EM CAMPO

Em cada palmeira selecionada, avaliou-se a altura da planta (ao nível do solo até o início da copa), diâmetro da copa da árvore, diâmetro do estipe a uma altura de 1,40 m do solo, número de cachos e número de frutos por cacho.

Para a realização das medidas das alturas das plantas foi utilizada uma trena laser digital da marca Instrutherm e modelo TR-600. A medição dos diâmetros das copas das árvores e diâmetros dos estipes foi feita utilizando uma fita métrica de fibra de vidro marca Vonder (20 m x 12,5 mm).

4.5 BIOMETRIA DOS FRUTOS

A biometria foi realizada após a seleção de 48 frutos de cada cacho. De acordo com o protocolo apresentado por Manfio *et al.* (2011), este número é adequado para a determinação de características biométricas com 95% de confiança. Foram medidos, com o auxílio de um paquímetro analógico marca Starret® (125 mm), o diâmetro longitudinal dos frutos, o diâmetro transversal dos frutos, o diâmetro longitudinal das amêndoas e o diâmetro transversal das amêndoas.

Após as medições, foi realizada a pesagem do material com o auxílio de uma balança semi-analítica da marca Gehaka e modelo BK2000. Nessa etapa, foram obtidos os dados relativos à massa dos frutos inteiros e suas frações (endocarpo, epicarpo e amêndoa). Determinou-se, ainda, a porcentagem média de cada fração na composição total do fruto. Para a realização do fracionamento do fruto foi utilizada uma estaca de madeira de aproximadamente 1,5 metros de comprimento e 10 kg de massa, de modo que os cocos inteiros foram dispostos em um terraço de piso industrial de alta resistência e a estaca foi utilizada para a realização da quebra dos cocos, pressionando-os sobre o piso. Após a quebra, os frutos foram abertos manualmente e foi feita a separação das devidas frações (amêndoa, endocarpo e epicarpo).

Foram feitas análises estatísticas dos resultados obtidos, determinando-se para cada parâmetro a média, ocorrência de valores mínimos e máximos, desvio padrão e coeficiente de variação.

4.6 RENDIMENTO DO ÓLEO

Os valores médios de rendimento do óleo foram obtidos por extração com Soxhlet, utilizando o solvente hexano. Esta etapa do trabalho foi desenvolvida no laboratório do NCCA, na UFMA.

Para a extração do óleo foram utilizados 100 g de biomassa da amêndoa, que foi previamente triturada em um multiprocessador da marca Philco, modelo *All in one Citrus*. A quantidade de solvente utilizada foi 700 ml. A extração se deu por um período de seis horas. Sete sinfonações completas ocorreram em cada extração. A Figura 21 apresenta o extrator Soxhlet utilizado na extração do óleo da amêndoa do coco ariri. A manta aquecedora utilizada com o extrator é fabricada pela IKA, modelo HB 10 *control*.

Após o período de extração, a amostra contendo o óleo e solvente, recolhida em um balão de fundo redondo, foi rota-evaporada a fim de separar o óleo do solvente, em rotaevaporador da marca Fisatom, modelo 52M (Figura 22).

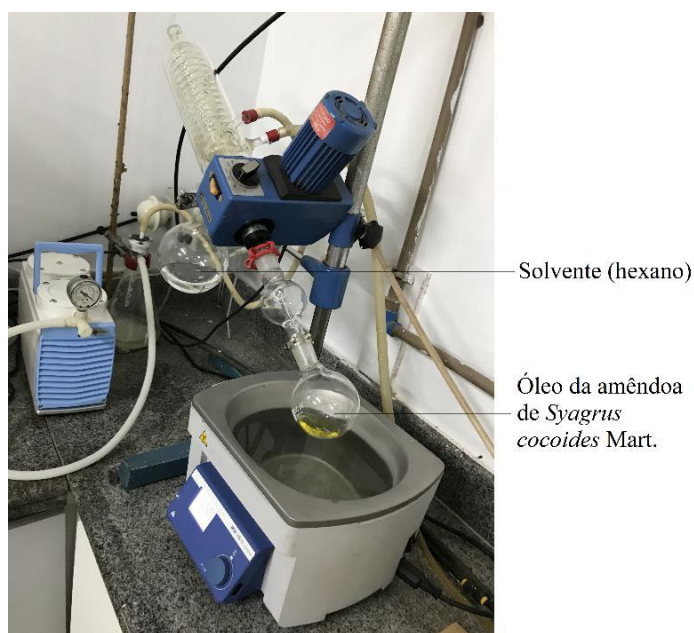
Figura 21: Extrator Soxhlet utilizado na extração do óleo do coco ariri



Fonte: Autor

Por fim, após a separação do óleo do solvente, pesou-se a massa do óleo extraído em uma balança semi-analítica da marca Gehaka e modelo BK2000.

Figura 22: Rotaevaporador utilizado para a separação do óleo e do solvente



Fonte: Autor

4.7 ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE

Para se chegar a valores de produtividade de biomassa do coco ariri, foi utilizada metodologia similar à aplicada por CICONINI *et al.* (2013). Dessa forma, foi determinada a quantidade total de frutos por palmeira (Equação 1) e a massa total de frutos por palmeira, em kg (Equação 2).

$$QTF = A \times B \quad (1)$$

Onde:

QTF = Quantidade total de frutos por palmeira

A = Quantidade de frutos presente em um cacho

B = Quantidade de cachos presente na palmeira

$$MTFP = MF \times B \quad (2)$$

Onde:

MTFP = Massa total de frutos por palmeira (kg)

MF = Massa total de frutos presente em um cacho (kg)

B = Quantidade de cachos presente na palmeira

O rendimento teórico do óleo da amêndoa foi calculado usando a Equação 3.

$$RO = (MTFP \times P \times OA \times NP) \times 0,85 \quad (3)$$

Onde:

RO = Rendimento de óleo por hectare (kg)

MTFP = Massa total de frutos por palmeira (kg)

P = Proporção de amêndoa para o fruto inteiro (g de amêndoa / 100 g de fruto)

OA = Teor de óleo da amêndoa (g de óleo / 100 g de amêndoa)

NP = Número de palmeiras por hectare

0,85 = eficiência de extração de óleo utilizando extrator Soxhlet

Foi feita a estimativa para três diferentes espaçamentos de cultivo.

4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas dos dados biométricos foram feitas utilizando o *software* BioEstat, versão 5.3. Os dados foram organizados em distribuição de frequência.

5.0 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ESPÉCIE *Syagrus cocoides* Martius

Syagrus cocoides Martius é predominantemente conhecido na região metropolitana da capital Maranhense como ariri ou coco ariri. Nas regiões da Baixada Maranhense e Centro Maranhense é conhecida como pati, onde os moradores dessas regiões denominam “patizal” um local onde há várias destas palmeiras próximas umas das outras.

A palmeira do ariri é um estipe ereto, de pequena a média estatura. Seu tronco é facilmente reconhecido entre as demais árvores em suas proximidades por ser fino, apresentando circunferência entre 20 e 36 cm.

Noblick (2017) obteve valores de altura do caule desta palmeira entre 1,3 e 9,0 metros. Pesce (2009) registrou valores entre 2,0 e 9,0 m. Pires (2018) observou alturas do caule entre 3,0 a 4,2 metros em palmeiras estudadas na cidade de São Luís/MA. Nesse estudo, a altura média observada foi de 2,03 m, ocorrendo valores entre 1,65 e 2,60 m (Tabela 13).

Tabela 13: Características biométricas e de produção de *Syagrus cocoides* Martius coletadas no município de Itaipava do Grajaú/MA

Determinações ^a	Média	DV ^b	Mínimos	Máximos	CV ^c (%)
Altura da Palmeira (m)	2,03	0,26	1,65	2,6	12,56
Circunferência do Estipe (cm)	32,18	2,82	28	36	8,77
Diâmetro da copa da palmeira (m)	2,74	0,26	2,3	3,16	9,56
Número de Cachos por palmeira	6,00	1,18	5	9	19,72
Massa dos Frutos por Cacho (Kg)	2,94	0,52	2,29	3,73	17,61
Número de Frutos por Cacho	120	21,19	94	153	17,61
Número de Frutos por Palmeira	723	186,03	470	1071	25,74
Massa de Frutos por Palmeira (Kg)	17,63	4,54	11,46	26,12	25,74
Massa dos Frutos Inteiros (g)	24,39	2,56	17,68	29,53	10,48
Massa das Amêndoas (g)	9,95	1,26	6,57	12,06	12,70
Massa do Epicarpo (g)	7,94	1,11	5,46	8,95	13,99
Massa do Endocarpo (g)	6,50	0,51	5,78	8,44	7,83
Percentual da Amêndoa (%)	40,80	5,18	26,94	49,45	12,70
Percentual do Epicarpo (%)	32,56	4,55	22,39	36,70	13,99
Percentual do Endocarpo (%)	26,64	2,09	23,70	34,60	7,83

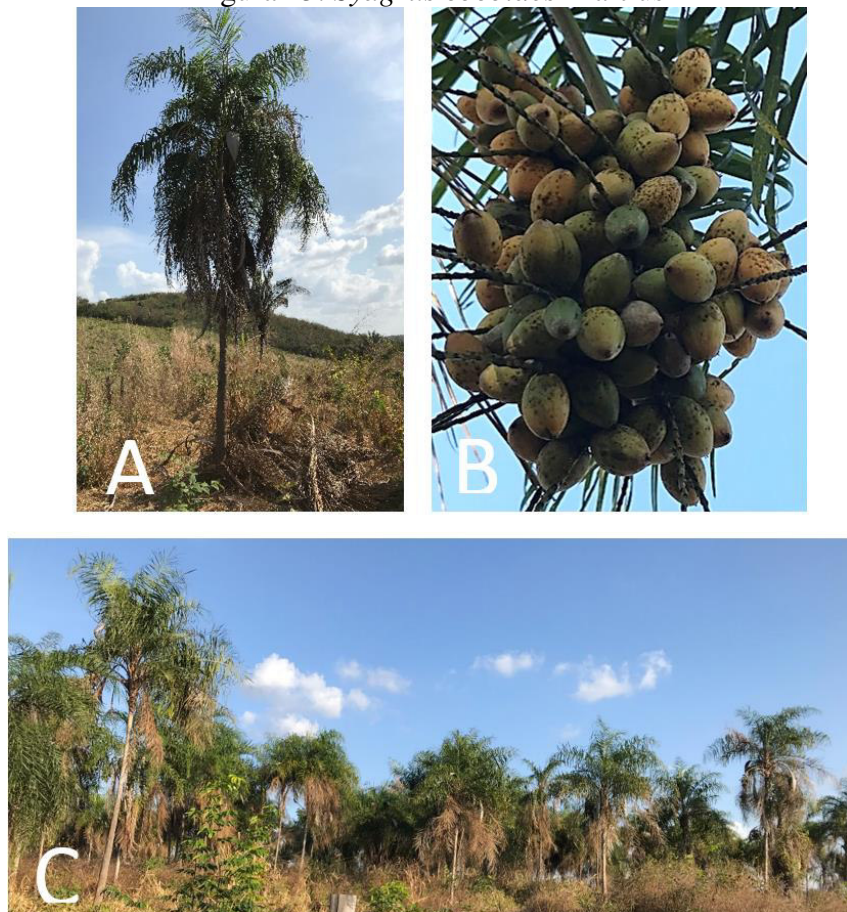
^a Obtidas a partir da média de 48 frutos. ^b Desvio Padrão. ^c Coeficiente de variação.

Fonte: Autor

Segundo Noblick (2017), a inflorescência, que ocorre no mês de dezembro, é solitária, interfoliada, ereta ou pendente, geralmente ramificada a uma ordem (raramente duas). A frutificação ocorre nos meses de agosto e setembro. As informações científicas de Noblick quanto ao período de frutificação corroboram com o conhecimento popular obtido por moradores de um povoado no interior do Estado do Maranhão (Apêndice D).

Os frutos são ovóides ou piriformes (em forma de pêra). Quando maduros, a coloração muda de verde para castanho-amarelado (PESCE, 2009). São dispostos em cachos (Figura 23). A média do número de cachos obtida por Pires (2018) foi 3 por palmeira, com valores mínimo e máximo de 2 e 5 cachos por palmeira, respectivamente. As palmeiras observadas neste estudo apresentaram média de 6 cachos por palmeira, tendo 5 e 9 como respectivos valores mínimo e máximo.

Figura 23: *Syagrus cocoides* Martius

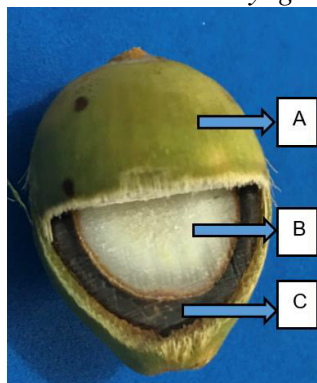


A. Palmeira localizada em Itaipava do Grajaú/MA; B. Infrutescência (cacho de frutos); C. Várias palmeiras próximas umas das outras

Fonte: Autor

Os frutos são compostos por epicarpo, endocarpo e amêndoa (Figura 24).

Figura 24: Constituintes do fruto do *Syagrus cocooides* Martius



A. Epicarpo; B. Amêndoa; C. Endocarpo.
Fonte: PIRES, 2018

O fracionamento dos frutos das palmeiras observadas neste estudo apresentou percentuais de 32,56 % de epicarpo, 26,64 % de endocarpo e 40,80% de amêndoa. Pires (2018) observou percentuais de fracionamento de 31,60 % de epicarpo, 36,80 % de endocarpo e 31,60 % de amêndoa. Pesce (2009) descreveu a composição do fruto como 50% de casca lenhosa e 50% de amêndoa lenhosa, não apresentando a divisão da casca em epicarpo e endocarpo.

Conforme é possível perceber nos detalhes da Figura 24, a amêndoa do ariri apresenta uma fina casca de coloração marrom claro em sua cobertura, cujas características não foram objeto deste estudo. A Figura 25 mostra amêndoas de ariri obtidas após o processo de fracionamento dos frutos.

Figura 25: Amêndoas do fruto do *Syagrus cocooides* Martius

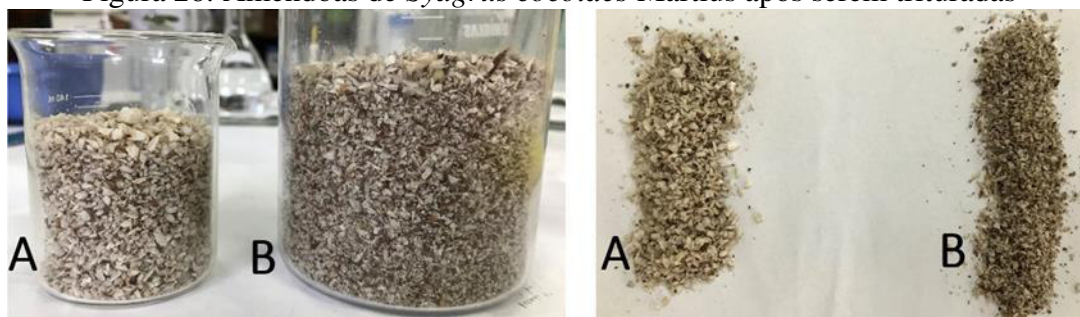


Fonte: Autor

Da amêndoa do coco ariri é possível extrair um óleo de coloração amarela. Pesce (2009) encontrou teor de 32% de óleo na amêndoa, porém não foi encontrado em seu trabalho o método de extração utilizado. Neste estudo, por meio de extrator Soxhlet, foi registrado um percentual de 15,76 % de óleo na amêndoa.

A Figura 26 mostra amêndoas de *Syagrus cocoides* Mart. após o processo de trituração por dois diferentes métodos, que apresentam diferentes granulometrias.

Figura 26: Amêndoas de *Syagrus cocoides* Martius após serem trituradas



A. Trituradas com multiprocessador Philco, *All in one* Citrus; B. Trituradas com triturador/picador forrageiro Trapp, TRF 70

Fonte: Autor

O ariri apresenta uma copa pequena (PESCE, 2009). Os valores encontrados neste trabalho para diâmetro da copa variaram entre 2,13 a 3,16 metros, apresentando média de 2,74 m. Pires (2018) observou valores entre 2,68 a 4,24 metros, sendo a média de 3,62 m. A média observada por Pires (2018) é 32% superior à média observada neste estudo. Diâmetros de copa menores apresentam a vantagem de permitir uma maior quantidade de plantas por área, o que é uma característica desejável em cultivos comerciais.

Quanto ao ciclo da cultura, não há registro na literatura de quanto tempo é necessário desde a germinação da semente até a primeira produção de cachos. Em entrevista feita com alguns moradores que tinham o conhecimento popular sobre a espécie no povoamento Criolizinho, em Itaipava do Grajaú/MA, foi afirmado que este interstício é de aproximadamente 6 a 7 anos (APÊNDICE D).

Ao buscar informações sobre o ciclo da espécie em empresas do ramo da jardinagem na cidade de São Luís/MA, as informações quanto ao ciclo da espécie corroboraram com o período do ciclo descrito no parágrafo anterior.

Uma vez que ambas as afirmações em relação ao ciclo da cultura tratam-se de informações não empíricas, são necessários estudos desenvolvidos em campo, que

abordem o ciclo da espécie de forma científica. Tais trabalhos permitirão estudar a viabilidade econômica da espécie para diversas aplicações, entre elas a geração de energia.

5.2 ANÁLISES DE SOLO

Este tópico do trabalho dedicou-se a discutir os resultados das análises químicas e físicas da amostra de solo coletada no local onde estavam as palmeiras estudadas no município de Itaipava do Grajaú.

As características químicas encontram-se dispostas na Tabela 14, contendo as quantidades de matéria orgânica (MO); valor de pH; teores de fósforo (P), potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Sódio (Na) e Alumínio (Al); Soma de Bases (SB); Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e Saturação por Bases (V).

Tabela 14: Resultado analíticos das características químicas da amostra de solo coletada no município de Itaipava do Grajaú/MA

Local de coleta	MO	pH	P	K	Ca	Mg	Na	SB	Al	CTC	V
	g/dm ³	CaCl ₂	mg/dm ³	mmol/dm ³							%
Itaipava do Grajaú/MA	1	4,6	3	2,3	15	27	4,4	48,7	2	73,7	66,1

Fonte: Autor

O pH mede a acidez ativa do solo e é um indicativo da sua fertilidade. Ao analisar o valor de pH da amostra (Tabela 14), viu-se que o solo estudado se encontra na faixa de acidez moderada (Tabela 15).

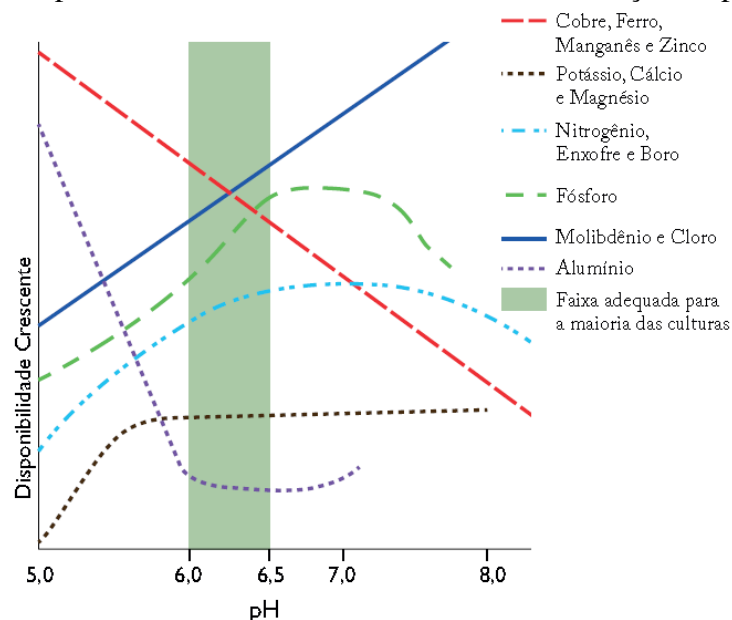
Tabela 15: Classe de interpretação da acidez ativa no solo (pH)

Determinação	Acidez		
	Elevada	Média	Fraca
pH em CaCl ₂	< 4,5	4,6 - 5,5	5,6 - 6,5

Fonte: Adaptado de Prezotti, 2013

A faixa de pH em que se encontra o solo tem relação com a disponibilidade de macro e micronutrientes (Figura 27), bem como com a atividade do alumínio, que pode ser tóxico às plantas quando em altas concentrações (Miguel *et al.*, 2010).

Figura 27: Disponibilidade de nutrientes e alumínio em função do pH do solo



Fonte: Adaptado de Potash and Phosphate Institute, 1998

Conforme pode-se constatar na Figura 27, o pH considerado ideal para o crescimento e desenvolvimento das plantas está no intervalo 6,0 e 6,5. Dessa forma, o pH do solo em estudo está em uma faixa não ideal, onde pode ocorrer elevados teores de alumínio, em detrimento de macro e micronutrientes importantes para o crescimento e desenvolvimento da planta e seus frutos.

O teor de matéria orgânica (MO) é um indicativo do potencial produtivo do solo, pois tem relação direta com a capacidade de fornecimento de nutrientes às plantas (MACHADO *et al.*, 2014). Ao analisar os resultados de matéria orgânica obtidos na amostra deste estudo, viu-se que o solo coletado em Itaipava do Grajaú apresenta valores baixíssimos, indicando serem solos pobres em relação a esse indicador (Tabela 16). Tal situação pode ser motivada devido à profundidade de coleta das amostras, que foi na camada de 20 a 40 centímetros. Segundo a EMBRAPA (2018), maiores quantidades de matéria orgânica são encontradas na camada mais superficial do solo (0 a 20 centímetros de profundidade).

Tabela 16: Classes de interpretação de teores de matéria orgânica

Elemento	Método	Unidade	Classificação		
			Baixo	Médio	Alto
Matéria orgânica (MO)	Colorimétrico	g/dm ³	< 15	15 - 30	> 30

Fonte: Adaptado de Prezotti, 2013

O fósforo (P) é um macronutriente importantíssimo para as plantas. O adequado suprimento deste elemento no início do desenvolvimento da planta é fundamental para a produção (GRANT *et al.*, 2001). Sua deficiência é responsável por limitar seriamente a produção, causando drástica diminuição do sistema radicular e, conseqüentemente, afetando a absorção de nutrientes pela planta, que por conseguinte comprometerá seu crescimento, bem como a formação e nutrição dos seus frutos (BALEMI *et al.*, 2012).

O valor de fósforo observado na análise de solo foi de 3 mg/dm³. A Tabela 17 dá a interpretação sobre o que representa a faixa de teores de fósforo no solo, concluindo que essa quantidade é inadequada, alertando para o risco de baixa produtividade em função da baixa disponibilidade desse elemento.

Tabela 17: Disponibilidade de P para as culturas em função do teor de P no solo determinado pelo extrator Mehlich-1

Teor de P no solo (mg/dm ³)	Disponibilidade de P para as culturas
< 5	A maioria das culturas cultivadas em solo com este teor de P provavelmente terão baixa produtividade devido à baixa disponibilidade desse elemento, principalmente em solos de textura arenosa (Prem > 40)
5 – 10	Situação em que somente algumas culturas perenes conseguem manter produtividades médias, como, por exemplo, espécies florestais. Em solos de textura arenosa, esta faixa de teor ainda é limitante para culturas anuais e hortaliças.
10 – 20	Satisfaz a demanda de grande parte das culturas perenes, mas ainda é limitante para a maioria das culturas anuais e hortaliças.
20 – 40	Faixa de teor é adequada para a maioria das culturas perenes e limitante para hortaliças. Apresenta média disponibilidade para culturas anuais somente em solo com característica arenosa.
40 – 80	Boa disponibilidade para culturas perenes e anuais, porém limitante para algumas hortaliças de alta produtividade como, por exemplo, tomate e batata.
> 80	Faixa de teor adequada para a maioria das culturas.

Fonte: Prezotti, 2013

A Soma de Bases (SB) representa a soma dos elementos K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ . Segundo Prezotti (2013), as classes de interpretação para a soma de bases são genéricas e sem aplicação prática, sendo estimadas para auxiliar nos cálculos da capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V).

A Tabela 18 representa as classes de interpretação para os valores de soma de bases. Analisando-se o valor de SB da amostra coletada, $48,7 \text{ mmol}_e/\text{dm}^3$, observou-se que a mesma apresenta classificação média.

Tabela 18: Classes de interpretação para a soma de bases (SB)

Elemento	Método	Unidade	Classificação		
			Baixo	Médio	Alto
Soma de bases (SB)	$K^+ + Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}$	$\text{mmol}_e/\text{dm}^3$	< 20	20 – 50	> 50

Fonte: Adaptado de Prezotti, 2013

A acidez trocável (Al) indica o teor de alumínio na forma iônica Al^{3+} , que é a forma tóxica às plantas. O Al^{3+} causa o engrossamento das raízes, reduz o seu crescimento e impede a formação de pelos radiculares, prejudicando a absorção de água e nutrientes (MIGUEL *et al.*, 2010). Em casos de altos teores de Al^{3+} , a calagem é uma prática utilizada visando à redução do alumínio tóxico, evitando a fitotoxidez (FREITAS *et al.*, 2017).

A Tabela 19 mostra as classes de interpretação para valores de alumínio trocável. O valor observado na amostra coletada para este estudo mostrou teor de $2 \text{ mmol}_e/\text{dm}^3$ de Al^{3+} , cuja classificação, segundo a referida tabela, é um baixo teor.

Tabela 19: Classes de interpretação para o teor de alumínio trocável (Al^{3+})

Elemento	Unidade	Classificação		
		Baixo	Médio	Alto
Al^{3+}	$\text{mmol}_e/\text{dm}^3$	< 3	3 – 10	> 10

Fonte: Adaptado de Prezotti, 2013

A CTC ou capacidade de troca de cátions total é uma das variáveis mais importantes para a interpretação do potencial produtivo do solo. Indica a quantidade total de cargas negativas que o solo poderia apresentar se o seu pH fosse 7 (RONQUIM, 2010). Essas cargas são aptas a adsorver (reter) os nutrientes de carga positiva para que posteriormente possam ser devidamente absorvidos pelas plantas.

A Tabela 20 mostra as classes de interpretação para a CTC total. A observação do resultado encontrado na amostra coletada para este estudo permitiu concluir que o solo onde estavam as palmeiras em Itaipava do Grajaú se encontra na faixa de classificação média, sendo o total 73,7 mmol_c/dm³.

Tabela 20: Classes de interpretação para a CTC Total (T)

Característica	Unidade	Classificação		
		Baixo	Médio	Alto
CTC (T)	mmol _c /dm ³	< 45	45 - 100	> 100

Fonte: Adaptado de Prezotti, 2013

A saturação por bases (V %) é um excelente indicativo das condições gerais de fertilidade do solo. Os solos são classificados, de acordo com a saturação por bases, em solos eutróficos (férteis), quando V % for maior ou igual a 50 %, e solos distróficos (pouco férteis), quando V % for menor que 50 % (EMBRAPA, 2018).

Um índice V % baixo significa que há pequenas quantidades de cátions, como Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺, saturando as cargas negativas dos colóides e que a maioria delas está sendo neutralizada por H⁺ e Al³⁺. O solo nesse caso provavelmente será ácido, podendo até conter alumínio em nível tóxico às plantas. Nesse caso, pode-se lançar mão da prática da calagem para a elevação da saturação por bases até o valor exigido pela cultura. A maioria das culturas apresenta boa produtividade quando no solo é obtido valor V% entre 50 e 80% e valor de pH entre 6,0 e 6,5 (RONQUIM, 2010).

Ao analisar o resultado da amostra de solo coletada para esse estudo, viu-se que a mesma apresenta boa condição de fertilidade em relação a esse critério, uma vez que o solo apresenta 66,1 %, ou seja, é eutrófico.

Na sequência, foram analisados e discutidos os resultados analíticos das características físicas da amostra de solo coletada nos locais onde estão as palmeiras estudadas, no município de Itaipava do Grajaú.

A Tabela 21 mostra o resultado de cada porção que compõe a granulometria do solo, a relação silte/argila, a textura do solo e a condutividade elétrica observada na amostra.

Tabela 21: Resultado analíticos das características físicas dos solos

Local de coleta	Composição granulométrica				Silte/argila	Textura	Condutividade a 25° C	H ₂ O na pasta de saturação
	Areia grossa (2-0,2 mm)	Areia fina (0,02-0,05 mm)	Silte	Argila				
			(0,05-0,002 mm)	(<0,002 mm)				
	%						mmhos/cm	%
Itaipava do Grajau/MA	2	47	35	16	2,19	Franco	0,14	35,6

Fonte: Autor

O estudo da composição granulométrica do solo visa conhecer a proporção das frações areia, silte e argila na composição total do solo. Com posse da porcentagem de cada fração, é possível determinar qual a textura do solo. A Figura 28 mostra as classes texturais para os solos, que são determinadas de acordo com as quantidades de areia, silte e argila.

Figura 28: Classes texturais para solos de acordo com a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo



Fonte: Potash and Phosphate Institute, 1998

O solo coletado em Itaipava do Grajaú apresenta textura Franca, sendo um solo tipicamente de textura média, cuja fração predominante na composição total do solo é a areia. Solos tipicamente arenosos têm conteúdo de matéria orgânica geralmente baixo, as partículas sólidas estão menos predispostas a formarem agregados e a densidade do solo é normalmente mais alta que em solos de textura mais fina. Essa condição dificulta, inclusive, o acúmulo de água no solo, uma vez que a condição física existente é de uma

alta densidade, em detrimento de uma boa porosidade entre os agregados que possibilitaria um armazenamento de água no solo (EMBRAPA, 2018).

De acordo com EMBRAPA (2013), a relação silte/argila é utilizada para avaliar o estágio de intemperismo dos solos, onde valores inferiores a 0,7 para solos de textura média ou inferior indicam alto grau de intemperismo. O valor da relação silte/argila observado na amostra deste estudo foi 2,19, demonstrando que o horizonte superficial do solo se encontra em um baixo grau de intemperismo.

Em relação à condutividade elétrica (CE), esta é a medida da corrente elétrica transmitida por meio da solução do solo (RONQUIM, 2010). É uma medida da estimativa da concentração de sais na solução do solo, de maneira que quanto maior for a concentração de sais na solução, maior será a CE. De uma forma geral, pode-se dizer que a CE mede o grau de salinização do solo. É sabido que a salinidade afeta o desenvolvimento da maioria das plantas (OLIVEIRA *et al.*, 2010). A Tabela 22 mostra os critérios e limites para a classificação de solos quanto à salinidade e sodicidade.

Tabela 22: Critérios e limites para a classificação de solos quanto à salinidade e sodicidade

Critérios	Tipos de Solos			
	Normal	Salino	Sódico	Salino-Sódico
CE (dS/m 25°)	<4	≥ 4	< 4	≥ 4
PST ¹	< 15	< 15	≥ 15	≥ 15
pH	4 a 8,5	≤ 8,5	8,5 a 10	≈ 8,5

¹PST = Porcentagem de Sódio Trocável (Na/T x 100)

Fonte: Richards, 1970

Uma vez que para o solo de Itaipava do Grajaú tem-se valor de CE de 0,14 dS/m; valor de PST de 6,0 %; e valor de pH de 4,6; observa-se que o solo é caracterizado como Normal em relação à salinidade e sodicidade.

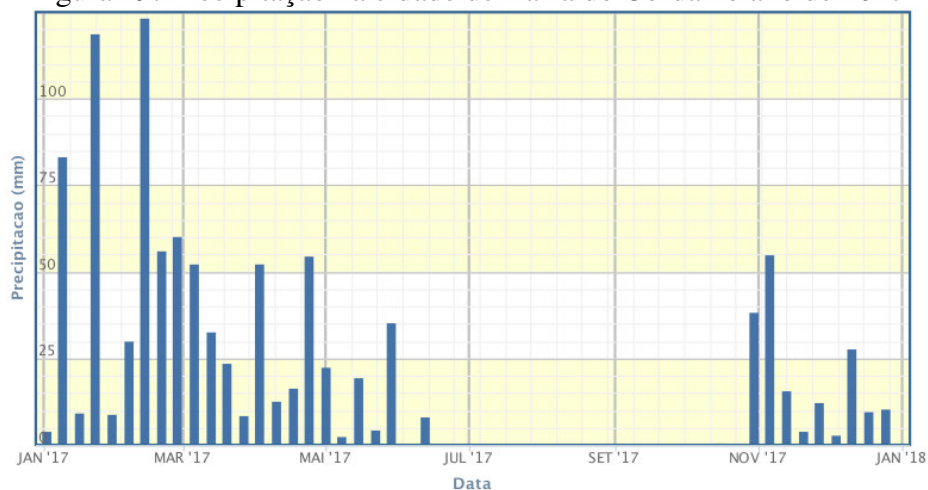
Assim, ao analisar os resultados analíticos químicos e físicos da amostra de solo coletada em Itaipava do Grajaú, viu-se que de uma forma geral o solo apresenta uma condição intermediária de fertilidade, não apresentando condições tóxicas em relação ao teor de alumínio e à concentração de sais no solo.

5.3 DADOS METEOROLÓGICOS

Tomando como base a estação climatológica do Município de Barra do Corda, distante 100 Km do local onde estavam as palmeiras estudadas, a região de Itaipava do Grajaú apresenta clima do tipo tropical subúmido seco (Aw'), segundo a classificação de Köppen. A região apresenta dois períodos bem definidos: um chuvoso, que vai de novembro a abril; e outro seco, correspondente aos meses de maio a outubro. A pluviosidade anual registrada na região em 2017 foi de 1086 mm (INMET, 2018).

A Figura 29 mostra a variação da precipitação mensal na cidade de Barra do Corda durante o ano de 2017.

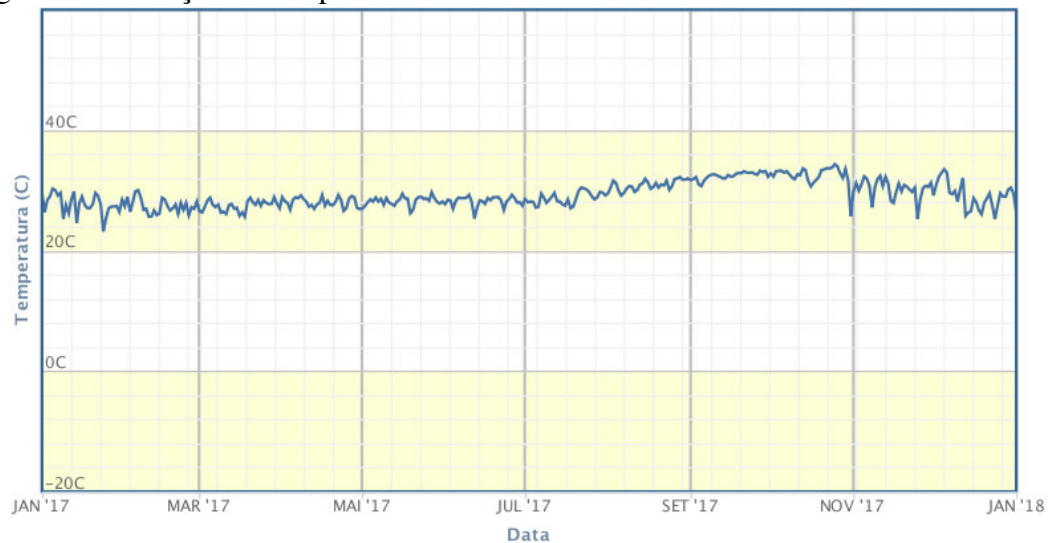
Figura 29: Precipitação na cidade de Barra do Corda no ano de 2017



Fonte: Adaptado de INMET, 2018

Em relação à temperatura, a região de Itaipava do Grajaú apresenta média anual de 28,2 °C, com números que oscilam entre 23,7 °C e 33,9 °C (Figura 30).

Figura 30: Variação da temperatura média na cidade de Barra do Corda no ano de 2017



Fonte: Adaptado de INMET, 2018

No tocante à umidade relativa, a região de Itaipava do Grajaú, que tem clima subúmido seco, apresenta uma umidade relativa média anual de 69,6 %, segundo dados do INMET (2018) (Figura 31).

Figura 31: Umidade relativa na cidade de Itaipava do Grajaú no ano de 2017



Fonte: Adaptado de INMET, 2018

5.4 BIOMETRIA

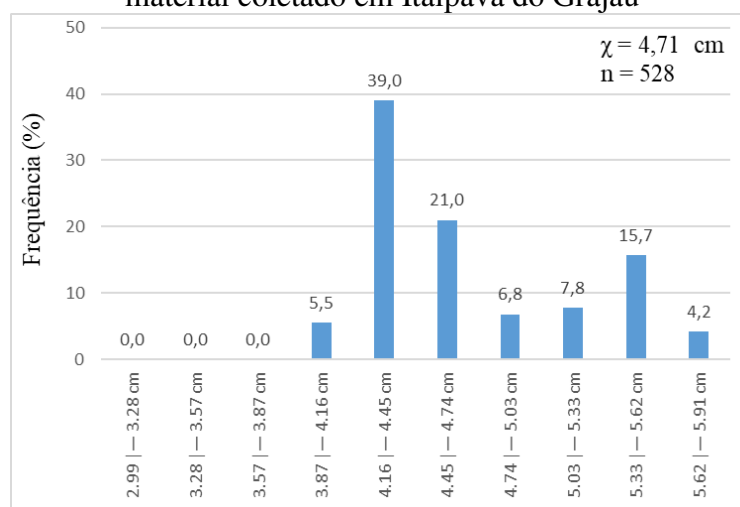
Os resultados dos valores obtidos na biometria foram organizados em distribuições de frequência e em tabelas.

As variáveis que foram organizadas em distribuições de frequência foram: Diâmetro Longitudinal dos Frutos, Diâmetro Transversal dos Frutos, Diâmetro Longitudinal das Amêndoas, Diâmetro Transversal das Amêndoas, Massa do Fruto Inteiro, Massa da Amêndoa, Massa do Epicarpo e Massa do Endocarpo. Os resultados de rendimento teórico do óleo, epicarpo e endocarpo foram apresentados em tabelas, tendo sido calculados de acordo com os valores encontrados no fracionamento do fruto.

5.4.1 Diâmetro Longitudinal dos Frutos (DLF)

A Figura 32 mostra a Distribuição de Frequência da variável Diâmetro Longitudinal dos Frutos do material coletado em Itaipava do Grajaú, cujo tamanho da amostra foi 528 frutos. Esta variável apresentou uma média de 4,71 cm, onde a classe de maior ocorrência foi o intervalo de 4,16 cm a 4,45 cm, que representou uma frequência de 39,0 %.

Figura 32: Distribuição de Frequência da variável Diâmetro Longitudinal dos Frutos do material coletado em Itaipava do Grajaú



Fonte: Autor

Noblick (2017) obteve valores de diâmetros longitudinais dos frutos entre 3,50 a 5,80 cm, resultando em uma média de 4,65 cm, valor bem próximo ao observado neste estudo. Pires (2018) registrou valores entre 3,60 a 4,50 cm, apresentando média de 3,59 cm. Assim, o material analisado neste estudo obteve média 23,8 % à observada por Pires (2018). Pesce (2009), em seu estudo, publicou valores de diâmetros longitudinais dos frutos

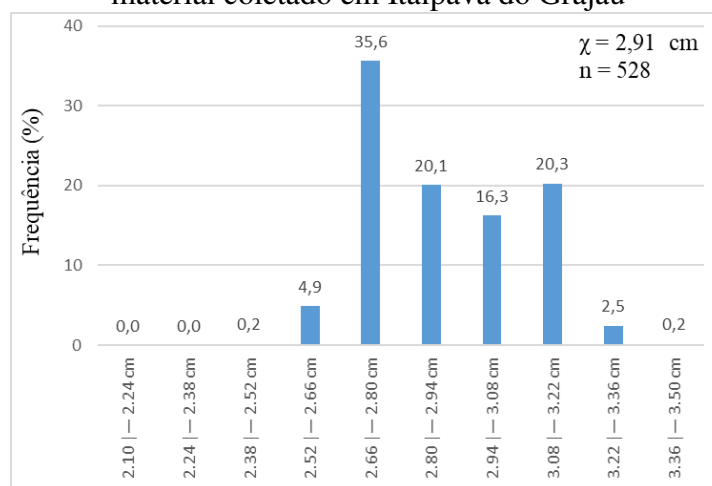
entre 2,30 e 5,00 cm, com média de 3,65 cm, valor bem próximo ao encontrado por Pires (2018).

5.4.2 Diâmetro Transversal dos Frutos (DTF)

A Distribuição de Frequência da variável Diâmetro Transversal dos Frutos do material coletado em Itaipava do Grajaú apresentou uma média de 2,91 cm, onde a classe de maior ocorrência foi o intervalo de 2,66 cm a 2,80 cm, que resultou em uma frequência de 35,6 % (Figura 33). O tamanho da amostra utilizada foi 528 frutos.

Noblick (2017) obteve valores de diâmetros transversais dos frutos entre 1,50 a 3,50 cm, resultando em uma média de 2,50 cm. Pires (2018) registrou valores entre 2,40 a 3,20 cm, apresentando média de 2,82 cm. Pesce (2009), em seu estudo, publicou valores de diâmetros transversais dos frutos entre 2,00 e 2,50 cm, resultando em uma média de 2,25 cm. De uma forma geral, neste parâmetros os resultados obtidos neste estudo estiveram mais próximos dos valores encontrados por Pires (2018), enquanto que os resultados de Noblick (2017) se aproximaram dos observados por Pesce (2009).

Figura 33: Distribuição de Frequência da variável Diâmetro Transversal dos Frutos do material coletado em Itaipava do Grajaú

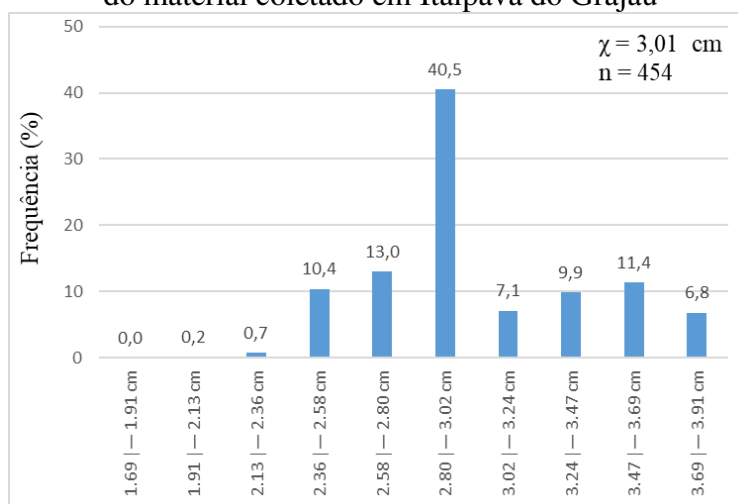


5.4.3 Diâmetro Longitudinal das Amêndoas (DLA)

A Figura 34 mostra a Distribuição de Frequência da variável Diâmetro Longitudinal das Amêndoas do material coletado em Itaipava do Grajaú. Esta variável apresentou uma

média de 3,01 cm, onde a classe de maior ocorrência foi o intervalo de 2,80 cm a 3,02 cm, cuja frequência observada foi de 40,5 %. O tamanho da amostra utilizada foi 454 amêndoas.

Figura 34: Distribuição de frequência da variável Diâmetro Longitudinal das Amêndoas do material coletado em Itaipava do Grajaú

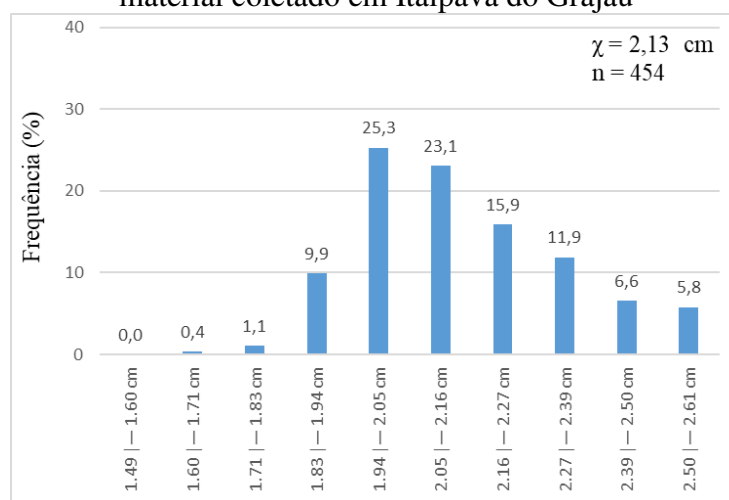


Fonte: Autor

5.4.4 Diâmetro Transversal das Amêndoas (DTA)

A Distribuição de Frequência da variável Diâmetro Transversal das Amêndoas do material coletado em Itaipava do Grajaú apresentou uma média de 2,13 cm, onde o intervalo de maior ocorrência compreendeu os limites de 1,94 cm a 2,16, cuja frequência apresentada foi de 48,4%. O tamanho da amostra utilizada foi 454 amêndoas (Figura 35).

Figura 35: Distribuição de frequência da variável Diâmetro Transversal das Amêndoas do material coletado em Itaipava do Grajaú

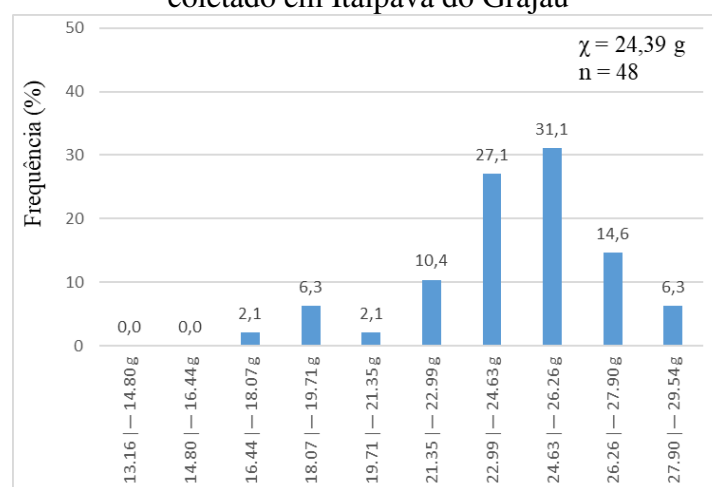


Fonte: Autor

5.4.5 Massa do Fruto Inteiro (MFI)

A Figura 36 mostra a Distribuição de Frequência da variável Massa do Fruto Inteiro do material coletado em Itaipava do Grajaú. Esta variável apresentou uma média de 24,39 g, onde o intervalo de maior ocorrência compreendeu os limites de 22,99 g a 26,26 g, cuja frequência observada foi de 58,2%. O tamanho da amostra utilizada foi 48 frutos.

Figura 36: Distribuição de frequência da variável Massa do Fruto Inteiro do material coletado em Itaipava do Grajaú



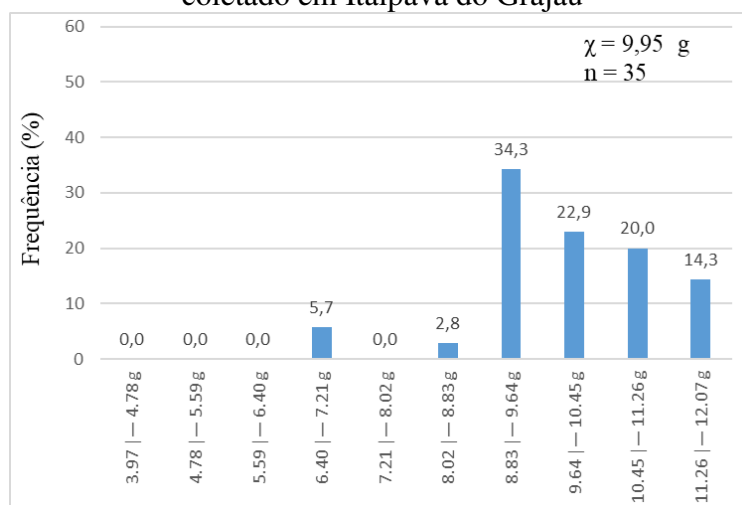
Fonte: Autor

5.4.6 Massa da Amêndoa (MA)

A Distribuição de Frequência da variável Massa da Amêndoa do material coletado em Itaipava do Grajaú apresentou média de 9,95 g, onde o intervalo de maior ocorrência compreendeu os limites de 8,83 g a 9,64 g, cuja frequência apresentada foi de 34,3%. O tamanho da amostra utilizada foi 35 amêndoas.

A Figura 37 apresenta os dados detalhados no parágrafo anterior.

Figura 37: Distribuição de frequência da variável Massa da Amêndoa do material coletado em Itaipava do Grajaú

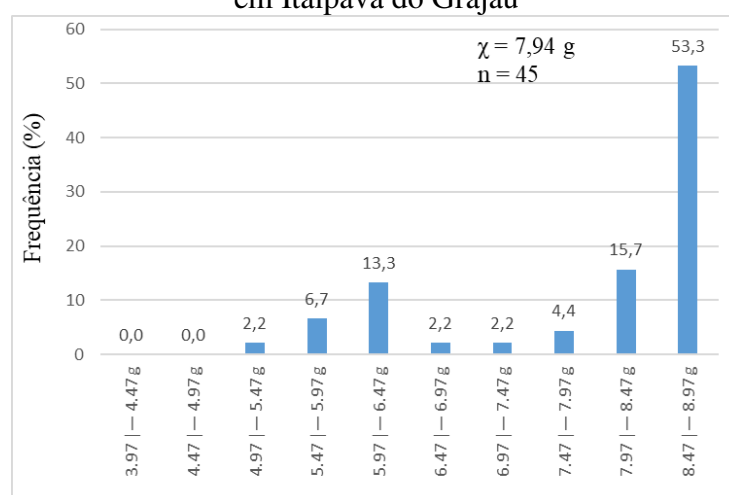


Fonte: Autor

5.4.7 Massa do Epicarpo (MEP)

A Figura 38 mostra a Distribuição de Frequência da variável Massa do Epicarpo do material coletado em Itaipava do Grajaú. A média observada nesta variável foi de 7,94 g, onde o intervalo de maior ocorrência compreendeu os limites de 8,47 g a 8,97 g, cuja frequência observada foi de 53,3%. O tamanho da amostra utilizada foi 45 frutos.

Figura 38: Distribuição de frequência da variável Massa do Epicarpo do material coletado em Itaipava do Grajaú

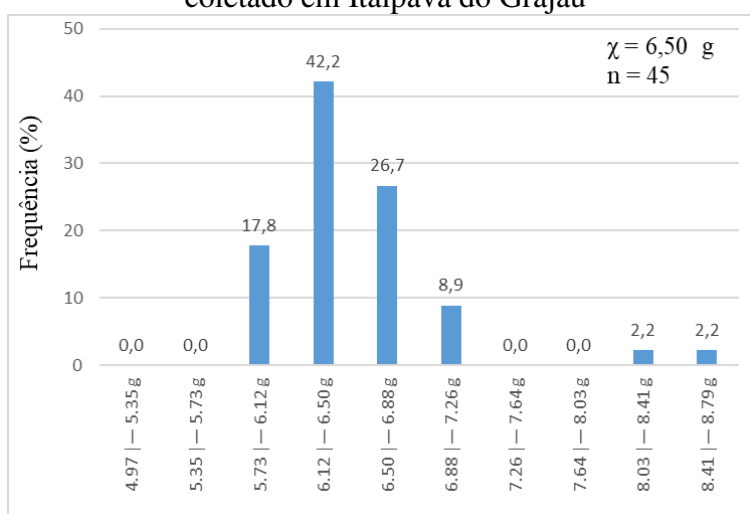


Fonte: Autor

5.4.8 Massa do Endocarpo (MEN)

A Distribuição de Frequência da variável Massa do Endocarpo do material coletado em Itaipava do Grajaú apresentou uma média de 6,50 g. O intervalo de maior ocorrência nesta variável compreendeu os limites de 6,12 g a 6,50 g, cuja frequência apresentada foi de 42,2%. O tamanho da amostra utilizada foi 45 frutos (Figura 39).

Figura 39: Distribuição de frequência da variável Massa do Endocarpo do material coletado em Itaipava do Grajaú



Fonte: Autor

5.4.9 Rendimento do óleo

O rendimento de óleo obtido está disposto na Tabela 23. A porcentagem de óleo na amêndoa foi de 15,76 %. Pesce (2009) registrou percentual de óleo na amêndoa de 32 %, quase o dobro do percentual observado neste estudo.

Uma vez que a amêndoa representa 40,80 % do fruto, conforme resultado obtido no fracionamento, fazendo-se as devidas proporções a porcentagem de óleo no fruto foi de 6,44 %. Quantificando os valores em massa, foi obtida a estimativa de 189,34 g de óleo por cacho, que foi feita considerando a quantidade média de frutos por cacho de 120 unidades, conforme valor obtido na biometria. Quanto à estimativa da quantidade de óleo por palmeira, o rendimento foi de 1,14 kg de óleo.

Tabela 23: Rendimento do óleo da amêndoa de *Syagrus cocoides* Martius

RENDIMENTO DO ÓLEO	
PARÂMETRO AVALIADO	PROCEDÊNCIA
	ITAIPAVA DO GRAJAÚ/MA
PORCENTAGEM DE ÓLEO NA AMÊNDOA (%) ^a	15,76
PORCENTAGEM DE ÓLEO NO FRUTO (%)	6,44
QUANTIDADE DE ÓLEO POR CACHO (g)	189,34
QUANTIDADE DE ÓLEO POR PALMEIRA (kg)	1,14

^a Obtido por extração com Soxhlet

Fonte: Autor

5.4.10 Rendimento do epicarpo e do endocarpo

Foi considerada casca a soma dos resultados obtidos das frações epicarpo e endocarpo.

A quantidade de casca obtida por cacho foi de 1,74 kg. Ao multiplicar esse valor pela média de cachos observada nas palmeiras da área estudada, chegou se ao total da quantidade de casca por palmeira, que foi de 10,44 kg. Essa quantidade abundante de casca poder ser utilizada de formas diversas, seja como combustível sólido para geração de energia ou calor, ou ainda ser utilizada como carvão ativado.

A Tabela 24 mostra o rendimento da casca (soma de epicarpo e endocarpo) de *Syagrus cocoides* Martius obtidos.

Tabela 24: Rendimento da casca de *Syagrus cocoides* Martius

RENDIMENTO DA CASCA^a	
PARÂMETRO AVALIADO	PROCEDÊNCIA
	ITAIPAVA DO GRAJAÚ/MA
PORCENTAGEM DE CASCA NO FRUTO (%)	59,2
QUANTIDADE DE CASCA POR CACHO (kg)	1,74
QUANTIDADE DE CASCA POR PALMEIRA (kg)	10,44

^a Foi considerado rendimento da casca a soma dos rendimentos do epicarpo e do endocarpo.

Fonte: Autor

5.5 ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE DE ÓLEO E COPRODUTOS EM DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTIO

Este item do trabalho dedicou-se a estimar a produtividade teórica do óleo da amêndoa de *Syagrus cocoides* Martius e seus coprodutos em três diferentes espaçamentos de plantio e, portanto, em três diferentes densidades de palmeiras por área.

E escolha dos espaçamentos utilizados neste trabalho considerou o diâmetro da copa médio observado nas palmeiras, que foi de 2,74 m. Os espaçamentos utilizados foram: 3 m x 3 m; 4 m x 3,5 m e 4 m x 4 m, resultando, respectivamente, nas densidades 1.111, 714 e 625 palmeiras/ha.

No espaçamento 3 m x 3 m, a espécie apresentou uma estimativa de produção de 19.587 kg de frutos, que, fracionados, resultaram em 6.379 kg de epicarpo, 5.217 kg de endocarpo e 7.991 kg de amêndoa, que por sua vez originou 1.072 kg de óleo e 6.919 kg de torta. A Figura 40 mostra o fracionamento de produtos a partir da massa total de frutos no espaçamento 3 m x 3 m.

Figura 40: Estimativa de produtividade de *Syagrus cocoides* Mart. no espaçamento de plantio 3 m x 3 m, considerando a eficiência de extração do óleo com Soxhlet de 85%



Fonte: Autor

O espaçamento 4 m x 3,5 m, por sua vez, apresentou uma estimativa de produção de 12.500 kg de frutos, que se subdividiram em 4.099 kg de epicarpo, 3.353 kg de endocarpo e 5.136 kg de amêndoa, que originou 689 kg de óleo e 4.447 kg de torta. A Figura 41 mostra a estimativa de produtividade no espaçamento 4 m x 3,5 m, esquematizando os valores observados em cada fração do fruto.

Figura 41: Estimativa de produtividade de *Syagrus cocoides* Mart. no espaçamento de plantio 4 m x 3,5 m, considerando a eficiência de extração do óleo com Soxhlet de 85%



Fonte: Autor

O terceiro espaçamento escolhido para este estudo – 4 m x 4 m – apresentou uma estimativa de produção de 11.019 kg de frutos, que representou 3.588 kg de epicarpo, 2.935 kg de endocarpo e 4.496 kg de amêndoa, que por sua vez originou 603 kg de óleo e 3.893 kg de torta. A Figura 42 esquematiza os valores teóricos observados para cada fração do fruto.

Figura 42: Estimativa de produtividade de *Syagrus cocoides* Mart. no espaçamento de plantio 4 m x 4 m, considerando a eficiência de extração de óleo com Soxhlet de 85%



Fonte: Autor

Ciconini *et al.* (2013), ao estudarem a estimativa da produtividade teórica da macaúba, observaram um total de 17.862 kg de frutos numa densidade de 1.000 plantas por hectare, o que resultou em 1.089 kg de óleo. Comparando esses valores com os de *Syagrus cocoides* Martius, se estes fossem estimados na mesma densidade, ter-se-ia um total de 17.630 kg de frutos, de onde poder-se-ia extrair 965 kg de óleo, considerando uma eficiência de extração de 85% com extrator Soxhlet.

A Tabela 25 mostra as características de algumas das principais oleaginosas cultivadas no Brasil, trazendo dados relativos ao teor de óleo, bem como seu rendimento. A estes dados foi acrescentado o rendimento teórico observado no coco ariri, onde observa-se um caráter promissor desta espécie para o aproveitamento do óleo, haja vista a proximidade dos seus valores teóricos com valores reais de espécies já utilizadas como fornecedoras de óleo como matéria-prima para a geração de energia na forma de biodiesel.

Tabela 25: Características de culturas oleaginosas no Brasil

Espécie	Origem do óleo	Teor do óleo (%)	Rendimento (ton/óleo/ha)
Dendê/Palma	Amêndoa	22	3,0 – 6,0
Coco	Fruto	55,0 – 60,0	1,3 – 1,9
Babaçu	Amêndoa	66	0,1 – 0,3
Girassol	Grão	38,0 – 48,0	0,5 – 1,9
Colza/Canola	Grão	40,0 – 48,0	0,5 – 0,9
Mamona	Grão	45,0 – 50,0	0,5 – 0,9
Amendoim	Grão	40,0 – 43,0	0,6 – 0,8
Soja	Grão	18	0,2 – 0,4
Algodão	Grão	15	0,1 – 0,2
ARIRI^a	AMÊNDOA	15,76	0,6 – 1,0

^a Rendimento teórico estimado pelo autor

Fonte: Adaptado de Agência Nacional de Energia Elétrica, 2006

Além das características promissoras do coco ariri na utilização do óleo para a geração de energia devido à produtividade teórica observada, outros subprodutos desta espécie também podem ser aproveitados. Como se observa na Tabela 26, a produtividade teórica da casca do coco ariri variou entre 6,5 e 11,5 toneladas por hectare entre os espaçamentos de plantio utilizados. A queima da casca poderá ser utilizada na geração de energia ou calor, ou ainda como matéria-prima para a produção de carvão ativado. Estudos futuros que abordem a determinação do potencial calorífico deste material são necessários.

Tabela 26: Produtividade estimada da casca do coco ariri (*Syagrus cocoides* Mart.) em diferentes densidades de plantio

PRODUTIVIDADE ESTIMADA DA CASCA DO COCO ARIRI^a			
PARÂMETRO AVALIADO	PROCEDÊNCIA		
	ITAIPAVA DO GRAJAÚ/MA		
ESPAÇAMENTO DE PLANTIO (m)	3 x 3	4 x 3,5	4 x 4
QUANTIDADE DE PLANTAS POR HECTARE	1.111	714	625
PRODUTIVIDADE DA CASCA (kg/ha)	11.596	7.452	6.523

^a Considerou-se como casca a soma dos valores do epicarpo e do endocarpo

Fonte: Autor

Ciconini *et al.* (2013), ao estudarem a espécie macaúba, chegaram a valores médios de 8.254 kg de casca produzida, na densidade de mil plantas por hectare, considerando igualmente a casca como a soma dos valores de epicarpo e endocarpo. Nesta mesma densidade, o coco ariri apresentaria uma estimativa teórica de 10.437 kg por hectare.

Além das potencialidades da utilização do óleo e da casca do coco ariri na geração de energia e calor, observa-se mais um subproduto após a extração do óleo da amêndoa, que é a torta, cuja produtividade teórica variou entre 3,8 e 6,9 toneladas por hectare entre os espaçamentos de plantio utilizados (Figuras 40, 41 e 42). A torta, pode ser uma fonte de nutrientes para utilizações diversas. Estudos futuros que abordem a composição nutricional deste material são necessários.

Importante é ratificar que este trabalho abordou os valores de produtividade de maneira teórica, ou seja, expressando valores matemáticos do quanto a espécie poderia produzir de acordo com os valores encontrados na biometria e no percentual de cada fração do fruto.

Em um experimento realizado em campo, há influência de inúmeras variáveis que interferem positiva ou negativamente na produtividade da espécie. Trabalhos futuros são necessários para testar em campo como se comporta a palmeira em questão em diferentes densidades de plantio, visto que é uma espécie de ocorrência natural que ainda não é explorada em cultivos racionais sob condições agronômicas controladas.

6.0 - CONCLUSÕES

O ariri apresentou rendimento teórico de óleo entre 0,6 e 1,0 tonelada por hectare. Esses resultados se aproximam de valores apresentados por espécies como amendoim e mamona, que já são devidamente exploradas para a produção do biodiesel. Comparando-o com a palma/dendê, que é uma espécie que também faz parte da família botânica Arecaceae e também fornece matéria-prima para a produção de biodiesel, o ariri apresentou um rendimento teórico equivalente a 30% daquele.

O rendimento teórico da casca (epicarpo e endocarpo) do ariri apresentou valores entre 6,5 e 11,5 toneladas por hectare. Tais resultados se aproximam da produtividade apresentada pela espécie macaúba, que fornece matéria-prima para produção de combustível sólido na forma de carvão vegetal, especialmente a partir da fração endocarpo do seu fruto.

Neste trabalho, os cálculos de estimativa apontaram viabilidade na utilização da biomassa produzida pela palmeira ariri para a geração de energia, devido aos resultados promissores de produtividade teórica de óleo para a produção de biodiesel e casca para a utilização como combustível sólido.

REFERÊNCIAS

ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis). **Produção de biodiesel (B100), segundo grandes regiões e unidades da Federação – 2007-2016.** Anuário estatístico 2017. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/publicacoes/anuario-estatistico/3819-anuario-estatistico-2017>>. Acesso em 20/09/2018.

ALVIM, J. C.; ALVIM, F. A. L. S.; SALES, V. H. G.; SALES, P. V. G.; OLIVEIRA, E. M.; COSTA, A. C. R. **Biorrefinarias: Conceitos, classificação, matérias primas e produtos.** Journal of Bioenergy and Food Science, v. 1, n. 3, p. 61-77. 2014.

ÁQUILA, R.; SILVA, J.; SILVA, J. V.; ALMEIDA, C. **The first complete chloroplast genome sequence of *Syagrus coronata*: comparative analysis in Arecoideae (Arecaceae).** Brazilian Journal of Botany 41: 393–401. 2018.

ARAÚJO, F. R.; LOPES, M. A.; RODRIGUES, D. M. **Caracterização do uso de palmeiras (Arecaceae) no Mosaico de Unidades de Conservação (MUC) Lago do Tucuruí – Pará.** VII Congresso Brasileiro de Agroecologia. Cadernos de Agroecologia – ISSN 2236-7934 – Vol 6, No. 2. Fortaleza, 2011.

ASMUSSEN, C. B.; DRANSFIELD, J.; DEICKMANN, V.; BARFOD, A. S.; PINTAUD, J.-C.; BAKER, W. J. **A new subfamily classification of the palm Family (Arecaceae): evidence from plastid DNA phylogeny.** Botanical Journal of the Linnean Society, 151. pp. 15–38. 2006.

BAKER, W. J.; NORUP, M. V.; CLARKSON, J. J.; COUVREUR, T. L. P.; DOWE, J. L.; LEWIS, C. E.; PINTAUD, J.-C.; SAVOLAINEN, V.; WILMOT, T.; CHASE, M. W. **Phylogenetic relationships among arecoid palms (Arecaceae: Arecoideae).** Annals of Botany 108: 1417–1432. 2011.

BALEMI, T.; NEGISHO, K. **Management of soil phosphorus and plant adaptation mechanisms to phosphorus stress for sustainable crop production: a review.** Journal of Soil Science and Plant Nutrition, p.547-561. 2012.

BRAND, M. A.; STÄHELIN, T. S. F.; FERREIRA, J. C.; NEVES, D. N. **Produção de biomassa para geração de energia em povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes idades.** Revista Árvore, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 353-360. 2014.

BRASIL. **Energia no mundo 2015 – 2016. Indicadores.** Ministério de Minas e Energia. 2017. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/14+-+Energia+no+Mundo+-+Matrizes+e+Indicadores+2017+-+anos+ref.+2015+-+16+%28PDF%29/60755215-705a-4e76-94ee-b27def639806;jsessionid=23A29A5505323A1DD0ED0E7D02E956E2.srv155>>. Acesso em 02 setembro 2018.

BRASIL. **Lei no 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira e dá outras providências.** 2005. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para assuntos jurídicos. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm>. Acesso em 02 setembro 2018.

BRITO, J. O.; CINTRA, T. C. **Madeira para energia no Brasil: realidade, visão estratégica e demandas de ações.** Biomassa e Energia, v. 1, n. 2, p. 157-163. 2004.

CAMPOS, I. **Biodiesel e Biomassa: duas fontes para o Brasil.** Revista de Ecologia do Século 21, Rio de Janeiro, v. 80. 2003.

CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica). **Câmara de Comercialização de Energia Elétrica promove em 2016 leilões de energia sob delegação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEL).** Disponível em: <http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico>. Acesso em 02 setembro 2018.

CICONINI, G.; FAVARO, S. P.; ROSCOE, R.; MIRANDA, C. H. B.; TAPETI, C. F.; MIYAHIRA, M. A. M.; BEARARI, L.; GALVANI, F.; BORSATO, A. V.; CONALGO, L. A.; NAKA, M. H. **Biometry and oil contents of *Acrocomia aculeata* fruits from the Cerrados and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil.** Industrial Crops and Products, 45: 208– 214. 2013.

COSTA, A. O. **A inserção do biodiesel na matriz energética nacional: Aspectos socioeconômicos, ambientais e institucionais.** 263 pág. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Rio de Janeiro. 2017.

DOBIE, P; SHARMA, N. **Trees as a global source of energy: from fuelwood and charcoal to pyrolysis-driven electricity generation and biofuels.** Nairobi, Quênia. World Agroforestry Center. 2014. Disponível em: <http://www.worldagroforestry.org/sites/default/files/Dobie%20&%20Sharma%202014%20-%20Trees%20as%20a%20Global%20Source%20of%20Energy,%20WCA%202014.pdf>. Acesso em 02 setembro 2018.

EIA (Energy Information Administration). **Today in energy.** 2015. Disponível em: <<http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=4390>>. Acesso em: 02 setembro 2018.

EISERHARDT, W. L.; PINTAUD, J.-C.; Asmussen-Lange, C.; HAHN, W. J.; BERNAL, R.; BALSLEV, H.; BORCHSENIUS, F. **Phylogeny and divergence times of Bactridinae (Arecaceae, Palmae) based on plastid and nuclear DNA sequences.** Taxon 60: 485-498. 2011.

ELETRONUCLEAR (Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – Eletrobras). **Eletronuclear, dados operacionais.** Ministério de Minas e Energia. 2016. Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br/Acesso/informa>> Acesso em: 02 setembro 2018.

EMBRAPA. (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EMBRAPA. (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Centro Nacional de Pesquisa de solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 3.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 353 p. 2013.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Amostragem e cuidados na coleta de solo para fins de fertilidade**. 2014. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Embrapa Amazônia Acidental. ISSN 1517-3135. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/117075/1/Doc-115.pdf>. Acesso em 26 setembro 2018.

EMBRAPA. (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF. 2018.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 Ano base 2016**. 2017. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf>>. Acesso em 02 setembro 2018.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Balanço Energético Nacional 2015**. Ministério de Minas e Energia. 2016. Disponível em: <<https://www.ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: 02 setembro 2018.

FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura). **State of World's Forests 2011**. Rome. 2011. 164 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/013/i2000e/i2000e.pdf>>. Acesso em: 02 setembro 2018.

FREITAS, L. D. S. **Desenvolvimento de procedimentos de extração de óleo de semente de uva e caracterização química dos compostos extraídos**. 227 pág. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

FREITAS, D. C. L.; MACEDO, C. K. B.; CONTE, E. D.; MAGRIN, F. P.; SCHENKEL, V. O.; NACHTIGALL, G. R.; CÓSER, G. M. D. A. G. **Efeito de doses de gesso agrícola e alterações químicas ocorridas no perfil do solo em sistema de plantio direto consolidado cultivado com soja**. Revista da jornada da pós-graduação e pesquisa – CONGREGA. ISSN 2526-4397 1982-2960. 2017.

FU, Q.; SONG, C.; KANSHA, Y.; LIU, Y.; ISHIZUKA, M.; TSUTSUMI, A. **Energy saving in a biodiesel production process based on self-heat recuperation technology.** Chemical Engineering Journal, 278, p. 556-562. 2015.

GLASSMAN, S. F. **Preliminary studies in the palm genus *Syagrus* Mart. and its allies.** Fieldiana: Botany 31: 147–164. 1965.

GOLDEMBERG, J. **Atualidade e Perspectivas no Uso de Biomassa para Geração de Energia.** Revista Virtual de Química, vol. 9, no 1, pp. 15-28. 2017.

GOLDEMBERG, J. **Energia e sustentabilidade.** Revista de Cultura e Extensão Universitária. USP, São Paulo, n. 14, p.33-43. 2015.

GOOGLE MAPS. Disponível em:
<<https://www.google.com/maps/place/Maranh%C3%A3o/@-5.4550976,-45.3449535,7z/data=!4m5!3m4!1s0x7edd77a9bcc1ce5:0x6276aba3d96c2934!8m2!3d-4.9609498!4d-45.2744159>>. Acesso em: 01/11/2018.

GRANT, C.A.; FLATEN, D.N.; TOMASIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. **A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta.** Informações Agronômicas, p. 1-5. 2001.

HIURA, A. L.; ROCHA, A. E. S. **Flora das cangas da Serra dos Carajás, Pará, Brasil: Arecaceae.** Rodriguésia, 69(1): 041-048. 2018.

IBÁ (Indústria Brasileira de Árvores). **Relatório anual 2016.** 2016. Disponível em:
<http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf>. Acesso em: 02 setembro 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Divisão Territorial do Brasil e Limites Territoriais.** 2016. Disponível em
<https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_dtb_int.shtm>. Acesso em 23/09/2018.

IEA (International Energy Agency). **Key World Energy Statistics 2017**. 2017. Disponível em < <https://webstore.iea.org/search?q=key+world+energy>>. Acesso em 02 setembro 2018.

IEA (International Energy Agency). **Key World Energy Statistics 2016**. 2016. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf>>. Acesso em: 02 setembro 2018.

IEA (International Energy Agency). **Key World Energy Statistics 2015**. 2015. Disponível em: <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/key-world-energy-statistics-2015.html>>. Acesso em: 02 setembro 2018.

INMET. (Instituto Nacional de Meteorologia). **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**. Brasília, DF. 2009. 465p.

LEE, S.; POSARAC, D.; ELLIS, N. **Process simulation and economic analysis of biodiesel production processes using fresh and waste vegetable oil and supercritical metanol**. Chemical Engineering Research and Design, v.89, n.12, p. 2626-2642. 2011.

LIMA, D. O.; SOGABE, V. P.; CALARGE, T. C. C. **Uma análise sobre o mercado mundial do biodiesel**. Caderno Profissional de Marketing – UNIMEP. Piracicaba, v. 2, n. 1. 2014.

LINNAEUS, C. **Species Plantarum**. Impensis Laurentii Salvii, Holmiae, 1200 pp. 1753.
MACHADO, L. V.; RANGEL, O. J. P.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, R. V.; FERRARI, J. L. **Fertilidade e compartimentos da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo**. Coffee Science, Lavras, v. 9, n. 3, p. 289-299, jul./set. 2014.

MANFIO, C. E.; MOTOIKE, S. Y.; SANTOS, C. E. M.; PIMENTEL, L. D.; QUEIROZ, V.; SATO, A. Y. **Repetibilidade em características biométricas do fruto de macaúba**. Ciência Rural. 41, 70–76. 2011.

MANTOVANI, P. R. A.; NEUMANN, P. N.; EDLER, M. A. R. **Matriz energética brasileira: em busca de uma nova alternativa.** Revista Interdisciplinar de Ensino, Pesquisa e Extensão, vol. 4, nº1. 2016.

MARTIUS, C. F. P. von. **Palmarum familia ejusque genera denuo illustrata.** M. Lindauer. Munique. 24 pp. 1824.

MEDEIROS, A. R. S. **Análise da viabilidade ambiental, econômica e operacional da produção de biodiesel a partir de microalgas.** 50 pág. Dissertação (Mestrado). Universidade Potiguar, Rio Grande do Norte, Natal. 2014.

MEEROW, A. W.; NOBLICK, L.; BORRONE, J. W.; COUVREUR, T. L. P.; MAURO-HERRERA, M.; HAHN, W. J.; KUHN, D. N.; NAKAMURA, K.; OLEAS, N. H.; SCHNELL, R. J. **Phylogenetic Analysis of Seven WRKY Genes across the Palm Subtribe Attaleinae (Arecaceae) Identifies *Syagrus* as Sister Group of the Coconut.** PLoS ONE, 4(10): e7353. 2009.

MIGUEL, P. S. B.; GOMES, F. T.; da ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E.; de CARVALHO, C. A.; de OLIVEIRA, A. V. **Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos.** CES Revista, v. 24, Juiz de Fora. 2010.

MÔRO, J.; SILVA, M. A. S.; GERALDO, J. S. **Methodology for kariological study of brazilian palms.** Acta Horticulturae 486: 225-228. 1999.

NOBLICK, L. R. **A revision of the genus *Syagrus* (Arecaceae).** Auckland, New Zealand: Magnolia Press, 2017.

NOBLICK, L. R. **Leaflet anatomy verifies relationships within *Syagrus* (Arecaceae) and aids in identification.** PhytoKeys 26: 75–99. 2013.

OLIVEIRA, I. R. S.; OLIVEIRA, F. N.; MEDEIROS, M. A.; TORRES, S. B.; TEIXEIRA, F. J. V. **Crescimento inicial do pinhão-mansô (*Jatropha curcas* L.) em função da salinidade da água de irrigação.** Revista Caatinga, Mossoró, v. 23, n. 4, p. 40-45, out.-dez. 2010.

PAULILLO, L. F.; VIAN, C. E. F.; SHIKIDA, P. F. A.; MELLO, F. T. **Álcool combustível e biodiesel no Brasil: *quo vadis?***. RER, Rio de Janeiro, vol. 45, nº 03, p. 531-565. 2007.

PAYN, T.; CARNUS, J.-M.; FREER-SMITH, P.; KIMBERLEY, M.; KOLLERT, W.; LIU, S.; ORAZIO, C. RODRIGUEZ, L.; SILVA, L. N.; WINGFIELD, M. J. **Changes in planted forests and future global implications.** Forest Ecology and Management, v. 352, p. 57-67. 2015.

PEDROSO, L. L. A.; SILVA, Fabrício F.; SILVA, Fábio F.; MELO, A. M. JUNIOR, M. E.; SHIMOYA, A.; MATIAS, I. O.; SOUZA, C. L. M. **Demandas atuais e futuras da biomassa e da energia renovável no Brasil e no mundo.** Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 4, n. 5, Edição Especial, p. 1980-1996. 2018.

PESCE, C. **Oleaginosas da Amazônia.** 2. Ed. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural, 2009.

PINHEIRO, C. U. B.; BALICK, M. J.; FRAZÃO, J. M. F. **Branching in *Syagrus cocoides* (Arecaceae) in Maranhao, northeastern Brazil.** Brittonia, 48(4), pp. 556-565. 1996.

PINHO, D. M. M.; SUAREZ, P. A. Z. **Do óleo de amendoim ao biodiesel – Histórico e política brasileira para o uso energético de óleos e gorduras.** Revista Virtual de Química. v. 9, no. 1, p. 39-51. 2017.

PIRES, T. P. R. S. **Tese de doutoramento em biotecnologia – RENORBIO – em andamento.** 2018.

POTASH AND PHOSPHATE INSTITUTE. **Manual internacional de fertilidade do solo.** Tradução e adaptação de Alfredo Scheid Lopes. 2 ed., rev. e ampl. 177p. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e do Fosfato. 1998.

PREZOTTI, L. C.; M., A. G. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória, ES: Incaper. 104p. 2013.

REN 21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century). **Renewables 2013: Global Status Report**. 2013. Disponível em <www.ren21.net>. Acesso em 02 setembro 2018.

RIBEIRO, G. B. D.; VALVERDE, S. R. **Breve elucidação sobre os leilões de energia e o potencial da biomassa florestal**. Revista Madeira, Palmas, p. 43-45. 2016.

RODRIGUES, L. G. S. M.; RODRIGUES, F. M.; OLIVEIRA, E. M.; VIERA, V. B.; ARÉVALO, A. M.; VIROLI, S. L. M. **Amendoim (*Arachis* sp.) como fonte na matriz energética brasileira**. Journal of bioenergy and food science, v. 3, n. 3, p. 178-190. 2016.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas. 2010.

SAJID, Z.; KHAN, F.; ZHANG, Y. **Process simulation and life cycle analysis of biodiesel production**. Renewable Energy, v.85, p. 945-952. 2016.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; LEITE, H. C.; COMERFORD, N. B.; NOVAIS, R. F. **Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil**. Revista Árvore, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 697-706. 2008.

SILVA, R. M. **Energia Solar: dos incentivos aos desafios**. Texto para discussão nº 166. Brasília. Senado Federal. 2015.

SOARES, T. S.; CARNEIRO, A. C. O.; GONÇALVES, E. O.; LELLES, J. G. **Uso da biomassa florestal na geração de energia**. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal, Garça, n. 8, p. 1-9. 2006.

VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. **Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial**. Química Nova, v. 32, n. 3, p. 757-767. 2009.

WALTER, A.; NOGUEIRA, L. A. H. **Sistemas de geração de eletricidade a partir da biomassa.** Depósito de documento de la FAO. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/t2363s/t2363s0c.htm>>. Acesso em 02 setembro 2018.

WEC (World Energy Council). **Energy and Urban Innovation.** United Kingdom, 2010a. Disponível em: <<http://www.worldenergy.org/>>. Acesso em: 02 setembro 2018.

WEC (World Energy Council). **Logistics Bottlenecks.** United Kingdom, 2010b. Disponível em: <<http://www.worldenergy.org/publications/default.asp>>. Acesso em: 02 setembro 2018.

ZHANG, D.; STENGER, A.; HAROUD, P. A. **Policy instruments for developing planted forests: theory and practices in China, the U.S., Brazil, and France.** Journal of Forest Economics, v. 21, n. 4, p. 223-237. 2015.

ANEXOS



ANEXO A – RESULTADO DA ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO COLETADO NA CIDADE DE ITAIPAVA DO GRAJAÚ



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
NÚCLEO TECNOLÓGICO DE ENGENHARIA RURAL
LABORATÓRIO DE QUÍMICA DE SOLOS
Cidade Universitária Paulo VI, Cx. Postal 09
CEP. 650054-970 - São Luís - MA
Tel.: (98) 3257-1412

Interessado: Isaac Rannyer Sousa de Oliveira

Procedência: Itaipava do Grajaú-MA
UFMA

ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO

[illegible]

Controle:
Perfil:

São Luis, 14 de setembro de 2018.

Responsável:

João Reis Salgado Costa Sobrinho
Chefe do Laboratório de Química de Solos
UEMA - CRQ 11200360/11-MA

ANEXO B – RESULTADO DA ANÁLISE FÍSICA DO SOLO COLETADO NA CIDADE DE ITAIPAVA DO GRAJAÚ



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
NÚCLEO TECNOLÓGICO DE ENGENHARIA RURAL
LABORATÓRIO DE FÍSICA DE SOLOS
Cidade Universitária Paulo VI, Cx. Postal 09
CEP. 650054-970 - São Luís - MA
Tel.: (98) 3257-1412

Interessado: ISAAC RANNYER SOUSA DE OLIVEIRA

Procedência: ITAIPAVA DO GRAJAÚ - MA
FAZENDA SERTANEA

ANÁLISE FÍSICA DE SOLO

ANÁLISE FÍSICA DE SOLO											
AMOSTRA Nº	Horizonte	Profundidade cm	Composição Granulométrica				ARGILA NATURAL	GRAU DE FLOCULAÇÃO	SILTE/ ARGILA	TEXTURA	
			AREIA GROSSA (2-0,2mm)	AREIA FINA (0,02-0,05)	SILTE (0,05-0,002)	ARGILA ($< 0,002$)				FRANCO	
			%								
PG-713		20 - 40	2	47	35	16			2,19		
AMOSTRA Nº	Horizonte	Profundidade cm	Densidade		Porosidade %	H ₂ O			Condutividade a 25°C mmhos/cm	H ₂ O na pasta de saturação %	OBSERVAÇÕES
			APARENTE	REAL		1/3 ATM	15 ATM	ÚTIL			
			g.cm ⁻³			%					
PG-713		20 - 40							0,14	35,6	AM - 01

Controle: PG-713/2018

Data: 18/09/2018

Responsável:

JOSUEL MONTEIRO DINIZ
CHEFE LABORATÓRIO

JOSUEL MONTEIRO DINIZ
Chefe do Laboratório de Física
de Solo - Matr. 2284

APÊNDICES

**APÊNDICE A – REGISTRO DE PALMEIRA ARIRI COM CAULE
RAMIFICADO NA CIDADE DE SÃO LUÍS/MA**



Pinheiro *et al.*, 1996, estudaram a causa da ocorrência de uma população de palmeiras *Syagrus cocoides* Martius com caules ramificados, na cidade de Barra do Corda/Maranhão. Neste trabalho, afirmaram não terem encontrado ariris com caules ramificados em São Luís/Maranhão.

Durante o desenvolvimento deste estudo, registrou-se na cidade de São Luís a ocorrência de uma palmeira ariri com caule ramificado, cujas coordenadas geográficas são Sul 02°37'11.4'' Oeste 044°19'57.5''.

APÊNDICE B –PALMEIRA ARIRI COM IDADE APROXIMADA DE 11 MESES



De acordo com moradores locais do Povoamento Cajueiro, bairro Vila Maranhão, na cidade de São Luís, a árvore destacada pela seta é uma palmeira ariri com idade aproximada de 11 meses, tendo sido de ocorrência natural a partir da queda de frutos na safra do ano anterior.

APÊNDICE C –PALMEIRA ARIRI COM IDADE APROXIMADA DE 4 ANOS



De acordo com moradores locais do Povoamento Cajueiro, bairro Vila Maranhão, na cidade de São Luís, esta palmeira ariri tem 4 anos de idade, tendo sido plantada quando moradores da casa ao fundo desta foto passaram a residir no local.

**APÊNDICE D – INFORMAÇÕES COLETADAS SOBRE O ARIRI COM 8
(OITO) MORADORES DA COMUNIDADE CRIOLIZINHO, ITAIPAVA DO
GRAJAÚ/MA**

- 1. Como é a forma de plantio (muda, semente)?**

Naturalmente, os cocos caem e germinam. Como forma de cultivo, a melhor maneira é semear os cocos em recipientes, separadamente, até que se tornem mudas de aproximadamente 80 cm de altura para que, então, sejam transplantadas ao campo.

O tempo médio desde a semeadura até a muda atingir 80 cm de altura é 1 ano.

- 2. Quanto tempo dura desde o plantio até a primeira produção de cachos?**

Leva de 6 a 7 anos para a primeira produção de cachos.

- 3. Quantas vezes frutificam por ano? Em que época?**

Apenas uma vez por ano. Começam a frutificar no mês de maio e ficam prontos para a colheita no mês de agosto.

No final de julho para início de agosto, começam a cair alguns cocos. Eles permanecem caindo até o final de setembro, se não forem colhidos.

- 4. Qual a quantidade média de cachos por planta?**

4 a 6 cachos.

- 5. Após a planta começar a frutificar, ela continua crescendo? Cresce quanto?**

Depende. Na área de pasto elas são mais altas, então continuam crescendo após a primeira frutificação.

Em cima da chapada, são bem menores e crescem pouco depois da primeira produção de cachos.

Observação do autor: Nesta fazenda, havia dois locais com a presença das palmeiras. A primeira área era um pasto com gado. A segunda, era o alto de uma chapada, de difícil acesso, sem animais nem culturas agrícolas nas proximidades.

- 6. Como é a disposição das raízes (se ramifica bastante, é profunda e reta)?**

Nas que foram arrancadas, deu pra perceber que as raízes não são muito profundas. Espalham-se bastante nos dois primeiros palmos de solo e não atinge grandes profundidades.

7. Qual a forma utilizada para a colheita dos cachos?

Como as palmeiras que estavam em cima da chapada eram muito baixas, não houve dificuldade para colheita. Alguns cachos estavam na altura da cintura, outros exigiam apenas que se erguesse o braço para colhê-los.

8. Utilidades da palmeira.

Muito utilizado na região em época de São João. Às vezes vem uma turma de caminhão, saem da chapada com o caminhão cheio de caules de ariri. Preferem essa palmeira porque o caule é muito fino, logo muito fácil de derrubar com facão. Além disso, não é pesado. Uma só pessoa consegue colocar o caule em cima do caminhão com facilidade. Com o caule, preparam as estacas necessárias para sustentar as coberturas de palhas das festas de São João.

Os cocos, quando caem, são procurados por roedores (paca, cutia), e outros animais, para alimentação.

CARACTERÍSTICAS DOS LOCAIS ONDE ESTAVAM AS PALMEIRAS

1. Quantas palmeiras há no local: *Mais de 100 em cima da chapada, próximas umas das outras. Na área de pasto, em torno de 30, bastante espaçadas uma das outras.*

2. Coordenadas geográficas da fazenda (GPS): *S 05°21'09.2" e W 045°49'42.0".*

3. Qual o espaçamento entre as palmeiras: *Variável por serem de ocorrência natural. Contudo, a característica da área acima da chapada é de um grande adensamento de palmeiras de pequeno porte e bastante produtivas.*

4. Quais espécies há no entorno das palmeiras: *No alto da chapada: Mata de pequena altura, pouco densa, permitindo facilidade de locomoção. O local é conhecido pelos populares como patizal. Em resumo, há uma grande área composta predominantemente por ariris e capim de baixa altura. Na área de pasto: Poucas palmeiras, espaçadas por grandes distâncias, entre gramíneas de pasto.*

5. De acordo com os populares, qual a idade das palmeiras? *O patizal do alto da chapada tem entre 10 e 15 anos.*