



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**“LIMITES E POTENCIALIDADES DO TUCUMÃ COMO FONTE DE
ENERGIA PARA REGIÕES ISOLADAS DA AMAZÔNIA”**

Orientado pelo Prof. Dr. Eng João Nildo de Souza Vianna
Co-orientador Prof. Dr. Rudi Henri van Els

Brasília, 21 de agosto de 2012

**“LIMITES E POTENCIALIDADES DO TUCUMÃ COMO FONTE DE
ENERGIA PARA REGIÕES ISOLADAS DA AMAZÔNIA”**

LINDA EDEL OTERO SILVA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS MECÂNICAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**“LIMITES E POTENCIALIDADES DO TUCUMÃ COMO FONTE DE
ENERGIA PARA REGIÕES ISOLADAS DA AMAZÔNIA”**

LINDA EDEL OTERO SILVA

ORIENTADOR: PROF. DR. JOÃO NILDO DE SOUZA VIANNA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS MECÂNICAS

BRASÍLIA/DF: AGOSTO - 2012

PUBLICAÇÃO: ENM.DM- /2012

BRASÍLIA/DF: AGOSTO – 2012

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**“LIMITES E POTENCIALIDADES DO TUCUMÃ COMO FONTE DE
ENERGIA PARA REGIÕES ISOLADAS DA AMAZÔNIA”**

LINDA EDEL OTERO SILVA

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
MECÂNICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA**

APROVADO POR:

**Prof. Dr. João Nildo de Souza Vianna (Departamento de Engenharia Mecânica/UnB)
(Orientador)**

**Prof. Dr. Carlos Alberto Gurgel Veras (Departamento de Engenharia Mecânica/UnB)
(Examinador interno)**

**Prof^a. Dra. Thais Maia Araujo
(Examinador externo)**

BRASÍLIA/DF, 20 DE AGOSTO DE 2012.

FICHA CATALOGRÁFICA

OTERO, LINDA EDEL SILVA.

Limites e potencialidades do tucumã como fonte de energia para regiões isoladas da Amazônia [Distrito Federal] 2012.

xviii, 79p., 210 x 297 mm (ENMC/FT/UnB, Mestre, Ciências Mecânicas, 2012).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia

Departamento de Engenharia Mecânica

1. Biomassa

2. Resíduos

3. Bioenergia

4. Gerador

I. ENM/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

OTERO, LINDA EDEL SILVA (2012). Limites e potencialidades de tucumã como fonte de energia para regiões isoladas da Amazônia. Dissertação de Mestrado em Ciências Mecânicas, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 79p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Linda Edel Otero Silva

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Limites e potencialidades do tucumã como fonte de energia para regiões isoladas da Amazônia.

GRAU: Mestre

ANO: 2012.

É concedido à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Linda Edel Otero Silva

Vila Planalto, Acampamento Pacheco Fernandez Rua 07 casa 03

Brasília, DF – Brasil

oterolinda@hotmail.com / oterolinda@yahoo.es

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos os que conseguem somar e multiplicar o conhecimento até chegar a aplicabilidade dos conteúdos às realidades sociais, aos meus filhos e alunos, os quais tento projetar nesta trajetória; aos meus familiares, amigos e colegas, ao meu comandante presidente e amigo Hugo Rafael Chavez Frias e, finalmente, a meu grande companheiro, o mais humilde, o invisível.

AGRADECIMENTOS

Aos meus prezados professor e orientador João Nildo de Souza Vianna pela paciência e por me incluir neste importante e interessante projeto que contribui com o desenvolvimento sustentável, ao meu coorientador, o Dr. Rudi Henri van Els pelas necessárias e pertinentes orientações e pela sua condução final da minha dissertação. À CAPES e CNPq, aos Ministérios de Ciência e Tecnologia e de Energia e Minas. A José Filipe de C. Lopes, técnico do laboratório de Energia e Ambiente pela amizade e colaboração a todo instante, à Isabel R. de B. Silva secretária da pós-graduação do departamento de Engenharia Mecânica, ao engenheiro Pedro Rodrigues, aos meus grandes pais e gigantes irmãos Consuelo e Jaime e Miriam, Marlene, Soraya, Jaime filho, Ximena, Ana e Mireya Otero Silva, e aos meus colegas de graduação e pós da química e mecânica da UnB; aos outros professores da mecânica e do Gama também pela amizade e cooperação, aos meus amigos pelo grande carinho e ajuda e ao Dr. Edison de Oliveira Vianna pelo amor, a compreensão e o imenso apoio na conclusão desta grande e bela etapa da minha vida.

RESUMO

LIMITES E POTENCIALIDADES DO TUCUMÃ COMO FONTE DE ENERGIA PARA REGIÕES ISOLADAS DA AMAZÔNIA

Autora: Linda Edel Otero Silva

Orientador: João Nildo de Souza Vianna

Programa de Pós-Graduação em Ciências Mecânicas

Brasília, 20 de Agosto de 2012.

O desenvolvimento de fontes de energia utilizando matérias primas regionais, pode tornar-se uma boa alternativa de inclusão energética, pois possibilita o acesso à eletricidade para as comunidades isoladas da região norte do Brasil, onde vivem cerca de 3 milhões de pessoas. Objetivo geral: avaliar os limites e potencialidades do tucumã para a produção de energia em regiões isoladas da Amazônia. Objetivos específicos: avaliar as características físico-químicas do óleo do endosperma da palma de tucumã assim como as do endocarpo do fruto, avaliar o porcentual do óleo contido no tucumã, complementando com ensaio em motores com óleo de tucumã e gaseificação do seu endocarpo. Metodologia: 1) Estudar, por meio de um inventário de plantas oleaginosas, o potencial do tucumã em duas comunidades no Assentamento Agroextrativista Lago Grande no território do baixo Amazonas no estado do Pará, 2) Fazer a avaliação experimental do tucumã para a determinação de parâmetros morfofisiológicos, 3) Extrair o óleo da amêndoa de tucumã por meio de três técnicas e caracterizar o mesmo, 4) Estudar o potencial do gás do endocarpo. A porcentagem de óleo, extraído logo da separação quebra e moenda de 5000 amêndoas de tucumã por meio da extração com hexano, técnica que demonstrou mais eficiência para este tipo de oleaginosa, assim como algumas das suas características resultarem bem próximas as encontradas na bibliografia. No funcionamento do motor com o diesel e o gás de síntese do endocarpo de tucumã, agindo simultaneamente como combustíveis, houve um acréscimo importante na eficiência do motor comparando-a com o motor agindo só com diesel. Com respeito ao uso deste gás complementando a alimentação com o óleo de tucumã no motogerador, houve uma considerável redução no consumo de combustível líquido comparando a operação com o uso de diesel na dupla alimentação, implicando também uma pequena perda de potência.

ABSTRACT

TUCUMÃ'S LIMITS AND ENERGY POTENTIALITY A SOURCE FROM ISOLATED AMAZON REGIONS

Autor: Linda Edel Otero Silva

Supervisor: João Nildo de Souza Vianna

Post-graduate Program in Mechanical Sciences

Brasília, August 2012.

The development of clean energy sources using regional raw materials may become a good alternative of energetic inclusion, allowing access to the electricity for isolated communities in the northern region Brazil, where living around three million people. This study aims at evaluating the limits and potential of tucumã for energy production in isolated regions of the Amazon. Specific objectives: to evaluate the physico-chemical properties of oil palm endosperm tucumã as well as the endocarp of the fruit assess the percentage of oil contained in tucumã and test engines with oil tucumã fresh and gasification of the endocarp. Methodology: 1) to evaluate by means of an inventory of the potential of oilseeds tucumã in two communities in the Great Lake Agroextrativista settlement in the territory of the lower Amazon state of Para, 2) Evaluate tucumã experimental parameters for the determination of morphophysiological 3) Make oil extraction and characterization of the same in nature, 4) Study the potential of the gas core. The percentage of oil extracted of 5000 almonds of tucumã by extraction with hexane, technique that proved more efficient for this type of fruit well as some of the data on the characteristics of the oil and peel tucumã, were rather close to those found in the literature. The biomasses were used in a motor-generator coupled to a reactor stratified downdraft type. In operation of diesel engine and the syngas of endocarps tucumã acting simultaneously as fuel, there was a significant increase in the efficiency of the engine compared with a diesel engine acting alone. With respect to this by supplementing the feed gas oil tucumã Construction: in the performance was as expected for the use of vegetable oil in diesel engines, that is, a considerable give reduction of liquid fuel comparing the process with the use of diesel in the pair feeding, implying also a small power loss.

SUMÁRIO

FOLHA TÍTULO.....	i
FOLHA DE APROVAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA.....	ii
FOLHA CATALOGRÁFICA.....	iii
DEDICATÓRIA.....	iv
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÕES BIBLIOGRÁFICAS E LEVANTAMENTO DO ESTADO DE ARTE 7	
2.1 CONCEITOS BÁSICOS. BIOENERGIA, BIOMASSA E BIOCOMBUSTÍVEL... 7	
2.2 PRINCIPAIS PROCESSOS DE CONVERSÃO DE BIOMASSA	10
2.3 USOS DO ÓLEO VEGETAL EM MOTORES DE COMBUSTÃO	12
2.4 ENSAIOS COM DUPLA ALIMENTAÇÃO EM MOTORES DIESEL NO LABORATORIO DE ENERGIA E AMBIENTE DA UNB	14
2.4.1 Investigação experimental e integração de um sistema de geração de energia elétrica por gaseificação de biomassa para comunidades isoladas.....	16
2.4.2 Ensaio de longa duração em motor de ciclo diesel operando com óleo vegetal	17
2.4.3 Projeto de avaliação de uma Central de Geração Elétrica de 5 kW por gaseificação de biomassa.....	18
2.4.4 Geração elétrica distribuída a partir da gaseificação de peletes de cama de aviário.....	18
2.4.5 Geração de eletricidade a pequena escala num motor de ignição por compressão mediante a alimentação de óleo <i>in natura</i> e gás sintético	19
2.4.6 Ensaio de queima de óleo do mesocarpo de babaçu e macaúba e gás do endocarpo das palmas no motor diesel.....	20
3. PESQUISA DE CAMPO	24
3.1 OCORRÊNCIA DE OLEAGINOSAS	24
3.2 A IMPORTÂNCIA DO TUCUMÃ NAS VILAS GORETE E ATODI.....	30
4. CARACTERIZAÇÃO DO TUCUMA-AÇU	32
4.1 DADOS MOFROFISIOLOGICOS E FISICO-QUIMICOS DOS COMPONENTES DA PALMA DO TUCUMÃ	33
5 TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE TUCUMÃ	39
5.1 DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	39
5.1.1 Prensa Hidráulica	39
5.1.2 Soxhlet.....	39
5.1.3 Rotoevaporador	41
5.2 MÉTODO PARA A EXTRAÇÃO DE ÓLEOS	41
5.3 MÉTODOS E MEIOS ANALÍTICOS PARA CARACTERIZAÇÃO DE BIOMASSA	42
5.3.1 Método Brasileiro para a análise químico imediato da biomassa (MB-15). 43	

5.3.2 Método para o cálculo do índice de acidez (AOCS - Cd 3d - 63).....	45
5.3.3 Norma para o cálculo da massa específica (Norma ASTM D369-84).....	46
5.3.4 Norma para o cálculo do Índice de cetano (Norma ASTM D 976)	47
5.3.5 Metodologia para o cálculo da viscosidade (LOVE 1977)	47
5.3.6 Norma brasileira para o cálculo do Poder Calorífico (NBR 863)	48
6. RESULTADOS EXPERIMENTAIS E ANÁLISE.....	49
6.1 DADOS MORFOFISIOLÓGICOS DA SEMENTE DE TUCUMÃ	49
6.1.1 Lote I (70 kg de tucumã)	49
6.1.2 Lote II (60 kg)	53
6.2 RESULTADOS DA EXTRAÇÃO DE ÓLEO.....	53
6.2.1 Resultados Lote 1 (extração).....	53
6.2.2 Resultados Lote II (extração)	54
6.3 RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DO TUCUMÃ.....	54
6.3.1 Cálculo da umidade da biomassa sólida.....	55
6.3.2 Cálculo da densidade da biomassa solida.....	55
6.3.3 Cálculo da viscosidade cinemática do óleo de tucumã	56
6.3.4 Cálculo do índice de acidez do óleo	56
6.3.5 Cálculo da massa específica do óleo	57
6.4 DESEMPENHO DO MOTOR COM BIOCOMBUSTÍVEIS	59
6.4.1 Teste do motor operando com diesel.....	59
6.4.2 Resultados e análise do desempenho no motor com diesel e gás do endocarpo de tucumã.....	60
6.4.3 Ensaios com óleo de tucumã e o gás do endocarpo	61
6.4.4 Análises conjuntas dos dois tipos de combustíveis agindo em simultaneidade com o gás do endocarpo de tucumã.....	63
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	66
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	68
ANEXOS.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Consumo de diesel e da cama de aviário peletizada no processo de gaseificação. Fonte: Nitzke, 2009.....	19
Tabela 2.2 - Quantidade de biomassa em peso dos diferentes componentes dos frutos. Fonte: Caires et al, 2009	19
Tabela 3.1 - Simulação da frequência de indivíduos/ha. Gorete. Fonte: Oliveira, 2008.....	27
Tabela 3.6 - Simulação da frequência de indivíduos/ha. Atodi. Fonte: Oliveira, 2008	28
Tabela 3.3 - Recomendações de uso para a mini-usina. Fonte: Oliveira, 2008.....	29
Tabela 4.1 – Análise dos teores em peso de alguns componentes do fruto de tucumã. Fonte: Vidal et al, 2006.	34
Tabela 4.2 Dados morfológicos do fruto de Tucumã. Fonte: Ferreira, et al.2008	35
Tabela 4.3 – Teores de lipídios, Umidade e Cinzas das amêndoas de tucumã. Fonte Oliveira, et al. 2011	36
Tabela 4.4 - Propriedades e índices físico-químicos dos quatro lotes de óleos de amêndoas de tucumã. Fonte: Banny, 2008	36
Tabela 4.5 - Ácidos graxos presentes nas amêndoas. Fonte: Bittencourt, 2009.....	37
Tabela 4.6 – Composição de ácidos graxos do óleo da polpa de Tucumã. Fonte: Ruinardlaan, 2009.....	37
Tabela 6.1- Relação dos pesos tucumã sua amêndoa e casca.....	50
Tabela 6.2- Pesos médios e percentuais do fruto, casca e amêndoa.....	50
Tabela 6.3 - Pesos de distintos tucumã e média	50
Tabela 6.4 - Pesos de distintos lotes de 20 tucumãs	51
Tabela 6.5 - Relação dos pesos (gramas) dos cocos completos, o entorno e amêndoas	52
Tabela 6.6 - Características físicas do óleo da amêndoa de tucumã comparado com algumas especificações para o diesel no Brasil segundo a Port. 310/01 da ANP	58
Tabela 6.7- Potência e Consumo Especifico de Combustível com o consumo de diesel....	59
Tabela 6.8 - Consumo Especifico de Combustível e Potência do motor operando com Diesel e o gás gerado no reator.....	60
Tabela 6.9 - Potência, Consumo e Consumo especifico de combustível operando	62
Tabela 6.10 - Dados de Consumo de Combustível e Potência de diesel e óleo de tucumã. 63	
Tabela 6.11 - Dados de Consumo específico de Combustível e Potência de óleo de petróleo e de Tucumã.....	64
Tabela A.1 Ensaio Óleo Diesel.....	76

Tabela A.2 Ensaio óleo diesel e biomassa do endocarpo de tucuma	77
Tabela A.3 Ensaio óleo vegetal tucumã e biomassa do endocarpo de tucumã	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Tipos de biomassa. Fonte: Ministério de Minas e energia. 2008.....	8
Figura 2.2 Partes que compõem o coco seco. Fonte: Ferreira, et al 2008	9
Figura 2.3 Processos Termoquímicos para a transformação da biomassa. Fonte: Gómez et al., 2008.	10
Figura 2.4 Esquema do sistema utilizado nos ensaios. Fonte: Caires, 2008	14
Figura 2.5 Sistema de gaseificação Lea-UnB. Fonte: Els, 2008	15
Figura 2.6 Aparato do ensaio, unidade de gasificação associada a um gerador diesel e banco de resistências e instrumentação fonte: Veras et. al adaptado por Lima em 2011....	16
Figura 2.7 Gráfico do consumo vs potência operando com diesel e com diesel e gás do endocarpo de babaçu . Fonte: Rodrigues, 2009.....	20
Figura 2.8 Consumo de combustível vs Potência do motor alimentado com óleo de babaçu e gás do endocarpo. Fonte: Caires, et al., 2009 adaptado.....	21
Figura 2.9 Gráfico do consumo vs potência com alimentação do óleo de macaúba, diesel e óleo de macauba e gás de síntese. Fonte: Caires et al, 2009 adaptado	22
Figura 3.1 Ilha de Vila Atodi. Fonte: Saúde e Alegria, 2012.	24
Figura 3.2 Razões peso da amêndoa/peso do mesocarpo dos frutos de 7 espécies acumuladoras de óleo vegetal. Fonte: Oliveira, 2008	26
Figura 3.3 Componentes Principais (1= peso total dos frutos, 2 = peso do endocarpo, 3 = peso das amêndoas e 4= razão p am/p le da espécie Tucumã açu.....	29
Figura 3.4 Exemplos das cestarias feitas com as folhas da palma de tucumã na comunidade Vila Gorete. Fonte: Saúde e alegria, 2012.....	31
Figura 4.1 Cacho de tucumã. Fonte: Guedes, 2006.....	32
Figura 4.2 Fruto do Tucumanzeiro. Fonte: Come-se, 2008.....	33
Figura 5.1 Prensa hidráulica para extração de óleos. Fonte: Queiroga, 2011	39
Figura 5.2 Soxhlet (a) Esquema (b) Foto (Laboratório de Biocombustíveis, Instituto de química, UnB)	40
Figura 5.3 Soxhlet semi-industrial (Laboratório de craqueamento térmico. Instituto de química. Unb).....	40
Figura 5.4 Rotoevaporador sob pressão reduzida.....	41
Figura 6.1- Pesos de distintos tucumã e média.....	51
Figura 6.2 Relação dos distintos pesos de diferentes lotes de 20 tucumãs e media	52
Figura 6.3 – Óleo extraído da castanha de Tucumã	54
Figura 6.4 Gráfico da Potência (kW) e CEC (kg/kWh) x consumo (g/s) - Diesel	60
Figura 6.5 Gráfico da Potência (kW) e CEC (kg/kWh) x Consumo (g/s) – Diesel e gás da biomassa	61
Figura 6.6 Potência (kW) e CEC (g/kWh) x Consumo (g/s) diesel (a), diesel e gás de síntese (b) e Óleo de tucumã e gás (a)	62
Figura 6.7 Potência (kW) x Consumo (g/s) – Diesel e Óleo de Tucumã	63

Figura 6.8 Potência (kW) x Consumo Especifico de Combustível (CEC, kg/kWh) Diesel e Óleo de Tucumã..... 64

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IPT	Instituto de Pesquisa e Tecnologia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
GTON	Grupo Técnico de Operação da Região Norte
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
SIN	Sistema Interligado Nacional
CCC	Conta de Consumo de Combustíveis
SI	Sistema Isolado
RE	Relação de Equivalência
TGE	Taxa Específica de Gaseificação
TGPE	Taxa Específica de Produção de Gás
IA	Índice de Acidez
ID	Demora da ignição
CN	Número de Cetano
FAE	Fontes alternativas de energia

1. INTRODUÇÃO

A região norte do Brasil caracteriza-se por suas grandes dimensões; 3,8 milhões de km², e por sua baixa densidade demográfica, com 4,2 habitantes por km² (IBGE, 2010). Apesar de a região possuir uma bacia hidrográfica com um potencial hidrelétrico de 1061.149 MW (ANEEL, 2008), o que representa 42,2% do potencial brasileiro, a população da Amazônia tem grande dificuldade de acesso à energia elétrica. Existem pelo menos 607.000 domicílios na Amazônia brasileira que precisam de atendimento de algum tipo de distribuição de energia (ELS, et al. 2011). A grande distância entre essas cidades na Amazônia dificulta o fornecimento de energia elétrica e a integração da região ao Sistema Interligado Nacional (SIN) que interliga as diversas regiões do Brasil. Devido as grandes distâncias o atendimento das cidades na região Amazônica é feita por meio dos sistemas isolados, que são sistemas onde a energia elétrica é gerada e consumida dentro de uma área delimitada, por exemplo, estado, município ou cidade, sem estar interligado ao SIN (ROSA 2007).

As cidades grandes e médias no Norte não interligados ao SIN são atendidas pelas concessionárias na modalidade de sistema isolado. Esse atendimento é garantido, na sua grande maioria, com geração local com moto-geradores. O custo dessa geração é muito alto, por causa do alto custo do diesel e sua logística de abastecimento. O serviço é subsidiado, pois não seria viável se fosse unicamente custeado pelos consumidores. O principal subsídio é um mecanismo de compensação financeira que permite uma tarifa de energia elétrica para o consumidor final nessas cidades igual ao resto do país. Esse mecanismo de compensação financeira é chamado de Conta de Consumo de Combustíveis fósseis (CCC) e é um subsídio dado à concessionária de energia elétrica para comprar o combustível. A CCC do sistema isolado é destinada a cobrir o custo de combustíveis da geração térmica e tem como contribuintes todas as concessionárias do País que atendem consumidores finais. (ELS, 2008).

O enfoque deste trabalho são as comunidades ribeirinhas isoladas, localizadas às margens do rio Arapiuns, afluente esquerdo do rio Tapajós, no estado do Pará chamadas Vila Gorete e Vila Atodi que fazem parte do Assentamento Agroextrativista Lago Grande e que não se encontram incluídas dentro do Sistema Interligado Nacional.

O Brasil é um país com grande potencial energético renovável e com relativa experiência em pesquisa das fontes alternativas de energia. As principais opções destas fontes são a energia solar fotovoltaica, energia eólica, energia termossolar, energia hídrica e biocombustível. É importante destacar que não existem fontes de energia que sejam

totalmente “limpas”, ou seja, que não causem nenhum impacto. Contudo, as opções citadas buscam minimizar o impacto socioambiental.

O principal uso das fontes alternativas de geração elétrica se encontra na eletrificação rural e atendimento de comunidades isoladas, onde a construção de novas linhas de transmissão tem custo elevado ou é proibida, como em grande parte das áreas de preservação ambiental, devido aos custos ambientais irreparáveis. Programas como o “PRODEEM” (Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios) e o programa “Luz para todos”, criados pelo Governo Federal, preveem a utilização de fontes alternativas de energia para garantir a universalização da energia elétrica no Brasil (JESUS, et al 2009).

Tomando em conta a consciência ambiental e o conhecimento da existência destes recursos, podemos aproveitar as fontes alternativas de energia para ajudar estas comunidades. Os países tropicais contam em abundância com a luz solar. O sistema fotovoltaico é constituído por um conjunto de painéis de conversão, um regulador de tensão, um sistema de armazenamento (ou acumuladores) e um inversor que converte a corrente contínua em alternada. Por sua vez, o módulo fotovoltaico é construído a partir de semicondutores de silício e gera tensão elétrica em seus terminais ao receberem a radiação solar sobre sua superfície.

Outra fonte de energia alternativa é a força dos ventos para girar uma turbina eólica transformando assim a energia mecânica em energia elétrica. Os impactos ambientais que esses sistemas podem gerar são, por exemplo, impactos sonoros e visuais: o ruído dos rotores varia de acordo com as especificações dos equipamentos e os impactos visuais decorrem do agrupamento de torres e aerogeradores (ROSA, 2007). Porém em grande parte da região amazônica não é comum a presença dos ventos que viabilizem a utilização destes sistemas

Dentre as aplicações do uso da energia hídrica, encontram-se as turbinas hidráulicas e turbinas heterocinéticas as quais são consideradas um aprimoramento da roda d'água. Normalmente nos lugares onde há uma roda d'água, também há potencial para se usar uma turbina hidrocínética. A turbina hidrocínética é uma turbina com os mesmos princípios das turbinas hidráulicas, entretanto, é de menor tamanho, de fácil manuseio e baixo custo. Não necessita de barragens e não interrompe a navegação ou a passagem da fauna aquática.

Cerca de 10% da energia produzida hoje no Brasil é proveniente da biomassa. Ela já é a terceira principal fonte de energia no país ficando atrás apenas do petróleo e da energia hidrelétrica (ANEEL, 2008). A biomassa é um desses recursos que poderiam desempenhar um papel significativo em uma matriz energética mais diversificada e sustentável. A energia obtida a partir da biomassa é uma forma de energia renovável e, em princípio, a utilização

desta energia não adiciona dióxido de carbono "novo", em contraste com os combustíveis fósseis.

Há diversas formas de aproveitar a biomassa para geração de energia. A primeira forma é por meio de biogás. O Biogás é a geração de energia a partir do gás gerado pela decomposição de lixo orgânico e de excremento de animais (biomassa). Na Europa e nos Estados Unidos mais de 500 aterros sanitários geram energia. Atualmente no Brasil apenas dois aterros em São Paulo produzem biogás, e isso corresponde por 0,041% da energia gerada no país. As vantagens é que esses sistemas evitam as emissões de metano e por isso, valem créditos de carbono, uma espécie de moeda ambiental que pode ser negociada entre países. As desvantagens são as preocupações com vazamento e armazenagem de resíduos do processo, altamente tóxicos. O Brasil tem grande potencial de produção de biogás por ser um grande produtor de animais confinados. A manipulação deste tipo de energia gera muitos riscos de enfermidades ocupacionais por contaminação por meio de bactérias e a população das regiões isoladas da Amazônia não tem conhecimento sobre o tratamento e armazenamento destes resíduos.

Outra forma de aproveitamento de biomassa é sua conversão em bioenergia. A utilização de biocombustíveis no Brasil se desenvolveu muito, primeiro com etanol na década dos 70, e após do ano 2005, com os programas do biodiesel do governo.

No Brasil, segundo a Lei 11.097 de 13 de Janeiro de 2005, o biodiesel é um “biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou conforme regulamento para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial o totalmente combustível de origem fóssil” (BRASIL, 2005).

O biodiesel pode ser usado puro ou em misturas ao diesel de petróleo. No caso de misturas a concentração de biodiesel é informada através de nomenclatura específica, definida como BX, onde X refere-se, à concentração de 2%, 5% e 20% de biodiesel adicionado ao diesel. O biodiesel pode ser obtido por diferentes processos como craqueamento, esterificação e transesterificação¹. Nestes anos, o biodiesel tem tido a atenção por se considerar uma fonte de energia renovável para substituição do diesel, mas existe a preocupação do aproveitamento das oleaginosas que o produzem, pois estas se encontram dentro da cadeia de alimentação assim como da devastação da rica biodiversidade das florestas para sua produção (VIANNA,

¹ A Transesterificação descreve as reações orgânicas nas quais um ester é transformado em outro com intervenção de um alcoxi. Craqueamento é o processo que provoca a quebra de moléculas por aquecimento a altas temperaturas. ¹ Esterificação é um processo de obtenção de ésteres a partir da substituição de uma hidroxila (-OH) de um ácido por um radical alcoxi (-OR).

2011^b) A transformação de óleo de sementes a biodiesel é muito trabalhosa além de envolver custos elevados em todos seus subprocessos, portanto, não são convenientes nem necessárias, nestas circunstâncias, tais transformações. Por fim, este trabalho pretende contribuir para o uso da biomassa em usinas motogeradores que normalmente usam diesel de petróleo.

Os óleos vegetais podem ser usados para produção de biodiesel ou diretamente em motores de combustão. Muitas décadas depois de Rudolf Diesel ter usado o óleo de amendoim, outros estudos vêm sendo realizados com diversos óleos no mundo. Tem-se demonstrado que é possível obter-se uma operação confiável com óleo vegetal não transformado, mesmo em motores diesel convencionais. Para isto, é necessário que o óleo vegetal seja aquecido para diminuir sua viscosidade e que cada período de funcionamento do motor deve começar com diesel, passar para óleo vegetal após alguns minutos quando o motor já estiver quente, e operar os minutos finais também com diesel para “lavar” o sistema injetor e impedir que resíduos de óleo vegetal esfriem dentro da bomba injetora e principalmente nos bicos injetores. Motores com injeção indireta (pré-câmara) também são recomendáveis para esta aplicação por serem mais tolerantes ao óleo vegetal. Em princípio considera-se que a utilização de óleos vegetais em motores estacionários é menos problemática do que em motores automotivos, por operarem com rotação constante e baixa e por serem sujeitos a menores variações de carga ao longo da operação. Além disto, nos motores estacionários como nos grupos geradores os inconvenientes relacionados à utilização de dois combustíveis, como mencionado anteriormente, são muito menos significativos do que nos motores automotivos. Portanto, a utilização de motores estacionários para suprimento de energia elétrica em comunidades isoladas seria recomendável para locais com abundância de oleaginosas e de difícil acesso ao diesel. Estes dois requisitos se apresentam com justificativa econômica para o uso do óleo vegetal como combustível. O óleo vegetal *in natura* em motores de combustão interna volta a ser firmemente considerado, principalmente devido às emissões de gases de efeito-estufa e à elevação consistente dos preços do petróleo (MME, 2008).

A combustão da gasolina e óleo diesel produz uma variedade de gases resultantes da queima incompleta destes combustíveis, como: CO, HC, NO_x, SO₂ e aldeídos. Através de pesquisas realizadas, o professor Hilário Saldiva do Laboratório de Poluição da Faculdade de Medicina da USP, mostra que o aumento da poluição atmosférica provoca a elevação dos índices de mortalidade principalmente entre crianças de até 5 anos e idosos com mais de 65 (VIANNA, 1995).

Além do uso direto do óleo vegetal em motores de combustão interna, também há a possibilidade de usar o gás de síntese gerado mediante a gaseificação de biomassa no mesmo motor. A tecnologia de gaseificação já é muito antiga e bastante usada com carvão. Os primeiros em fazer uso desta tecnologia, foram Barber e Gardner, que patentearam pela primeira vez um gaseificador (LARSON, 1998). Eles usaram o gás de síntese a partir de carvão em motores de combustão interna. Neste mesmo ano, Murdor, também fez pirólise com carvão num reator de ferro e utilizou o gás sintetizado para iluminar sua casa (LOWRY, 1945). Assim como estes pesquisadores, no mundo todo tiveram vários tipos de experimentos com gaseificação no começo do século dezenove mas todos eram rudimentares. Na Bélgica, pelos anos 1860 e depois no mundo todo, começaram a usar motores de combustão interna mediante a queima de gás sintético da gaseificação.

Dentre os óleos estudados recentemente para uso em motores de combustão interna se encontram o óleo de babaçu, macaúba e dendê (RODRIGUES, 2008; NITZKE, 2010; RIBEIRO, 2007 e CAIRES, 2008).

Este trabalho dedica-se ao estudo do tucumã. Este tipo de oleaginosa representa um importante recurso para o desenvolvimento sustentável das comunidades da Amazônia, pois eles usam sua polpa para consumo humano pelo fato de ter uma grande quantidade de betacaroteno. Além disto utilizam as folhas e o endocarpo para uso artesanal mediante a elaboração de “biojóias” e cestarias. Todas estas utilizações geram uma grande quantidade de resíduo com grande teor de energia e potencial de utilização.

Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa é a avaliação dos limites e potencial do Tucumã para geração de energia elétrica em comunidades isoladas da Amazônia.

Os objetivos específicos

- 1) Avaliar as características físico-químicas do óleo do endosperma da palma de tucumã;
- 2) Avaliar as características físico-químicas do endocarpo da palma de tucumã;
- 3) Avaliar o percentual de óleo contido no tucumã e as técnicas de extração;
- 4) Ensaio em motores com óleo de tucumã *in natura* e gaseificação do endocarpo.

A metodologia utilizada foi a seguinte:

- i. Revisão bibliográfica;
- ii. Levantamento do estado de arte;

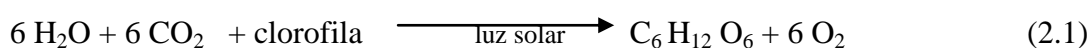
- iii. Inventário de dados preliminares dos tipos de oleaginosas e a escolha da melhor para extrativismo e instalação de sistemas agroenergéticos na região de interesse;
- iv. Avaliação experimental da matéria prima da pesquisa, determinação de parâmetros morfofisiológicos de 300 kg de tucumã, separando as partes:
 - a) Peso total do fruto,
 - b) Peso da amêndoa,
 - c) Peso do entorno da amêndoa,
 - d) Razão peso amêndoa/peso entorno Realização da torrada e moenda da amêndoa.
- v. Extração do óleo;
- vi. Caracterização de óleo *in natura*;
- vii. Estudo do potencial do gás do endocarpo (análise imediato da biomassa e poder calorífico);
- viii. Análise experimental da adaptação do sistema de alimentação de um motor do ciclo Diesel quando o mesmo é alimentado com as duas linhas de combustível, simultaneamente.

A dissertação está organizada em seis capítulos sendo que o primeiro é a introdução onde é abordado o tema da pesquisa; fez-se referência aos tipos de energias alternativas existentes e objetivos. O capítulo dois traz uma revisão bibliográfica e levantamento do estado da arte sobre geração de energia com uso de óleos vegetais em motores diesel e por meio de gaseificação e o uso desses dois sistemas simultaneamente. O capítulo três apresenta uma pesquisa de campo que mostra as a frequência de sete leguminosas nas comunidades de Atodi e Vila Gorete, este capítulo mostra o potencial do tucumã para a produção de energia elétrica nessas comunidades isoladas. O capítulo quatro faz o estudo das características do tucumã. O capítulo cinco apresenta a técnica de extração de óleo e apresenta os métodos e normas analíticas para caracterizar a biomassa. A biomassa de tucumã foi obtida das Vilas extrativistas do município de Santarém no estado de Pará. O capítulo 6 apresenta os resultados experimentais da extração de óleo e do ensaio em motores, o capítulo 7 apresenta as conclusões e recomendações e, finalmente, a bibliografia. Compõem o trabalho principal, mais três anexos dos dados específicos tirados dos ensaios e o código computacional do programa utilizado.

2. REVISÕES BIBLIOGRÁFICAS E LEVANTAMENTO DO ESTADO DA ARTE

2.1 CONCEITOS BÁSICOS. BIOENERGIA, BIOMASSA E BIOCOMBUSTÍVEL.

A bioenergia é a energia renovável obtida de materiais biológicos. É sinônimo de biocombustíveis, combustíveis derivados de fontes biológicas. Recentemente foi sugerida uma definição de biomassa no contexto de utilização industrial. O termo “biomassa industrial” significa: qualquer matéria orgânica que está disponível em base recorrente ou renovável incluindo: vegetais não lenhosos e lenhosos, resíduos agrícolas, plantas aquáticas, madeira e resíduos de madeira, dejetos de animais, resíduos urbanos e outros resíduos usados para produção industrial de energia, combustíveis, químicos e materiais (KAMM et al., 2006). A biomassa abarca também o material biológico utilizado como biocombustível, Eq. 2.1.



A biomassa, assim como o petróleo, é um hidrocarboneto, mas, diferentemente dos combustíveis fósseis, ela possui átomos de oxigênio na sua composição química. A presença desse átomo de oxigênio faz com que a biomassa requeira menos oxigênio do ar, conseqüentemente seja menos poluente, mas também reduz a quantidade de energia a ser liberada.

A biomassa para fins energéticos pode vir de fontes como as plantações perenes, herbáceas de colheita anual, gramíneas, oleaginosas, entre outras. Também se obtém dos resíduos da agricultura, da indústria de alimentos, do setor madeireiro e dos resíduos sólidos industriais. A biomassa considerada como um biocombustível é também diferenciada de acordo com a matéria-prima (NOGUEIRA et al., 2000). Quando proveniente da madeira é dendrocombustível, se proveniente de plantações não florestais é um agrocombustível e há ainda a biomassa encontrada em aterros sanitários e lixões, os resíduos urbanos (RODRIGUES, 2009). A mais conhecida é a biomassa florestal, dela obtemos combustíveis sólidos, combustíveis gasosos e combustíveis líquidos. A biomassa agrícola de maior importância é a cana de açúcar na produção de álcool combustível.

A biomassa pode ser obtida de vegetais não lenhosos, de vegetais lenhosos, resíduos orgânicos (agrícolas, urbanos e industriais) e dos biofluidos. A figura 2.1 expõe as diferentes fontes de biomassa.

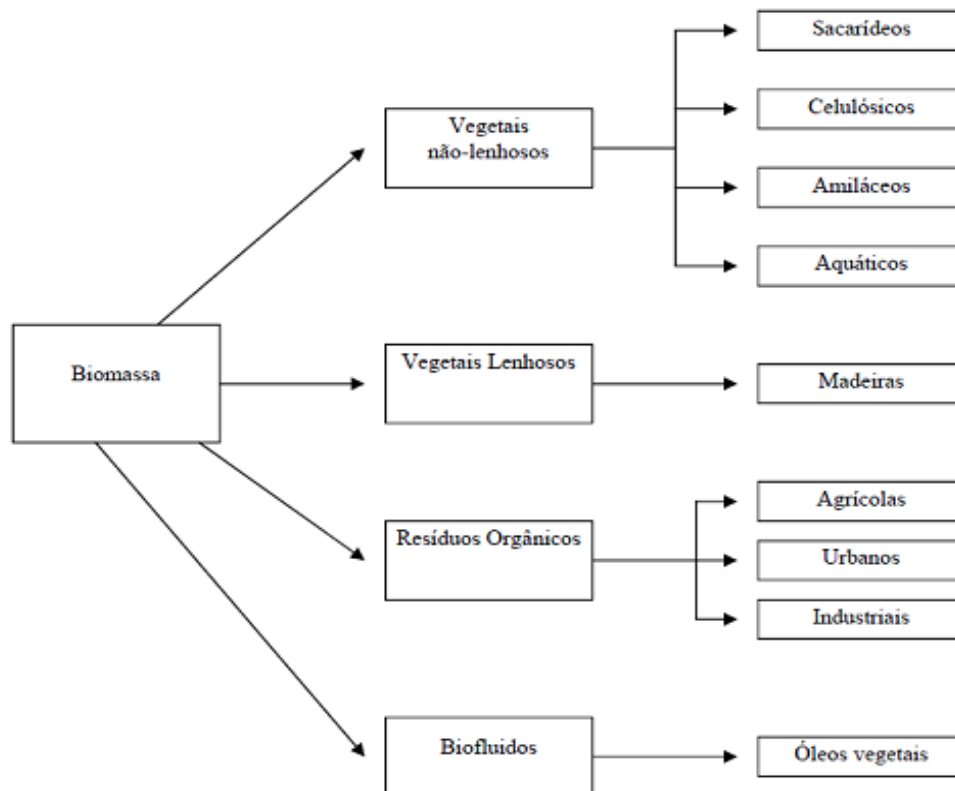


Figura 2.1 Tipos de biomassa. Fonte: Ministério de Minas e energia. 2008

A biomassa vegetal é uma composição estruturada por três famílias de compostos químicos: hemicelulose, celulose e lignina, além de outras espécies menores (compostos alifáticos e fenólicos). A hemicelulose e a celulose estão agrupadas formando a holocelulose, a qual compõe as paredes das fibras (celulose é a parede e a hemicelulose ocupa os espaços vazios). A lignina é um polímero tridimensional com a função de manter as fibras juntas. De acordo com Barreto et al., (2008), as fórmulas empíricas dessas substâncias são: hemicelulose: $C_6H_{10}O_5$, a celulose: $C_5H_8O_4$, e a lignina: $C_9H_{10}(OCH_3)_{0,9-1,7}$.

A biomassa apresenta algumas propriedades energéticas importantes que determinarão seu uso direto como combustível ou a necessidade de tratamentos para melhorar tais propriedades. Estas propriedades são: a densidade energética, a composição química imediata e o poder calorífico (GOMEZ, 2011).

Há ainda outras propriedades que não são propriamente energéticas, mas são muito importantes, pois contribuem para a avaliação da biomassa como combustível, tais como a reatividade, a composição química imediata e molecular (químicas), a porosidade (física) e a friabilidade (mecânica). (RODRIGUES, 2009).

A biomassa contribui entre 10 e 14% no fornecimento primário de energia de todo o suprimento energético mundial, sendo uma média de 5% nos países industrializados e cerca de 30% nos países em desenvolvimento (GÓMEZ, et al., 2008).

A biomassa pode ser usada para gerar calor, eletricidade ou combustíveis líquidos economicamente competitivos (MCKENDRY, 2002; PEREZ et al., 2002).

Os biocombustíveis são produzidos a partir da biomassa (matéria orgânica), isto é, de fontes renováveis- produtos vegetais ou compostos de origem animal. As fontes mais conhecidas no mundo são cana de açúcar, milho, soja, semente de girassol, madeira, celulose e sebo de boi. A partir destas fontes é possível produzir biocombustíveis como álcool, etanol e biodiesel. Os biocombustíveis são biodegradáveis-por isso provocam menor impacto á natureza (PETROBRAS, 2007).

Dentre os biocombustíveis líquidos encontram-se também os óleos vegetais usados em natura diretamente em motores de combustão interna. No Brasil e em vários países do mundo, beneficiam-se os óleos de vegetais obtidos da pupunha, soja, mamona, dendê, babaçu, canola e amendoim para substituir o óleo diesel como fonte de energia (PETROBRAS, 2007). Dentre as oleaginosas, encontram-se os frutos das palmas, os quais podem conter altos teores de óleo tanto na polpa (mesocarpo) como na amêndoa (endosperma sólido). Na Figura 4.3, expõe-se as partes de um coco seco.

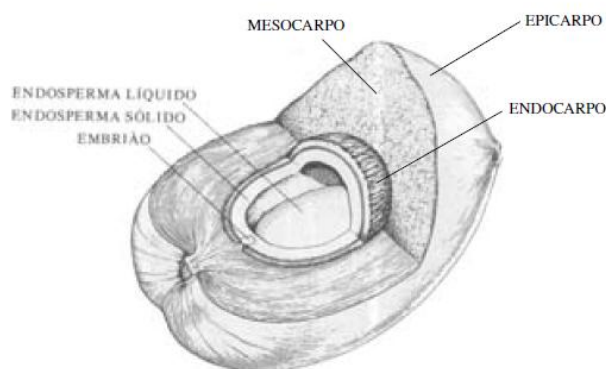


Figura 2.2 Partes que compõem o coco seco. Fonte: Ferreira, et al 2008

Este trabalho refere-se especificamente ao óleo da amêndoa do fruto da palma amazônica de Tucumã, assim como também a seu endocarpo que se encontra classificado dentro do grupo de biomassa sólida com a qual se gera biocombustível gasoso mediante a gaseificação, nesta pesquisa. Estes dois tipos de biocombustíveis, o óleo e o gás, são inseridos num motor de dupla alimentação.

2.2 PRINCIPAIS PROCESSOS DE CONVERSÃO DE BIOMASSA

Os principais processos de conversão de biomassa em produtos energéticos são termoquímicos, bioquímicos e mecânicos. Neste trabalho serão utilizados os processos termoquímicos e mecânicos.

Os processos termoquímicos são cogitados como promissores meios para a conversão eficiente da biomassa em produtos com maior valor agregado (PUTUN et al., 1996). Os processos de transformação da biomassa dividem-se em três grandes grupos: os bioquímicos por ação microbológica, os termoquímicos, por intermédio de tratamentos térmicos e os físico-químicos. Os processos de transformação termoquímica são: a pirólise, gaseificação, combustão, liquefação e torrefação. Por meio destes processos se produzem diferentes frações de combustíveis sólidos, líquidos, gasosos e calor, conforme mostrado na Figura 2.2. A fração em massa de cada um destes produtos pode ser influenciada por meio da variação dos parâmetros do processo.

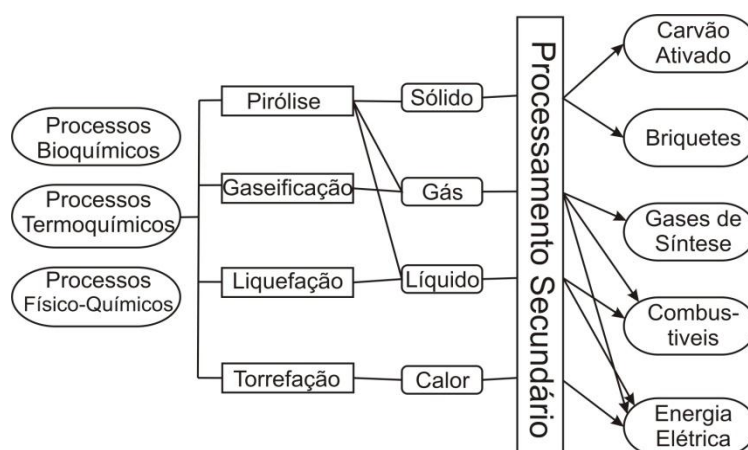


Figura 2.3 Processos Termoquímicos para a transformação da biomassa. Fonte: Gómez et al., 2008.

A torrefação pode provocar alterações significativas nas propriedades da biomassa e a torna um combustível mais homogêneo. Em sistemas que utilizam a biomassa natural, a madeira torrificada tem grandes vantagens devido a seu maior Poder Calorífico Superior e menor emissão de voláteis. A verdadeira vantagem da torrefação é o alto grau de padronização do processo que permite o seu uso para fins mais exigentes quanto à estabilidade como a gaseificação além da menor resistência mecânica que facilita o processo de moagem. Pode-se considerar a torrefação como sendo um processo de pré-pirólise. É um tratamento térmico da biomassa com temperaturas inferiores a 300°C e dá origem a materiais hidrofóbicos, com teores de carbono fixos intermediários entre a biomassa e o carvão, apresentando níveis de umidade relativamente baixos. O material possui quantidades de

voláteis altas, mantendo, portanto, o conteúdo energético propiciado por esses voláteis, com a vantagem de possuir umidade inferior, proporcionando assim maior rendimento na combustão (BEZZON, 1994).

A pirólise é a transformação de biomassa sólida em gás, carvão e alcatrão mediante o aumento de temperatura onde os gases não condensáveis e o alcatrão representam cerca de 70-90% da massa inicial, restando apenas cerca de 10-30% correspondente ao carvão que é altamente reativo. Estes gases da pirólise são parcialmente queimados com a presença de ar ao redor das partículas. Há a necessidade de reações de combustão exotérmicas para fornecer a energia necessária para a pirólise e secagem do combustível sólido. A temperatura na zona de oxidação dos gases de pirólise é suficientemente alta para a quebra térmica dos produtos em componentes de menor peso molecular tal como o alcatrão, que é um dos principais problemas do uso do gás de biomassa em motores de combustão interna e em turbinas a gás.

Antal & Grønli (2003) acreditam que o desafio atual é o de projetar reatores de pirólise que maximizem a formação do carvão e minimizem os subprodutos da pirólise. O domínio das variáveis de pirólise (temperatura, pressão, taxa de aquecimento, vazão de gases) que aumentem o rendimento da carbonização poderá maximizar ganhos, aumentando a competitividade do termorreduzidor e contribuindo para a melhor utilização da biomassa. Outra vantagem da pirólise é que o material sólido carbonizado, obtido após o processo, pode ser utilizado como combustível em processos industriais, na cocção de alimentos ou como matéria-prima para a produção de carvão ativado. O gás produzido pode ser utilizado para geração de energia mecânica e térmica ou pode ser sintetizado para a geração de outros produtos químicos.

O processo de gaseificação é um dos processos de transformação termoquímica que implica a conversão da biomassa sólida em um gás combustível. Neste processo ocorre a oxidação parcial a temperaturas elevadas, constitui uma excelente tecnologia de conversão termoquímica para a biomassa oferecendo a possibilidade de utilização dos gases obtidos, como combustíveis, e assegurando seu aproveitamento energético em instalações de fornos, motores de combustão interna e turbinas a gás. O gás combustível obtido deve ser livre de alcatrão e particulados sólidos. (GOMEZ, 1996). Na gaseificação, a existência de vapor de água nos gases reagentes faz com que ocorra uma maior produção de gases combustíveis ($C + H_2O = CO + H_2$), que possibilita o aumento do poder calorífico do gás. O melhor uso de combustíveis sólidos está vinculado à temperatura de tratamento, que garante as características adequadas para cada fim (RODRIGUES, 2009). O processo de gaseificação

desta pesquisa foi à transformação do endosperma (caroço) de tucumã em gás de síntese num reator downdraft estratificado.

As principais vantagens dos gaseificadores concorrentes ou downdraft estão principalmente na sua simplicidade operacional e elevada eliminação de gases condensáveis entre 99 e 99,9%. Os baixos níveis de alcatrão tornam a tecnologia atrativa para a queima em motores de combustão interna e turbinas, sem maiores modificações. Adicionalmente, pelas condições operacionais do gaseificador, os materiais orgânicos ficam retidos, em grande parte, no fundo de ciclones de elevada eficiência e filtros para fazer a limpeza de gás. Por se tratar de um gaseificador de tubo aberto, o mesmo não apresenta problemas com risco de explosão. No tocante à eficiência da conversão apenas cerca de 4 a 7% do carbono da biomassa original não é convertido em gás, sendo eliminado juntamente com as cinzas no fundo do gaseificador. A desvantagem deste tipo de gaseificador está no fato de que a eficiência do processo está diretamente vinculada à umidade da biomassa utilizada.

Outro processo de transformação da biomassa sólida usado neste trabalho é a extração do óleo das amêndoas da palma de tucumã mediante uma prensa e extração com solventes que extraem o óleo mediante uma previa torrada e moenda das amêndoas num equipamento de extração de lipídeos de um material sólido mediante solventes e aumento da temperatura, neste caso foi usado o hexano numa aparelhagem de Soxhlet semi-industrial com refluxo de água aquecida a 60 °C.

2.3 USOS DO ÓLEO VEGETAL EM MOTORES DE COMBUSTÃO

Para o uso de óleos vegetais *in natura* em máquinas de combustão interna é necessário instalar um equipamento de pré-aquecimento dos óleos para aumentar sua temperatura até que a viscosidade fique mais próxima do diesel, para que se possa manter duas linhas paralelas de alimentação de combustível. Na operação com óleos vegetais *in natura* é também recomendável começar e finalizar a operação com óleo diesel; com isto, evitam-se danos, pois o óleo pode danificar as peças do motor devido a seu elevado índice de acidez. Este procedimento também evita gomas quando a temperatura diminua devido à alta porcentagem de estearina², e também melhora a pulverização no sistema de injeção. A comutação diesel – óleo vegetal se dá por meio de válvulas solenóides controlado por um sistema elétrico de mudança de combustível.

² Composto químico presente nos ácidos graxos dos óleos e gorduras.

Os óleos que têm sido usados até o momento diretamente no motor, sem transformação prévia, são provenientes do: babaçu, macaúba, dendê, girassol, soja, colza, girassol, algodão, coco, polpa de pequi e tucumã.

A resolução nº 7 de 22 de outubro de 1980 instituiu a criação do Pró-óleo, o “Programa de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos”, criada pela Comissão Nacional de Energia, visando à substituição dos combustíveis derivados de petróleo. Seguindo esse programa, de 1981 a 1983, a Embrapa realizou experimentos utilizando biogás e óleos vegetais.

Atualmente o óleo vegetal é muito usado por produtores rurais em suas máquinas agrícolas movidas a Diesel. Entretanto, o uso deste tipo de óleo sem nenhum tratamento acarreta danos ao motor. Foram relatados casos em que o motor entrou em colapso após aproximadamente 300 horas de funcionamento, devido à ocorrência de depósitos na câmara, provenientes de combustão incompleta do óleo.

Em março de 2004, no Centro APTA de Engenharia e Automação, utilizaram um trator Valmet modelo 68 (ano de fabricação 1983) com motor MWM D229 de três cilindros e 62 cv, para testes utilizando óleo vegetal. Após 60 horas das 200 programadas, os testes foram interrompidos devido a problemas de superaquecimento do óleo do Carter e constantes batidas de pino no motor. Um sistema de conversão do óleo (pré-tratamento) foi empregado numa picape S-10 fabricada em 2001, equipada com motor MWM-Sprint 2.8 de quatro cilindros diesel, que alcançou a marca dos 100 mil km rodados sem maiores problemas ao motor para minimizar os efeitos principalmente da viscosidade do óleo vegetal, adequando-o ao uso em motores diesel existem alguns sistemas à venda no mercado. Os kits são compostos de tubulações extras para linhas de combustível vegetal paralela à linha de Diesel e um sistema de aquecimento que aproveita a temperatura da água do sistema de refrigeração que sai do motor para o radiador para aquecer o óleo vegetal, através de uma camisa trocadora de calor. Estes sistemas possuem um ponto negativo, que consiste na necessidade de o motor aquecer para se dar início à queima do óleo vegetal (RODRIGUES, 2008).

Até o momento não se tem conhecimento de tucumã para geração energética na Amazônia, portanto, este trabalho pode marcar um começo nesta linha de pesquisa para desenvolvimento de regiões carentes e isoladas da selva não atendidas pelo Sistema Interligado Nacional. Esta utilização não concorre com o tradicional uso do tucumã como alimento uma vez que se trata do aproveitamento da parte descartável do coco. Adicionalmente o resíduo da extração do óleo do endosperma pode servir como ração animal.

2.4 ENSAIOS COM DUPLA ALIMENTAÇÃO EM MOTORES DIESEL NO LABORATORIO DE ENERGIA E AMBIENTE DA UNB

No Laboratório de Energia e Ambiente da Faculdade de Tecnologia da UnB foram realizadas diversas pesquisas em biocombustíveis. Estas pesquisas foram feitas num motogerador primeiramente por Ribeiro (2007), seguido por Caíres e Rodrigues no ano de 2008, e depois foram continuadas por Nitzke (2010) com distintos tipos de biomassa no mesmo motor. Vários dos pesquisadores citados fizeram pesquisas variando as biomassas e incluindo um reator gaseificador. Os últimos testes do motor foram com o tucumã. A Figura 2.4 mostra o sistema montado para os ensaios.

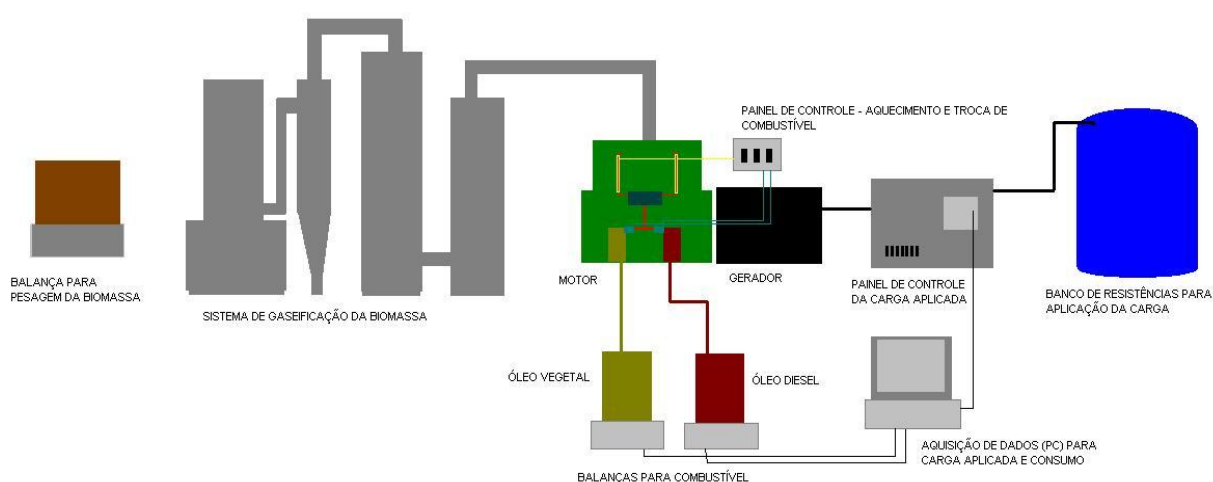


Figura 2.4 Esquema do sistema utilizado nos ensaios. Fonte: Caíres, 2008

Segundo mostra a Figura 2.4, o processo inicia-se no gaseificador onde a biomassa é transformada em gás combustível o qual é tratado e enviado para um grupo motogerador elétrico. Os componentes principais do reator serão descritos nos próximos itens. O sistema de gaseificação e acondicionamento dos gases e mostrado na Figura 2.5.



Figura 2.5 Sistema de gaseificação Lea-UnB. Fonte: Els, 2008

Na Figura 2.6 estão representados todos os componentes do sistema de gaseificação. O reator gaseificador downdraft (1) está ligado ao ciclone (2) para a captura de particulados que por sua vez está ligado a um conjunto de filtros (3) e um trocador de calor (4) onde o gás flui no interior dos tubos imersos em água enquanto refrigera a mistura superaquecida retém a maior parte do alcatrão ao longo do processo. Essa mistura (água condensada e alcatrão) foi acumulada em um tanque posicionado na parte inferior do trocador de calor, para a extração adicional de alcatrão.

O reator é do tipo downdraft de topo aberto. O gaseificador foi projetado para operar na faixa de cerca de 300 kg/h/m^2 de taxa de gaseificação específica quando associado aos 1884 cm^3 e 1800 rpm do motor. A potência máxima do motor foi avaliada em $16,9 \text{ kW}$, enquanto o grupo gerador foi de $12,5 \text{ kW}$.

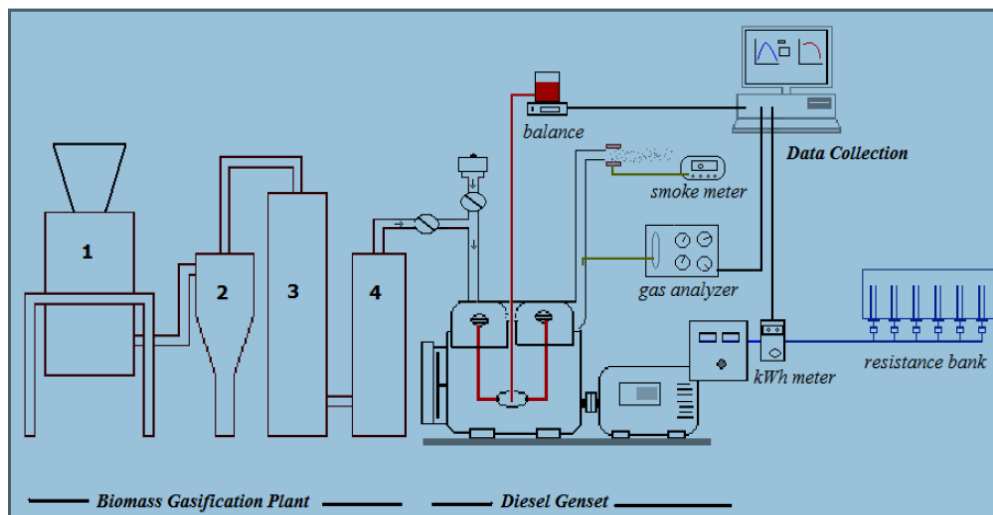


Figura 2.6 Aparato do ensaio, unidade de gasificação associada a um gerador diesel e banco de resistências e instrumentação fonte: Veras et. al adaptado por Lima em 2011.

O consumo de combustível foi aferido através da utilização de uma balança eletrônica de precisão, no qual forem tomadas as medidas de massa de óleo combustível consumida em intervalos de tempo distintos.

A balança possui as seguintes características: Capacidade: 4.100 g, Repetibilidade (desvio-padrão): 0,01g, Linearidade: 0,02g, Tempo de estabilização: 3 segundos, Alimentação elétrica: Adaptador Externo - 110, 220 VCA, 50/60Hz.

A avaliação dos resultados foi realizada pela Napro-Brazil, que é um sistema que analisa a emissão de gases tais como O_2 , CO_2 , NO_x , hidrocarbonetos não queimados e a temperatura do óleo lubrificante. A emissão de fumaça foi medida por um dispositivo Wager de medida de opacidade. A quantidade de combustível consumido foi monitorado em tempo real por meio de uma escala elétrica (balança) cujo sinal foi enviado a uma aplicação computacional, via porta RS232, baseada na plataforma LabVIEW. A carga aplicada foi registrada por um medidor eletrônico trifásico de kWh instalado para medir a quantidade de energia fornecida pelo gerador ao banco de resistências.

2.4.1 Investigação experimental e integração de um sistema de geração de energia elétrica por gaseificação de biomassa para comunidades isoladas

Ribeiro (2007), fez um estudo da gaseificação de biomassa em plantas de leito fixo com tecnologia “downdraft” estratificado onde o desempenho do gás como combustível foi avaliado por meio de um conjunto moto gerador e um sistema de dissipação de energia (banco de resistências). As curvas de desempenho do sistema de geração foram obtidas variando-se a

carga no motor de combustão interna em regime de rotação constante. Investigou-se, também, o nível de substituição do diesel por gás de biomassa sem a ocorrência de detonação através da análise das curvas de pressão dinâmica no cilindro do motor mantendo níveis satisfatórios nas emissões. Ele concluiu que a biomassa pode produzir até 60% de alcatrão quando submetida à degradação térmica. A tecnologia downdraft apresentou baixíssimos índices deste composto nos gases de descarga da unidade. Este estudo mostrou que sem alterações no motor diesel foi possível obter um percentual de substituição de diesel da ordem de 40%. (O motor desenvolvido neste trabalho encontra-se mais detalhado nos subitens posteriores).

2.4.2 Ensaios de longa duração em motor de ciclo diesel operando com óleo vegetal

Caires (2008), fez ensaios de curta e longa duração em motor do ciclo diesel operando com óleo vegetal de distintas oleaginosas. Forem efetuados testes em motores de combustão interna com óleo de macaúba, babaçu, dendê e soja. Os óleos de macaúba e de babaçu foram escolhidos por causa da sua abundância nas regiões Norte e Nordeste, regiões estas aonde é mais comum o uso de grupos moto-geradores de energia elétrica. O dendê foi escolhido porque sua cultura é a mais produtiva por hectare, chegando a patamares entre 3.500 e 5.000 kg/ha/ano, o que é entre 4 e 20 vezes mais do que os outros óleos vegetais citados. O óleo de soja foi escolhido por causa da sua fácil obtenção e do baixo custo no Centro-Oeste. (CAIRES, 2008).

Houve tentativa de se ensaiar o óleo de mamona porém sem sucesso, pois o sistema de aquecimento do combustível não era suficiente para fazer a correção na viscosidade necessária para a pulverização na câmara de combustão. Os resultados dos ensaios com óleos vegetais mostraram que apesar de apresentarem bom desempenho, o diesel ainda consegue obter melhores valores tanto de potência quanto de consumo, devido a essas duas características, o poder calorífico maior e da viscosidade menor o que facilita o funcionamento do sistema de injeção. Por outro lado, notou-se que o babaçu atingiu, em algumas faixas, valores mais altos do que o próprio óleo diesel apesar de seu poder calorífico ser o menor dentre os óleos ensaiados. Os valores da eficiência foram bastante próximos aos do diesel, porque a eficiência depende de parâmetros de funcionamento do motor. Outro parâmetro a ser considerado é a temperatura; demonstrou-se que ficou sempre acima de 70 °C resultando num bom desempenho do motor com qualquer um dos combustíveis empregados. (CAIRES, 2008).

No mesmo trabalho foi construída uma segunda bancada de ensaios com um motor-gerador de menor tamanho, e só com óleo de soja para reduzir os gastos de operação. Foi feito um check-list no motor e os ensaios foram de longa duração por 250 horas. O esquema da bancada foi mostrada na Figura 2.4

2.4.3 Projeto de avaliação de uma Central de Geração Elétrica de 5 kW por gaseificação de biomassa

Rodrigues (2008) fez também no Laboratório de Energia e Ambiente (LEA) com o mesmo motor gerador uma avaliação da viabilidade desta central para comunidades isoladas no Brasil com o uso de um sistema de gaseificação de biomassa do tipo estratificado associado ao grupo motor-gerador diesel, visando reduzir o consumo de óleo. Os resultados foram uma considerável redução na quantidade de combustível líquido consumido.

2.4.4 Geração elétrica distribuída a partir da gaseificação de peletes de cama de aviário

No LEA também foram feitas análises da cama aviária para gaseificação. Neste estudo, a qualidade energética do gás foi estudada por meio de um conjunto motor-gerador e um sistema de dissipação de energia que pode ser verificado na Figura 2.6.

O nível de substituição do óleo diesel foi da ordem de 35,22%. Para baixas potências o reator do tipo concorrente é bastante indicado pelo alto poder de quebra dos hidrocarbonetos condensáveis (alcatrão). Para operar a contento o reator precisa ser muito bem dimensionado e alguns meios devem ser providenciados para que o leito se mantenha homogêneo. É recomendado que o teor de umidade do material a ser gaseificado esteja no intervalo de 8 a 20%. Provavelmente é o fator mais importante a ser levado em consideração quando se estuda a viabilidade do aproveitamento do resíduo. As amostras foram secas em estufa a 105°C até que a massa permanecesse constante. O teor de umidade foi de 17% que está no intervalo recomendado. Foi realizado um ensaio de longa duração e os parâmetros observados estão descritos na Tabela 2.1, onde se pode constatar que o consumo de diesel durante a administração do gás diminuiu em 80% para cada uma das potências alcançadas pelo motor-gerador.

Tabela 2.1 – Consumo de diesel e da cama de aviário peletizada no processo de gaseificação.
Fonte: Nitzke, 2009

Parâmetros	Potência			
	2 kW	4 kW	6 kW	8 kW
Consumo de diesel (l/h)	2.1	2.34	2.9	3.5
Consumo de diesel com gás (l/h)	1.34	1.48	1.85	2.3
Consumo de biomassa (kg/h)	3.45	7.22	11.3	17.5

2.4.5 Geração de eletricidade a pequena escala num motor de ignição por compressão mediante a alimentação de óleo *in natura* e gás de síntese

Foi pesquisado um novo conceito de eletrificação rural baseado no mesmo reator estratificado tipo dowdraft no Lea da UnB (CAIRES et al., 2009), esta vez usando o endosperma de duas palmas, babaçu e macaúba. A Tabela 2.2 mostra a porção da biomassa e óleo nos frutos da pesquisa, com uma porcentagem de endocarpo de 29% na macaúba e 59% no babaçu. Ambos são excelentes candidatos para gaseificação da biomassa pela sua grande porcentagem de carvão depois da carbonização a 300°C. Os autores reportam uma porcentagem de carvão na ordem dos 38% e 44%, respectivamente. O conteúdo da água na biomassa foi perto de 11% em base seca para os dois endocarpos.

As mostras de óleo forem resultado da extração por prensagem mecânica.

Tabela 2.2 - Quantidade de biomassa em peso dos diferentes componentes dos frutos. Fonte: Caires et al, 2009

Componente	Macaúba (%)	Babaçu (%)
Exocarpo	39,6	11
Mesocarpo	24,1	23
Endocarpo	29,0	59
Amêndoa	7,3	7
Total	100	100

Foram realizados ensaios utilizando o óleo diesel associado ao gás obtido da gaseificação do endosperma de babaçu e de macaúba no reator downdraft. A dupla alimentação consistiu na geração de gás de síntese da queima do caroço do fruto das palmas e diesel. Na figura 2.7 observa-se uma considerável redução no combustível injetado, devido ao motor admitir uma mistura de gás sintético e ar, ao invés só de ar. Para a plena carga, operando só com diesel o consumo varia de 0.45 até 1.1 g/s, enquanto no modo duplo o intervalo varia de 0.3 até 0.65 g/s, à potência remanescente é dada pelo gás sintético.

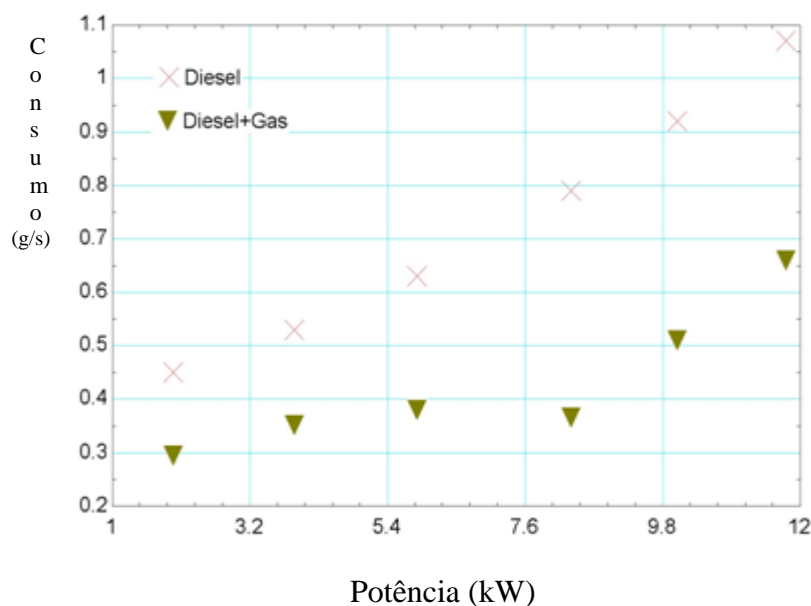


Figura 2.7 Gráfico do consumo vs potência operando com diesel e com diesel e gás do endocarpo de babaçu . Fonte: Rodrigues, 2009

A velocidade de rotação foi 1800 rpm, com potência máxima de 12,5 kW. Devido à operação em velocidade constante, foram realizados ensaios de variação de carga, por meio de um banco de resistências elétricas composto por cinco unidades de 2,0 kW e uma 1,0 kW. Os resultados apresentados na Figura 2.7 indicam uma redução importante de combustível líquido em todo o processo.

2.4.6 Ensaios de queima de óleo do mesocarpo de babaçu e macaúba e gás do endocarpo das palmas no motor diesel

Da nova operação da máquina, a gasificação se fez mediante a queima do endocarpo de *Orbignya sp.* (Babaçu), injetando em conjunto o óleo extraído a partir da castanha da palma *in natura* no motor. A concentração de óleos e graxas dissolvidas foi estimada em 21 mg / l, o teor de alcatrão menor foi encontrado no gás. Os sólidos dissolvidos foram estimadas em 8,5 mg / litro, apresentando também uma boa separação das partículas, tanto pela

centrífuga como pelo processo de condensação do vapor. Em nenhum caso, o gás teve resfriamento adicional e limpo por um filtro orgânico, antes do sistema de carburação.

O outro experimento foi com o uso de *Acrocomia aculeata* (macaúba) como a biomassa utilizada para o gaseificador e seu respectivo óleo, extraído da polpa e injetado no motor. Os resultados podem ser observados na Figura 2.8, a taxa de consumo de combustível reduziu significativamente quando o moto-gerador foi alimentado com SVO-1 (óleo de babaçu) e SG-1 (gás de síntese do endocarpo de babaçu), o gás gerado de seu caroço no gerador e injetado no motor diesel.

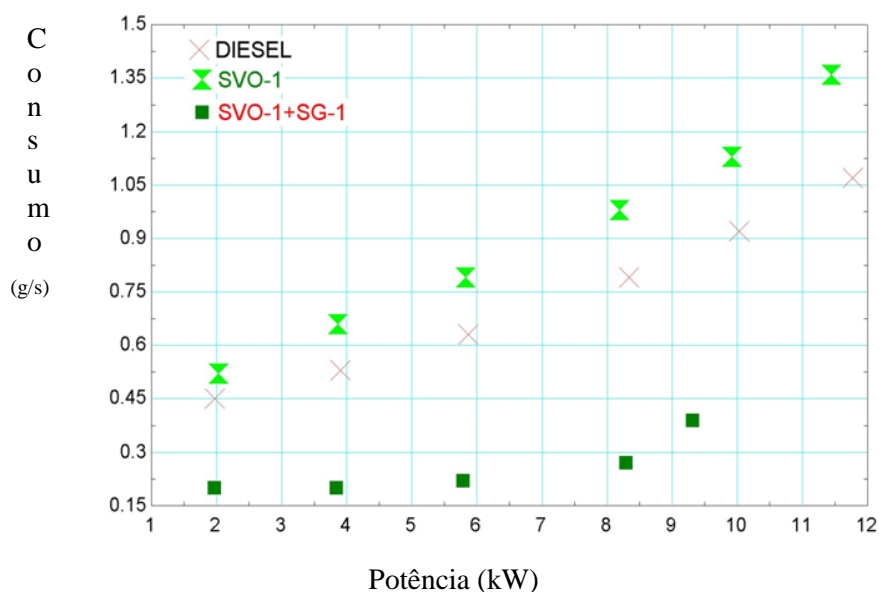


Figura 2.8 Consumo de combustível vs Potência do motor alimentado com óleo de babaçu e gás do endocarpo. Fonte: Caires, et al., 2009 adaptado.

Segundo a Figura 2.9, dos resultados do teste feito com os bicompostíveis da palma de macaúba (*Acrocomia Acuelata*); os resultados também foram bem satisfatórios, pois de igual forma o consumo de combustível foi muito menor do que com o diesel.

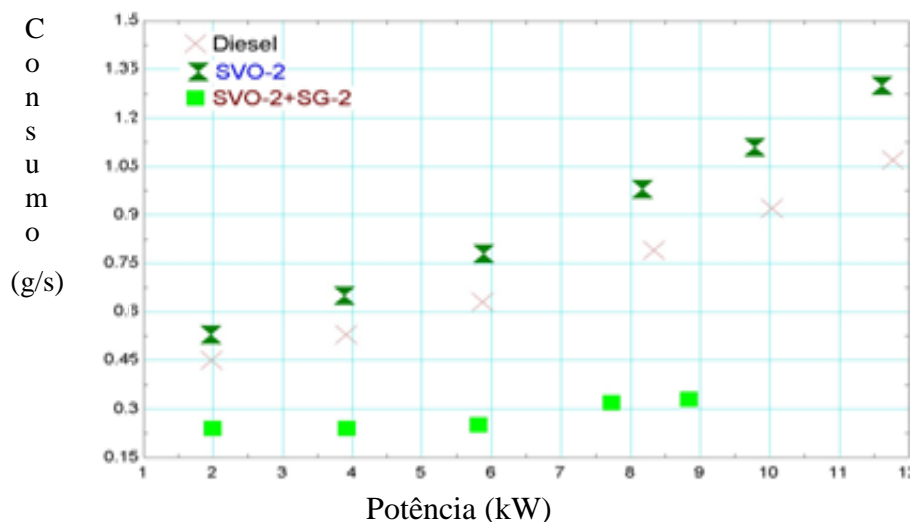


Figura 2.9 Gráfico do consumo vs potência com alimentação do óleo de macaúba, diesel e óleo de macaúba e gás de síntese. Fonte: Caires et al, 2009 adaptado

A aquisição dos dados iniciou-se apenas depois de ambos, o motor e a unidade de gaseificação entrar em operação estável. No plano de testes, o incremento da carga foi de 1 kW até 10 kW. Em toda a carga foram medidas as emissões de fumaça. As amostras de gás foram analisadas de dois a três minutos após a seleção da carga.

Os ajustes na injeção do combustível foram automaticamente executados pelo controlador da máquina para compensar a entrada adicional de energia.

Nas Tabelas 2.3 e 2.4, demonstra-se a diminuição de quase um 80% na emissão de óxidos de nitrogênio na operação conjunta de óleo de babaçu e gás de síntese em relação às emissões com diesel; as emissões com o uso de as outras biomassas forem similares as do babaçu.

Tabela 2.3 Emissão de gases do motor para distintas cargas com diesel

Potência de entrada (kW)	CO (%)	CO₂ (%)	O₂ (%)	HC (ppm)	CO_C (%)	NO_x (ppm)
1.97	0.09	3.7	15.5	74	0.36	254
3.91	0.07	4.6	14.2	74	0.22	447
5.87	0.05	5.6	12.9	79	0.13	674
8.33	0.05	5.6	12.9	79	0.13	674
11.77	0.20	9.5	7.4	91	0.31	1378

Tabela 2.4 Emissão de gases do motor para distintas cargas com óleo de babaçu e gás de síntese

Potência de entrada (kW)	CO (%)	CO₂ (%)	O₂ (%)	HC (ppm)	CO_C (%)	NO_x (ppm)
1.97	1.02	6.0	13.3	123	2.18	58
3.84	0.97	10.8	7.8	102	1.24	43
5.87	0.56	12.5	6.5	117	0.64	89
8.33	0.39	14.1	4.9	81	0.4	144
11.77	0.47	14.4	4.5	73	0.47	206

É importante esclarecer que da rigorosa pesquisa destes tipos de operações foi concebida a maior parte desta dissertação.

3. PESQUISA DE CAMPO

As áreas de estudo foram as comunidades de Vila Atodi e Vila Gorete, comunidades que residem as margens do rio Arapiuns que fazem parte do Assentamento Agroextrativista Lago Grande no território do baixo amazonas no estado do Pará. As Vilas são muito carentes como a maior parte das comunidades da Amazônia; com típicas características das regiões isoladas do norte do Brasil e não tem serviço de fornecimento convencional de energia elétrica.

Na Vila Atodi moram 52 famílias e fica a 5 horas de navegação de Santarém; é uma ilha paradisíaca com forte potencial turístico que esta começando a ser explorado por empresas nacionais e internacionais de ecoturismo. A Figura 3.1 mostra uma das praias da Vila Atodi (SAUDE E ALEGRIA, 2012).



Figura 3.1 Ilha de Vila Atodi. Fonte: Saúde e Alegria, 2012.

A Vila Gorete é muito semelhante a Vila Atodi, só que fica um pouco mais próximo de Santarém e é uma comunidade maior, com 116 famílias. Tem como principal ocupação o artesanato.

3.1 OCORRÊNCIA DE OLEAGINOSAS

Oliveira (2008) fez uma avaliação do estoque de espécies oleaginosas com potencial para a produção de biocombustível nestas duas comunidades ribeirinhas e a sua vez identificou as possíveis formas de exploração sustentável em palmeirais nativos. Logo que realizou a identificação taxonômica das espécies determinou a frequência das espécies com a demarcação aleatória de 10 parcelas de 10m x 10m (100 m²) em cada uma das comunidades totalizando 20 parcelas e 2000 m². Cada uma das parcelas foi georeferenciada e quantificada

por espécie. A seguir, os dados são mostrados em tabelas e analisados estatisticamente por meio do programa BIOESTAT, versão 4.0, as espécies levantadas foram Babaçu- *Attalea speciosa*, Curuá- *Attalea spectabilis*, Tucumã- *Astrocaryum tucumã*, Piririma- *Attalea coccoides*, Inajá- *Attalea phallerata*, Buriti, Bacaba e Castanha de Arara.

Quanto à colheita de frutos, esta foi feita por espécie apenas dos que estavam maduros, o que foi difícil, pois a maioria estava na feno – fase inicial de maturação.

Na comunidade de Vila Atodi, o curuazeiro, babaçuzeiro e tucumazeiro foram as espécies com maior frequência, respectivamente 6.0, 2.9 e 2.6, sugerindo que ao tucumãzeiro, para ser selecionada para coleta de frutos ou material de propagação, pois facilmente será encontrada. As demais espécies apresentaram frequência abaixo de 0,5.

Uma análise mais detalhada mostrou que houve diferenças significativas quanto às razões peso da amêndoa/peso do entorno da amêndoa entre as 7 espécies observadas.

Observou-se que a segunda espécie promissora no acúmulo de óleo seria o tucumã-açu (*Astrocaryum tucuma*). Dessa forma, diferentes razões peso da amêndoa/ peso do entorno podem auxiliar na seleção da mini-usina a ser implantada (gaseificação).

Os resultados conferem à castanha de arara e ao tucumã os maiores valores sugerindo maior acúmulo de óleo por estas espécies tornando-as promissoras para exploração do biocombustível. A Figura 3.2 apresenta a relação peso da amêndoa - peso do mesocarpo dos frutos para 7 espécies (curuazeiro, babaçuzeiro, castanha de arara, piririma, tucumazeiro, tucumã –açu e tucumã-í) coletados nas comunidades de Atodi e Vila Gorete. As caixas (Box) na figura representam os desvios padrões em relação à média (linha do meio da caixa); as suíças representam os valores máximos e mínimos (OLIVEIRA, 2008).

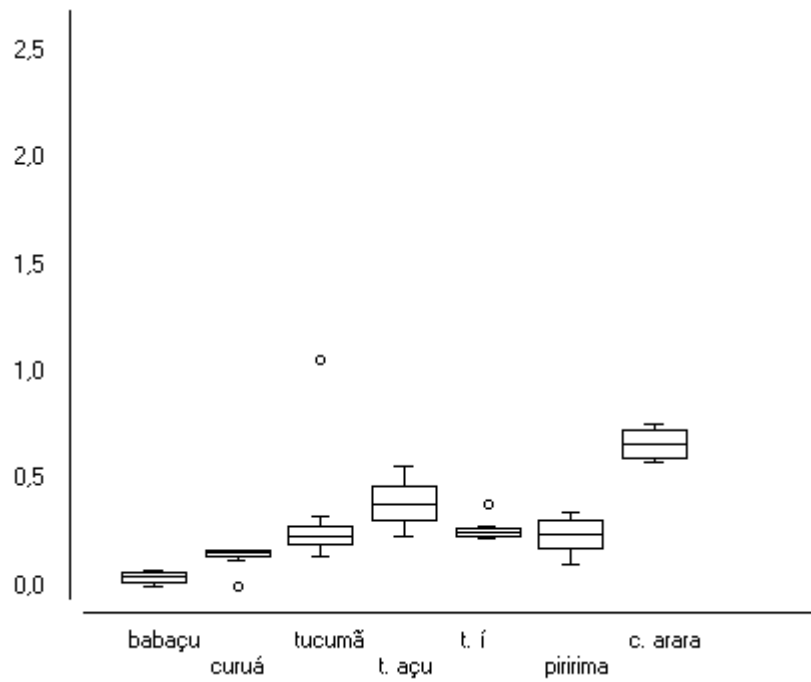


Figura 3.2 Razões peso da amêndoa/peso do mesocarpo dos frutos de 7 espécies acumuladoras de óleo vegetal. Fonte: Oliveira, 2008

Quanto ao nível de similaridade entre os frutos das 7 espécies acumuladoras de óleo vegetal, os Testes de Penrose e Mahalanobis, demonstraram que as espécies com as menores distâncias multivariadas e portanto mais similares entre si foram tucumã í e piririma.

A Tabela 3.1 expõe a simulação da frequência de indivíduos para cada 1 das 7 espécies acumuladoras de óleo vegetal em 1 hectare na Comunidade de Vila Gorete e recomendações de uso do solo.

Tabela 3.1 - Simulação da frequência de indivíduos/ha. Gorete. Fonte: Oliveira, 2008

Espécie	Frequência media em 100 m ²	Frequência media em 10.000 m ² (1 ha)	Frequência desejada em 1 ha de Sistemas Agroenergéticos	Gradiente entre a frequência desejada e a real	Recomendação
Curuá	13,8	1380	1111	-269	Extrativismo
Babaçu	1,9	190	1111	921	Sistemas Agroenergéticos
Castanha de arara	0,0	0	1111	1111	Sistemas Agroenergéticos
Buriti	0,0	0	1111	1111	Sistemas Agroenergéticos
Bacaba	0,9	90	1111	1021	Sistemas Agroenergéticos
Piririma	1,7	170	1111	941	Sistemas Agroenergéticos
Tucumã	4,2	420	1111	691	Extrativismo e Sistemas Agroenergéticos
Inajá	0,9	90	1111	1021	Sistemas Agroenergéticos

Na Tabela 3.62 pode-se observar a simulação da frequência de indivíduos para cada 1 das 7 espécies acumuladoras de óleo vegetal em 1 hectare na Comunidade de Vila Atodi e recomendações de uso do solo.

Tabela 3.2 - Simulação da frequência de indivíduos/ha. Atodi. Fonte: Oliveira, 2008

Espécie	Frequência media em 100 m ²	Frequência media em 10.000 m ² (1 ha)	Frequência desejada em 1 ha de Sistemas Agroenergéticos	Gradiente entre a frequência desejada e a real	Recomendação
Curuá	6,0	600	1111	511	Extratativismo
Babaçu	2,9	290	1111	821	Sistemas Agroenergéticos
Castanha de arara	0,5	50	1111	1061	Sistemas Agroenergéticos
Buriti	0,2	20	1111	1091	Sistemas Agroenergéticos
Bacaba	0,5	50	1111	1061	Sistemas Agroenergéticos
Piririma	0.1	10	1111	1101	Sistemas Agroenergéticos
Tucumã	2,6	260	1111	851	Sistemas Agroenergéticos

O grau de importância das variáveis dos frutos de castanha de arara e tucumã aquí foi observada através da Análise de Componentes Principais, onde as variáveis mais indicadas para estudos semelhantes são o peso total dos frutos, o qual acumulou as maiores variâncias, seguida do peso do entorno da amêndoa e peso da amêndoa.

De acordo com os resultados de frequência das 7 espécies estudadas na Tabela 3.3, que expõe as recomendações de uso para a mini-usina das partes dos frutos das 7 espécies acumuladoras de óleo vegetal estudadas com base na variável *razão peso da amêndoa/peso do entorno da amêndoa*, recomenda-se apenas 2 espécies, o curuá e o tucumã para atividades extrativistas para ambas as comunidades.

Tabela 3.3 - Recomendações de uso para a mini-usina. Fonte: Oliveira, 2008

Espécies	Média das Razões <i>peso da amêndoa/peso do entorno da amêndoa.</i>	Recomendações de uso na Mini-usina
Babaçu	0,046	Gaseificação
Curuá	0,14	Gaseificação
Tucumã	0,28	Extração de Óleo
Tucumã-açu	0,39	Extração de Óleo
Tucumã í	0,26	Extração de Óleo
Piririma	0,24	Extração de Óleo
Castanha de arara	0,66	Extração de Óleo

Na Figura 3.3, observa-se uma desprezível variância no peso amêndoa de Tucumã-açu, não alcança nem aos 6% de variação o que é conveniente para as análises do óleo contido.

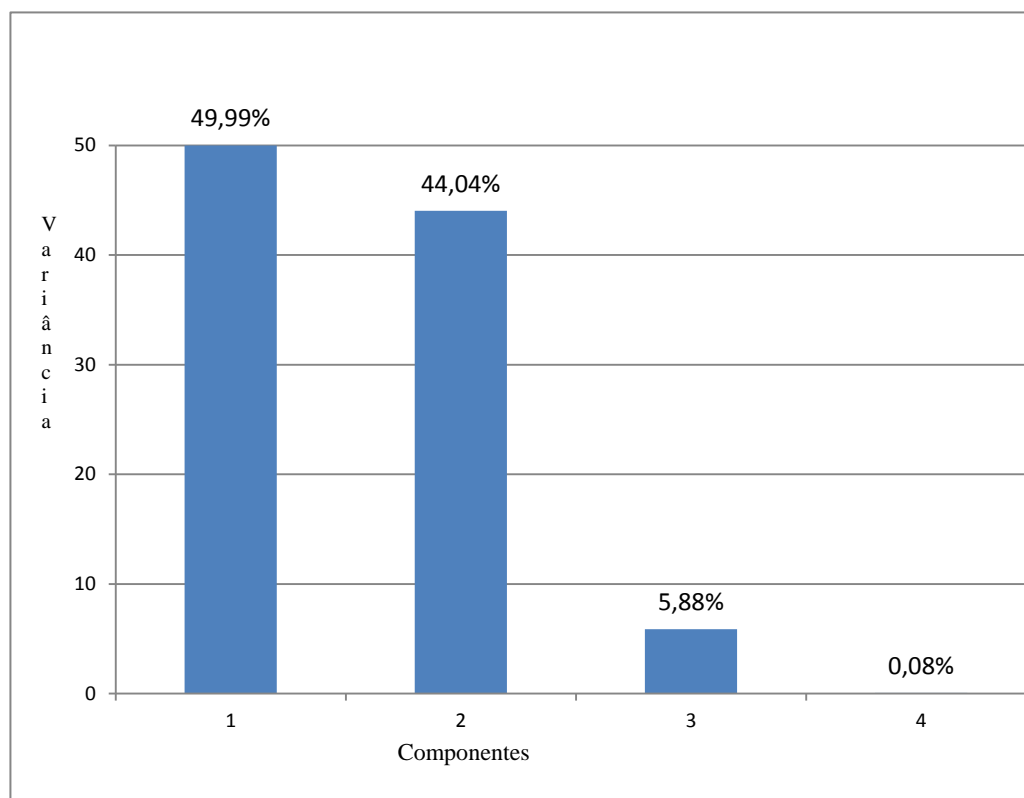


Figura 3.3 Componentes Principais (1= peso total dos frutos, 2 = peso do endocarpo, 3 = peso das amêndoas e 4 = razão p am/p endocarpo da espécie Tucumã açu

Ao observar detidamente os resultados da pesquisa anterior, duas espécies são convenientes para seu aproveitamento em sistemas agroenergéticos, o tucumazeiro (tucumã - açu) e o babaçuzeiro; o tucumã foi a que apresentou as maiores razões entre: peso da amêndoa e peso do entorno, peso da amêndoa e peso do mesocarpo, e a maior frequência de indivíduos por faixa etária, menor variabilidade dos frutos e maior peso da amêndoa. O tucumã apresenta uma média da razão entre peso da amêndoa e peso do mesocarpo e entorno muito maior e portanto um peso da amêndoa também muito superior, isto significa que para a gaseificação o babaçu é apropriado, mas para uma dupla alimentação em motores de combustão interna, o tucumã é o ideal para essas comunidades.

3.2 A IMPORTÂNCIA DO TUCUMÃ NAS VILAS GORETE E ATODI

As Vilas Gorete e Atodi possuem as condições necessárias à implementação de sistemas de geração de energia elétrica mediante a dupla alimentação em motor de combustão interno com o caroço do tucumã para a queima no gaseificador e seu óleo extraído da amêndoa para injeção como combustível direto na câmara de combustão do motor.

As comunidades mencionadas têm uma cultura de colheita e beneficiamento artesanal da palma de tucumã. Os resíduos agroindustriais que são neste caso as amêndoas que constituem lixo que é rejeitado por eles atualmente, e constituem uma excelente alternativa ao uso de oleodiesel, pois podem garantir uma substituição dos 100% do óleo comercial pelo ecológico e sem valor agregado atual.

É importante ressaltar que este trabalho foi concebido com a firme determinação de procurar vias alternativas de fornecimento de energia verdadeiramente sustentáveis, nosso enfoque foi nos subprodutos da palma que não são usados nas comunidades e portanto não interfere no desenvolvimento da cadeia de alimentação do tucumã.

No artesanato se trabalha, basicamente, com a palma de tucumã. São tecidos porta copos, cestas, chapéu, entre outros (SAUDE E ALEGRIA, 2012) como mostrada na Figura 3.4.



Figura 3.4 Exemplos das cestarias feitas com as folhas da palma de tucumã na comunidade Vila Gorete. Fonte: Saúde e alegria, 2012

4. CARACTERIZAÇÃO DO TUCUMA-AÇU

O gênero *Astrocaryum* é encontrado por toda a extensão da América do Sul (Brasil, Venezuela, Guiana Francesa, Suriname, Peru, chegando ao México). No Brasil pode ser encontrado nos estados do Amazonas, Rondônia, Mato Grosso e Acre (LIMA *et al.*, 1986; LORENZI *et al.*, 2004). É também encontrada nos estados de Amapá e Pará. É composto por 24 espécies nativas na Amazônia. Este gênero está subdividido em dois subgêneros: o subgênero *Pleiogynanthus*, caracterizado por varias flores pistiladas na base ráquila, por um fruto pericarpo liso e com folhas pinadas orientada em varias direções; e o subgênero *Monogynanthus*, que foi definido somente por uma flor pistilada na base da ráquila, pelo fruto pericarpo espinhoso e as folhas com pinas regularmente arranjadas em um plano (CALVACANTE, 1996; LE COINTRE, 1931).

Segundo Calvacante, 1996, a espécie Tucumã - Açú é encontrada esporadicamente em pequenas densidades no interior da floresta, mas com grande abundância em áreas abertas como: capoeiras, savanas, pastagens abandonadas e margens de estradas quase sempre em solos pobres e degradados, onde pode chegar a uma densidade de 50 indivíduos/hectare. A pesquisa feita por Oliveira (2008) contradiz Calvacante, no capítulo 3 foi demonstrada uma alta densidade de Tucumã-açu nas Vilas Atodi e Gorete.

Os frutos são produzidos durante o ano todo, porém o pico da produção ocorre nos meses de janeiro a junho.

Uma palmeira típica produz cerca de 50 kg de frutos/ano, mesmo em solos pobres. Em geral, as árvores produzem de 2 a 3 cachos/ano, mas podem produzir até mais de cinco. Cada cacho pesa entre 10 a 30 kg e contém de 200 a 400 frutos, Figura 4.1.



Figura 4.1 Cacho de tucumã. Fonte: Guedes, 2006

O fruto tem superfície lisa e colorida do amarelo até um laranja forte ou próximo de uma coloração avermelhada. O seu formato é ovalado ou esférico. A espessura de seu

mesocarpo se dá entre 2,8 a 10 mm, do endocarpo e da amêndoa, tendo uma consistência mucilagínosa, sendo oleaginosa, com sabor adocicado e aroma característico (LIMA et al. 1986). O fruto do Tucumanzeiro pode ser visto na Figura 4.2.



Figura 4.2 Fruto do Tucumanzeiro. Fonte: Come-se, 2008

A polpa do fruto (mesocarpo) serve para a alimentação humana e de animais domésticos, é considerada uma fonte alimentícia altamente calórica, devido ao elevado conteúdo de lipídios, apresenta ainda quantidade expressiva do precursor da vitamina A, teores satisfatórios de fibra e vitamina E. O óleo extraído da polpa (mesocarpo) é muito apreciado pela população local, consumido *in natura*, ou processado, o que gera um comércio da polpa intenso, representando emprego e renda para milhares de famílias.

Esta palma é explorada e cultivada pelo seu palmito e frutos comestíveis, pela sua madeira usada para fazer brincos, pelo óleo das sementes utilizada em cozinha e também pelas folhas das quais se extrai fibra de tucumã para a confecção de redes e cordas que resistem à água salgada.

É importante ressaltar que o endocarpo de tucumã usado nesta pesquisa como biomassa para gaseificação não interfere em nenhuma das cadeias de alimentação das comunidades estudadas até o momento.

4.1 DADOS MORFOFISIOLOGICOS E FISICO-QUIMICOS DOS COMPONENTES DA PALMA DO TUCUMÃ

Os cocos do tucumã possuem as mesmas características dos outros frutos das demais palmas com a diferença de que a amêndoa não é usada para alimentação devido a sua dureza.

O epicarpo (casca do fruto), é responsável por 17,2 % do peso do fruto fresco maduro. O mesocarpo (polpa) é 21,2 % do peso do fruto fresco maduro e é amarelo-alaranjado, compacto, firme, de 4-8 mm de espessura com grande concentração de óleo e β -caroteno. O endocarpo (caroço) tem 60,5 % do peso do fruto fresco maduro é pétreo, negro, sendo este após a obtenção da polpa, descartado como lixo. A casca do caroço (37,8% do peso do caroço semi-desidratado) *in natura* ou transformada em carvão é um excelente combustível sólido, sobretudo para gaseificação. O endocarpo ainda é caracterizado por conter no interior uma amêndoa (endosperma), que representa 61% do peso do caroço semi-desidratado.

Poucos estudos têm sido realizados a fim de contribuir para a domesticação da palma de tucumã e seu aproveitamento, sendo sua comercialização ainda caracterizada por um mercado meramente local. Vidal et al 2006, já demonstraram que na composição química do fruto do tucumã encontra-se, em média, 46% de umidade, 5% de proteínas, 30% de lipídios, 9% de fibras e 3% em minerais, Tabela 4.1

Tabela 4.1 – Análise dos teores em peso de alguns componentes do fruto de tucumã. Fonte: Vidal et al, 2006.

Teores	Polpa (%)	Caroço (%)	Amêndoa pós extração de óleo (%)	Amêndoa pós extração de óleo (%)
Umidade	72,6	6,51	34,1	34,6
Cinza	2,03	2,92	1,33	1,71
Lipídeos	6,40	2,99	16,5	8,26
Proteína	2,78	4,46	4,28	50,0
Fibra	*	*	*	25,8

* O teor de fibras é determinado após a extração de óleo

Ferreira et. al (2008) fizeram um estudo das proporções nas quais se encontram as distintas partes do tucumã, Tabela 4.2.

Tabela 4.2 Dados morfológicos do fruto de Tucumã. Fonte: Ferreira, et al.2008

Parâmetros	Medias	Ribeiro & Suarez	Morais & Dias
Peso do fruto(g)*	22,01 ± 2,19	20,59	28,85
Comprimento (mm)*	38,50 ± 2,14	38,80	41,00
Diâmetro (mm)*	31,23 ± 1,12	28,90	34,4
Peso do Mesocarpo (g)**	5,68 ± 0,57	6,07	n.d.
Peso do Epicarpo (g)**	6,75 ± 1,00	4,92	n.d.
Peso do Endocarpo (g)**	10,03 ± 1,19	8,01	n.d.
Mesocarpo (%)	25,00 ± 0,57	29,48	29,65
Epicarpo (%)	29,4 ± 1,00	23,90	22,97
Endocarpo (%)	45,6 ± 1,19	38,90	46,21

*e** = medias analisadas de 100 a 300 unidades do fruto, respectivamente.

n.d = valor não determinado.

Do endosperma se extrai um óleo cujos ácidos graxos que compõem os triacilglicerídios são 90 % saturados e de cadeias carbônicas médias e curtas. É reportado na literatura um conteúdo de óleo variando de 34 a 47,5 na polpa e de 20 a 43% na amêndoa.

Em quanto aos teores de lipídios, umidade e cinzas presentes nas amêndoas de tucumã pode-se observar na Tabela 4.3 que a umidade é bem mais baixa do que a do fruto (10% aproximadamente) e a porcentagem de lipídios e quase o mesmo em toda a fruta.

Tabela 4.3 – Teores de lipídios, Umidade e Cinzas das amêndoas de tucumã. Fonte Oliveira, et al. 2011

Amostras	Lipídios (%)	Umidade (%)	Cinzas (%)
1	26,66 ± 0,27	7,56 ± 0,02	1,11 ± 0,00
2	26,64 ± 0,64	7,78 ± 0,11	1,18 ± 0,01
3	23,48 ± 0,72	6,57 ± 0,11	1,13 ± 0,02
4	22,34 ± 0,34	9,69 ± 0,10	1,03 ± 0,04
5	20,75 ± 0,76	11,1 ± 0,21	1,07 ± 0,01
6	19,84 ± 0,45	10,90 ± 0,01	1,29 ± 0,01
7	18,28 ± 0,75	10,86 ± 0,10	1,38 ± 0,01
8	17,37 ± 0,10	10,83 ± 0,03	1,16 ± 0,02
9	22,77 ± 1,10	7,21 ± 0,57	1,15 ± 0,08
10	18,89 ± 0,13	9,77 ± 0,03	1,20 ± 0,00

Na Tabela 4.4 podem ser observadas as propriedades físico-químicas deste óleo segundo a bibliografia consultada.

Tabela 4.4 - Propriedades e índices físico-químicos dos quatro lotes de óleos de amêndoas de tucumã. Fonte: Banny, 2008

Lote	Índice de Acidez	Índice de Saponificação	Índice de Peróxidos	Índice de Iodo
1	37,5 ± 0,4	210,5 ± 0,4	13,9 ± 0,9	2,2 ± 0,2
2	79,4 ± 0,2	245 ± 1	1,4 ± 0,1	4,1 ± 0,8
3	1,98 ± 0,01	216 ± 2	3,6 ± 0,6	0,40 ± 0,04
4	5,0 ± 0,1	218,6 ± 0,7	5,0 ± 0,2	8,3 ± 0,3

Segundo Bittencourt a análise dos ácidos graxos para a gordura da amêndoa apresenta os resultados da Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Ácidos graxos presentes nas amêndoas. Fonte: Bittencourt, 2009

Acido graxo	Porcentagem
Acido Palmítico	7,11%
Acido Mirístico	39%
Castanha de arara	45,31%

Do mesocarpo de tucumã também se extrai um óleo que é considerado comestível, de cor amarela que possui características organolépticas e nutritivas de alto valor para a indústria de alimentos e cosmética.

Essas características moleculares do óleo, o alto rendimento em óleo, o alto consumo da polpa e o descarte do caroço como lixo (estima-se que 5 toneladas por dias são desperdiçadas no estado do Amazonas), facilitam (concentração local da matéria-prima) e favorecem (matéria-prima sem preço) a utilização da amêndoa do tucumã na obtenção do óleo para a produção do combustível (FIGLIOULO *et al.* 2004)

O acido graxo mais importante no óleo da polpa de tucumã Açú, apresenta é o Acido Oleico, com uma proporção de 67,47%. Em segundo lugar encontra-se o Acido Palmítico com uma porcentagem de 24,38%, Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Composição de ácidos graxos do óleo da polpa de Tucumã. Fonte: Ruinardlaan, 2009

Acido Graxo	Átomos de Carbono e ligações duplas	Media (%)
Láurico	C12:0	0,25
Palmítico	C16:0	24,38
Estearico	C18:0	2
Oleico	C18:1	67,47
Linoleico	C:18 Cis 9,12	2,03

O fruto apresenta elevado potencial de pró-vitamina A (caroteno). Ferreira et al. (2008) citam outros frutos exóticos da região Amazônica que se mostram como excelentes fonte de proteínas, fibras e ácidos graxos insaturados.

Esta espécie é muito apreciada pelos moradores das comunidades ribeirinhas do rio Arapiuns pela sua composição em ácidos graxos essenciais, constitui uma dieta rica em Omega 6 e Omega 9, presentes no óleo da polpa em maior quantidade, o que equilibra o organismo, diminuindo os triglicerídeos no sangue, prevenindo de ataque cardíaco, diminuindo a pressão sanguínea e aumentando os níveis de HDL que retira o excesso de LDL dos tecidos. Esta palma é mais apreciada nestes dias, pois as pesquisas recentes determinarem teores importantes de ácidos graxos essenciais no óleo da amêndoa. O ácido Láurico da amêndoa é utilizado como matéria prima na fabricação de shortenings (um tipo de margarina), filled milks (leite com gordura butírica e margarina) (CAVALCANTE, 1996). O tucumã Açú é uma oleaginosa que se pode tornar um potencial para a Amazônia e para a agroindústria (BITTENCOURT, 2009).

5 TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE TUCUMÃ E NORMAS APLICADAS NA CARACTERIZAÇÃO DO TUCUMÃ

Neste capítulo serão apresentadas as facilidades experimentais, os métodos, os meios e as normas que servirão de base para a parte experimental da pesquisa que será apresentada no capítulo seguinte.

5.1 DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

5.1.1 Prensa Hidráulica

A Figura 5.1 mostra uma prensa hidráulica para extração a frio. A extração é feita mediante prensagem mecânica manual das sementes previamente moídas.



Figura 5.1 Prensa hidráulica para extração de óleos. Fonte: Queiroga, 2011

5.1.2 Soxhlet

Para fazer uma extração mais rigorosa e determinar a quantidade exata de óleo na amostra, basta fazer a extração à escala de laboratório usando o aparelho chamado de Soxhlet, Figura 5.2. Este equipamento utiliza refluxo de solvente em um processo intermitente. A amostra não fica em contato com o solvente muito quente, porém ocorre um gasto excessivo de hexano, pois o volume total deve ser suficiente para atingir o sifão. O Soxhlet também

pode ser usado com outros solventes dependendo da amêndoa, pode ser etanol que é mais barato, mais para a extração de sementes de tucumã o ideal é o hexano. Também podem ser usadas misturas dos solventes.

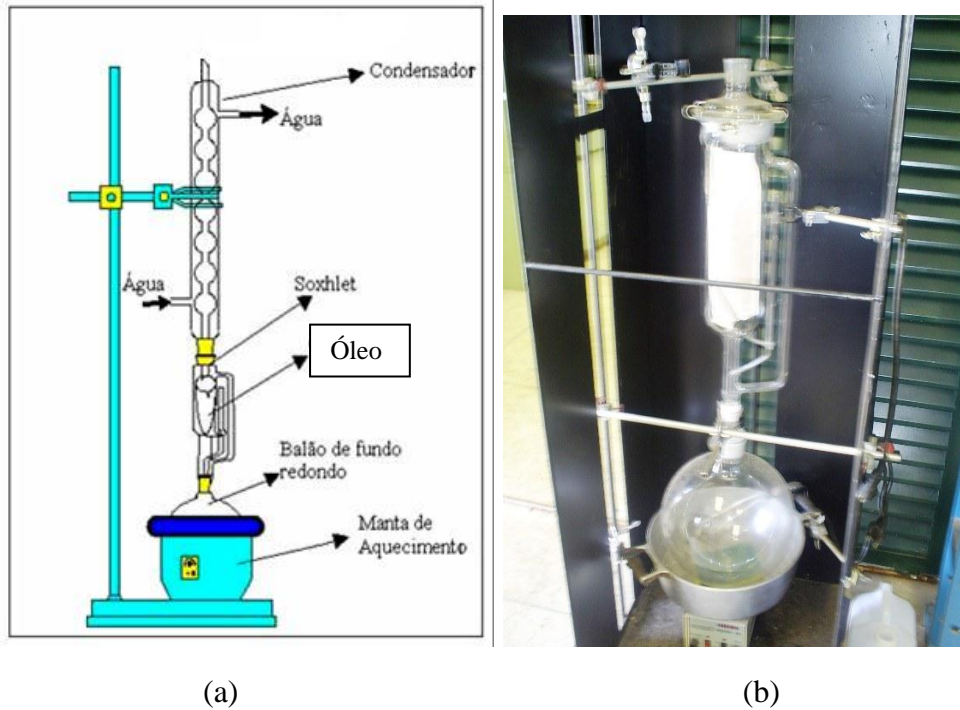


Figura 5.2 Soxhlet (a) Esquema (b) Foto (Laboratório de Biocombustíveis, Instituto de química, UnB)

Finalmente, para fazer a extração num equipamento com um rendimento algo maior que o sohltext de laboratório, foi usado um Soxhlet semi-industrial mostrado na Figura 5.3.



Figura 5.3 Soxhlet semi-industrial (Laboratório de craqueamento térmico. Instituto de química. Unb)

Para um ótimo uso desta técnica primeiramente se fez a preparação da amêndoa com um tamanho adequado para a extração quebrando os endospermas e torrando os por uma hora a 100 °C para diminuir a umidade, logo da sua moenda. Logo se fez a pesagem do pó e introduziu-se 2 kg no equipamento (Soxhlet semi-industrial) a 60°C durante 10 min. com recirculação manual e repetindo o procedimento 5 vezes o até o hexano sair sem resíduos de óleo.

5.1.3 Rotoevaporador

Para retirar os restos de hexano e água do óleo foi preciso usar um rotoevaporador, sob pressão reduzida, a cerca de 50°C, Figura 5.4; neste aparelho os restos da água e hexano saem e o óleo fica, pois ele tem uma temperatura de ebulição muito maior do que a de o hexano (gradiente de volatilidades).



Figura 5.4 Rotoevaporador sob pressão reduzida

5.2 MÉTODO PARA A EXTRAÇÃO DE ÓLEOS

A literatura consultada não apresenta um método específico para extração de óleo do endosperma da palma tucumã, por isto foi desenvolvido um procedimento próprio.

- a) Despolpar a amostra dos frutos *in natura*, removendo as porções do epicarpo e mesocarpo,

- b) Distribuir em bandejas para desidratação em estufa com temperatura de 80°C durante 2 horas;
- c) Resfriá-las em temperatura ambiente e, posteriormente, triturá-las em processador doméstico até a obtenção de um pó.
- d) A extração de óleo pode ser efetuada por meio de processo físico de prensagem a temperatura ambiente, com pressão inicial e final, respectivamente, de 3 e 12 toneladas, em prensa hidráulica. O óleo obtido da torta deve ser armazenado em vidro âmbar e estocado em temperatura ambiente.
- e) A torta obtida deste processo tem que ser removida, embalada em plástico de polietileno e mantida sob refrigeração a 4°C para análises posteriores.

Os três tipos de extração foram realizados no Laboratório de Craqueamento Térmico do Instituto de Química. Primeiramente, usou-se uma prensa similar à mostrada na Figura 5.1, a qual foi montada e desmontada na hora só para fazer uma pequena experiência que não resultou muito satisfatória devido a que a película que cobre o endocarpo de tucumã ficou dentro da prensa exercendo uma forte pressão nas paredes no momento da extração e queimou-se gerando produtos indesejáveis que forem misturados ao óleo. Logo, repetiu-se a experiência mediante o uso do Soxhlet de laboratório e Soxhlet semi-industrial descritos nas Figuras 5.2 e 5.3, para calcular a quantidade exata de óleo na amêndoa e para a extração total.

Ao final de todos estes procedimentos, obteve-se o óleo *in natura* do endosperma do tucumã usado nesta pesquisa como combustível no motogerador.

5.3 MÉTODOS E MEIOS ANALÍTICOS PARA CARACTERIZAÇÃO DE BIOMASSA

As normas e as técnicas vigentes usadas neste trabalho para as seguintes caracterizações são:

- a) Método Brasileiro para análise imediato da biomassa (MB-15)
- b) Método oficial da AOCS para o cálculo do índice de acidez (AOCS- Cd 3d – 63,1977)
- c) Norma para o cálculo da massa específica (Norma ASTM D369-84)
- d) Norma para o cálculo do Índice de Cetano (ICC) desenvolvida por um grupo da ASTM (American Society for Testing Materials), (Norma ASTM D 976)
- e) Norma brasileira para o cálculo do Poder Calorífico Superior (NBR 8633)
- f) Metodologia para o cálculo da viscosidade cinemática (LOVE 1977)

5.3.1 Método Brasileiro para a análise químico imediato da biomassa (MB-15)

Este método fixa o modo pelo qual deve ser feita a determinação da composição imediata do carvão, para um melhor conhecimento do material que se considera.

A análise imediata do carvão abrange a determinação das seguintes características:

a) Umidade, b) Matéria Volátil, c) Carbono Fixo, d) Cinza, e) Enxofre

a) Umidade

Obter a massa, com aproximação de 1 mg, de 1 a 2 g do carvão passado por peneira 60 * num cadinho sem tampa. Colocar na estufa a 105°C durante hora e meia. Retirar da estufa, colocar num dessecador e deixar esfriar até a temperatura ambiente. Medir novamente a massa com a mesma aproximação.

b) Matéria volátil (Tv)

È a parte do combustível que se separa em forma gasosa durante o aquecimento do mesmo. É composto de hidrocarbonetos eventualmente presentes na estrutura sólida e outros gases, que são formados num processo de pirólise, tais como o hidrogênio, monóxido de carbono e metano. O teor de voláteis tem influência no comprimento de chama, no acendimento e no volume necessário da fornalha.

A porcentagem de matérias volátil é determinada a partir do carvão previamente seco pelo método da umidade.

- O aquecimento deve ser feito em uma mufla a 950°C sob os seguintes passos:

- ✓ Com a porta da mufla aberta, por os cadinhos, por dois minutos na parte externa da mufla sobre a porta (temperatura aproximadamente 300C);
- ✓ Por três minutos, colocar os cadinhos na beira da abertura da mufla ainda com a porta aberta (temperatura aproximadamente 500C);
- ✓ Finalmente, colocar as amostras no fundo da mufla por seis minutos, com a porta fechada.
- ✓ Esfriar as amostras no dissecador por 20 min. e pesar, e através da fórmula determinar o teor de voláteis.

Dá-se por encerrada a determinação da matéria volátil quando a chama amarela torna a ficar azul novamente. O cálculo da porcentagem de matéria volátil Tv é dado pela equação 5.1;

$$Tv = (1 - m_3/m_2)100 \quad (5.1)$$

Onde,

m_2 = massa de cadinho + massa de carvão depois da retirada umidade na estufa

m_3 = massa de cadinho + massa de carvão depois de retirada da determinação de voláteis.

c) Carbono Fixo (Tcf)

O carbono fixo e o resíduo combustível deixado após a liberação do material volátil. Compõe-se principalmente de carbono, embora possa conter outros elementos não liberados durante a volatilização. As cinzas englobam, todos os minerais incombustíveis e é composta basicamente de óxidos, tais como a alumina, óxido de cálcio, óxido de magnésio, etc. A umidade presente no combustível sólido é importante para determinação de seu poder calorífico inferior.

A determinação do carbono fixo é feita por diferença. Calculadas as porcentagens de umidade, de matéria volátil (propriamente dita) e de cinza, a diferença entre 100 e a soma dessas três porcentagens dará a porcentagem do carbono fixo.

$$T_{cf} = 100 - (T_v + T_{cinzas}) \quad (5.2)$$

Tcf: Teor de carbono fixo

Tv: Teor de voláteis

Tcinzas: Teor de cinzas

d) Cinza (Tcinzas)

O teor de cinzas é determinado pela combustão do resíduo a 750° C, por seis horas na mufla.

Terminada a incineração, retirar o material da mufla, e colocar num dessecador por 20 min.

Após resfriado medir a massa com a mesma aproximação inicial, calcular o teor de cinzas, Equação 5.3.

$$T_{cinzas} = 1 - m_4/m_3 \quad (5.3)$$

m_3 = massa antes do experimento

m_4 = massa após o experimento

e) Enxofre

A determinação do enxofre pode ser feita por um dos dois processos seguintes:

i) Pelo processo clássico de Eschka, mede-se a massa com aproximação de 1 mg, de 0,5 a 2,0 g de carvão e adiciona-se o triplo as massa de mistura de Eschka;

ii) Pelo processo da bomba calorimétrica, que pode ser usado qualquer teor de enxofre e indicado quando o teor presumível é superior a 8%:

ii1) medir a massa de 0,5 a 2,0 g de carvão;

ii2) colocar na bomba, com alguns centímetros cúbicos de água destilada;

ii3) queimar em oxigênio a 30 atmosferas;

ii4) depois da combustão, manter a bomba fechada durante cerca de 20 minutos; em seguida, deixar escapar os gases, abrir, lavar cuidadosamente com água o interior da bomba, devendo-se ter cuidado de lavar o anel de chumbo com alguns centímetros cúbicos de solução quente de carbonato de sódio a 10%.

ii5) reunir as águas da lavagem e adicionar cerca de 20 cm³ de ácido clorídrico;

ii6) ferver e filtrar;

ii7) juntar cloreto de bário necessário à precipitação dos sulfatos;

ii8) dosar, como habitualmente, o enxofre sob essa forma.

5.3.2 Método para o cálculo do índice de acidez (AOCS - Cd 3d - 63)

Os ácidos graxos (AG) participam da constituição dos mono, di e triglicerídeos, principais constituintes dos óleos e gorduras. Os ácidos graxos não passam de ácidos carboxílicos que apresentam uma característica que os diferenciam dos demais constituintes desse grupo: cadeias longas e insaturadas. Por serem ácidos carboxílicos, os ácidos graxos podem ser neutralizados por ação de uma base forte. Se os AG são constituintes dos óleos e gorduras, na forma de mono, di e triglicérides, uma grande quantidade de AG livres indica que o produto está em acelerado grau de deterioração. A principal consequência disso é que o produto torna-se mais ácido. Um elevado índice de acidez indica, portanto, que o óleo ou gordura está sofrendo quebras em sua cadeia, liberando seus constituintes principais, os AG, e é por esse motivo que o cálculo desse índice é de extrema importância na avaliação do estado de deterioração (ranceis hidrolítica).

Cálculo do Índice de Acidez:

a) Reagentes e soluções

-solução de éter etílico e etanol 95%, na proporção de 2:1

- solução indicadora de fenolftaleína 1%

- solução de hidróxido de sódio (NaOH)1M óleo

b) Preparo da solução indicadora de fenolftaleína: dissolver 0,1 g de fenolftaleína em 10 mL de etanol 95%.

b1) Pesar 28 g de amostra de óleo em erlenmeyer de 250 mL (realizar procedimento em triplicata);

b2) A cada um dos erlenmeyer adicionar 50 mL da solução éter-álcool (2:1) e 3 gotas do indicador;

b3) Titular com hidróxido de sódio 0,1M até o aparecimento de coloração rósea (a coloração deve persistir por, no mínimo, 30 segundos para que seja considerado o fim da titulação). Anotar o volume de base gasto para cada amostra.

c) Calcular o índice de acidez (IA). O volume de base que será utilizado no cálculo do índice de acidez (IA) será a média dos três valores obtidos com a realização da triplicata.

Para X g de óleo de tucumã foram gastos Y mL de NaOH

A solução e 1M indica que:

$$x = Y \text{ mL} \cdot 1 \text{ mol de NaOH} * \frac{1}{1000 \text{ mL}}$$

Então,

$$m = x \text{ gmol de solução} * \frac{40 \text{ g}}{1 \text{ gmol}}$$

$$I_A = m / X$$

5.3.3 Norma para o cálculo da massa específica (Norma ASTM D369-84)

Faz-se a medição da massa do picnómetro vazio e depois se introduz óleo, pesa-se o picnómetro com a massa de água e com a massa de óleo e se faz a relação:

$$\text{Densidade relativa} = \text{massa do liquido} / \text{massa da água} \quad (5.4)$$

$$\text{Densidade corrigida} = \text{massa do liquido} / \text{volume do liquido} \quad (5.5)$$

m_1 = massa do picnómetro vazio

m_2 = massa do picnómetro com água

m_3 = massa do picnómetro com óleo

massa da água = $m_2 - m_1$

massa do liquido = $m_3 - m_1$

5.3.4 Norma para o cálculo do Índice de cetano (Norma ASTM D 976)

O número de cetano (CN) é um indicador da quantidade de ignição dos combustíveis utilizado em notas diesel e conceitualmente semelhante ao número de octanos utilizado para a gasolina. O CN de um combustível para motores diesel está relacionado com o tempo de demora da ignição (ID) ou seja o tempo entre a injeção do combustível no cilindro e início da ignição. Por tanto quanto menor o ID maior deve ser o CN. O valor de CN diminui com a diminuição do comprimento da cadeia e com a ramificação crescente. O índice de cetano (ICC) apresenta relação com o número de cetano e é determinado pelas refinarias, distribuidoras e revendedoras como substituto do mesmo, pela sua praticidade. É calculado a partir da densidade e temperaturas da curva de destilação de 10%, 50% e 90% do produto.

Existe uma equação que utiliza apenas duas variáveis para o cálculo do ICC desenvolvida por um grupo da ASTM (American Society for Testing Materials), apresentada na norma ASTM D 976, também conhecida como ICC de dois parâmetros.

$$ICC = 454,74 - 1641,416D + 774,74D^2 - 0,554T_{50} + 97,803(\log T_{50})^2 \quad (5.6)$$

Onde:

D = densidade a 15°C, (g/cm³)

T₅₀ = temperatura da destilação de 50% do produto, (°C)

5.3.5 Metodologia para o cálculo da viscosidade (LOVE 1977)

Reduzir a viscosidade é a primeira razão pela qual os óleos vegetais ou gorduras são transesterificados formando o biodiesel a alta viscosidade dos óleos vegetais ou gorduras afeta o processo de atomização de um combustível formando depósitos no motor. A viscosidade do biodiesel é ligeiramente superior ao do diesel mas cerca de uma ordem de grandeza inferior a ao do óleo natural (Dum e Knothe, 2001). A viscosidade aumenta com o comprimento da cadeia e com o grau de saturação.

- Cálculo da Viscosidade cinemática

A viscosidade cinemática determinou-se com viscosímetro de Ostwalt marca Cannon-Fensk na temperatura de 38°C que é a temperatura da resolução ANP 07/2008 mantida constante por um banho de viscosidade cinemática.

Colocou-se cerca de 7 mL da amostra no viscosímetro e determinou-se o tempo de escoamento desta amostra em segundos. Admite-se um erro relativo de 2%. Para se calcular a viscosidade cinemática de cada amostra utilizou-se a seguinte expressão (Eq. 5.7).

$$v(cSt) = t \cdot k \quad (5.7)$$

v = viscosidade cinemática (cSt)

t = tempo de escoamento indicados no viscosímetro (s)

k = kcte do viscosímetro

5.3.6 Norma brasileira para o cálculo do Poder Calorífico (NBR 863)

O poder calorífico e a quantidade de energia liberada na forma de calor durante a combustão completa da unidade de massa do combustível em kJ/kg. O poder calorífico inferior só pode ser encontrado se for determinado o superior. Para isto dois métodos são possíveis, utilizando-se uma bomba calorimétrica o através de análise elementar.

O poder calorífico superior e obtido em base seca. O ensaio consiste em queimar 1 grama da amostra de biomassa seca e triturada e oxigênio em um ambiente fechado e mergulhado numa massa de água que possui sua temperatura monitorada. A quantidade de calor liberada pela combustão da amostra e absorvida pela água a qual tem sua temperatura elevada. Quando a temperatura da água estabiliza-se a quantidade de calor e calculada pela expressão 4.8.

$$Q_r = m_{H_2O} \times C \times (T_{final} - T_{inicial}) \quad (5.8)$$

Onde m_{H_2O} e a massa de água, C e o calor específico da água e T_{final} e $T_{inicial}$ são as temperatura final e inicial da água. Assumindo que a quantidade de calor absorvido pela água e igual ao calor de reação, e dividindo esse valor pela massa da amostra se obtêm o PCS do combustível (NEITZKE, 2010).

6. RESULTADOS EXPERIMENTAIS E ANÁLISE

Neste capítulo serão apresentados os resultados experimentais obtidos em laboratório, utilizando os equipamentos, os métodos e as normas apresentadas no capítulo 5. Os experimentos foram realizados utilizando dois lotes de Tucumã-Açu, oriundos das comunidades do rio Arapiuns na região de Santarém, Pará, são apresentadas as características físico-químicas da semente e do óleo obtido do endosperma de tucumã bem como dos ensaios em motores de combustão interna. Incluem aqui os tipos de ensaios em motores que foram feitos.

6.1 DADOS MORFOFISIOLÓGICOS DA SEMENTE DE TUCUMÃ

Para o cálculo ou a determinação das características morfofisiológicas dos tucumãs não existe na literatura um procedimento. O passo a passo utilizado nesta pesquisa foi:

- a) Classificação das sementes
- b) Separação das partes do endocarpo (caroço e amêndoa)
- c) Pesagem de cada uma das partes por unidade e por lotes
- d) Determinação da quantidade de amêndoas necessárias para fazer 1 kg de endosperma
- e) Determinação da quantidade de casca necessária para fazer 1 kg de endocarpo
- f) Introduzir dados em tabelas e gráficos

Forem pesquisados dois lotes (lotes I e II) de tucumãs que forem recebidos desde os acampamentos ribeirinhos de Pará, objetos deste estudo. Os resultados da aplicação do procedimento indicado forem os seguintes:

6.1.1 Lote I (70 kg de tucumã)

Tem-se disposto de 70 kg no primeiro lote de tucumã sem polpa originária da Amazônia. Foram separados 35 kg de tucumã, selecionados os de melhor estado, quebrados manualmente durante varias semanas e com muito esforço, pois não se dispunha de outro meio de separação. Logo de varias semanas forem obtidos 24,5 kg de endocarpo e 10,5 kg de amêndoas. Foram realizadas as pesagens de vários lotes de 20 tucumãs para determinar o peso médio por lote, logo se encontraram diferentes relações entre os pesos da casca e a amêndoa. Foi determinada que para 1 kg de endocarpo faz-se necessário 67 frutos, e para 1 kg de amêndoa 168 tucumãs dos quais 80 dão 1 kg de casca, Tabela 6.1.

Tabela 6.1- Relação dos pesos tucumã sua amêndoa e casca

Quantidade	Peso
80	1 kg de endocarpo sem endosperma
168	1 kg amêndoa
67	1 kg de endocarpo

Dos 100 por cento da fruta sem polpa de tucumã se comprovou que o peso do endocarpo é só um pouco a mais da metade e por tanto o do endosperma encontra-se relativamente na mesma proporção, Tabela 6.2.

Tabela 6.2- Pesos médios e percentuais do fruto, casca e amêndoa

Descrição	Peso Médio (g)	Percentual
Endocarpo (fruto sem polpa)	21,75	100
Endocarpo sem endosperma (entorno da amêndoa)	12	55,17
Endosperma (amêndoa)	9,75	44,83

Depois da pesagem de vários tucumã comprovou-se uma média de 5,623 gramas, Tabela 6.3.

Tabela 6.3 - Pesos de distintos tucumã e media

Tucumã	1	2	3	4	5	6	7	8	MEDIA
Peso(g)	5,31	5,34	6,22	5,62	7,11	8,07	7,49	24,3	8,68

Na Figura 6.1 pode se constatar melhor as diferencias nos pesos dos distintos tucumãs e que só um deles apresenta características morfofisiológicas diferentes aos outros.

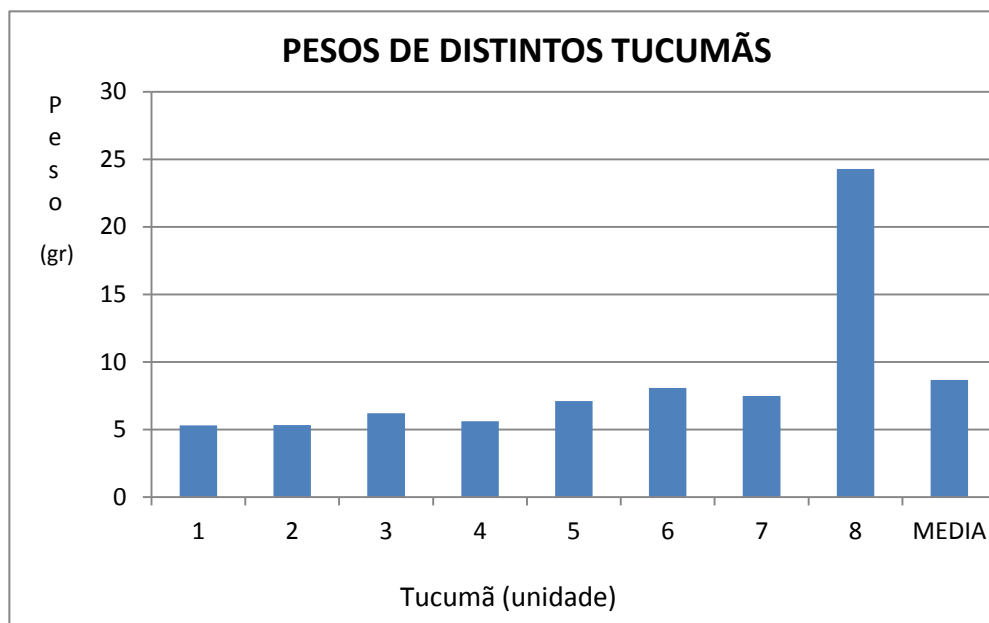


Figura 6.1- Pesos de distintos tucumã e média

Pode ser observada no gráfico anterior uma variação muito baixa entre os pesos dos distintos tucumãs, dado conveniente para uma projeção apropriada do gaseificador a ser empregado.

Para fazer uma apreciação melhor em quanto à variação dos pesos de cada um deles se fez a pesagem de 20 lotes de tucumãs.

O peso médio de 20 tucumãs foi de 326,5 gramas, Tabela 6.4.

Tabela 6.4 - Pesos de distintos lotes de 20 tucumãs

Lote	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Media
Peso (g)	245,3	275,3	304,6	317,8	325,2	325,2	332	340,4	386,6	412,4	326,5

Na Figura 6.2 pode ser observada a pouca variação entre os pesos dos distintos lotes de tucumãs.

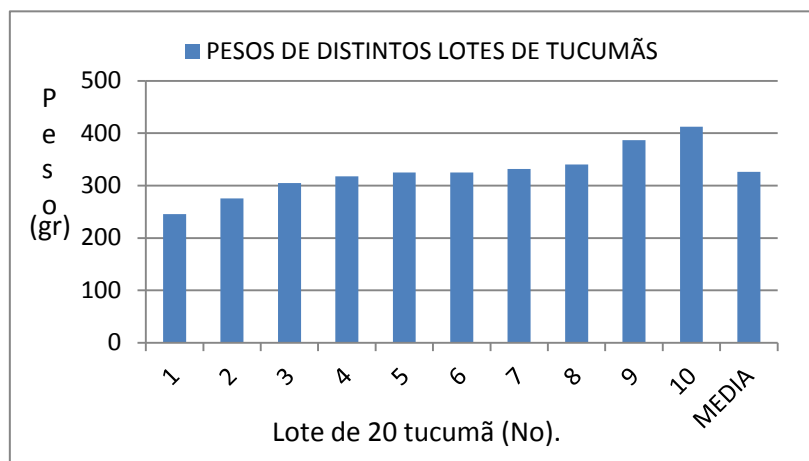


Figura 6.2 Relação dos distintos pesos de diferentes lotes de 20 tucumãs e media

Para fazer uma melhor interpretação dos resultados dos dados morfofisiológicos, é preciso estabelecer parâmetros de comparação entre os pesos dos componentes do tucumã, em primeiro lugar se fez uma tabela com os pesos destes componentes, Tabela 6.5.

Tabela 6.5 - Relação dos pesos (grames) dos cocos completos, o entorno e amêndoas

Tucumã (g)	Endocarpo (g)	Entorno da amêndoa (g)	Amêndoa (g)
1	7.61	5.31	2.28
2	8.49	5.34	3.15
3	9.06	6.22	2.72
4	11.93	8.07	3.86
5	40.39	24.30	16.09
6	29.36	18.45	16.15
Media	17,85	11,28	7,37

As distintas pesagens indicarem que a media das razoes peso da amêndoa/peso do entorno (caroço) é, aproximadamente:

$$\text{Peso amêndoas/peso entorno} = (7,37/11,28) = 0,65$$

Para calcular a proporção do endosperma solido no endocarpo se faz a relação:

$$\% \text{ endosperma} = (\text{Peso da amêndoa/peso endocarpo}) \times 100 \quad (6.1)$$

$$\% \text{ endosperma} = 0,41$$

Estabelecendo comparações com os dados da bibliografia consultada, o primeiro lote de tucumã apresenta características fisiológicas diferentes á pesquisa oleaginosa feita por Oliveira (Tabela 3.8) onde a relação entre o endosperma solido e o endocarpo do tucumã -açú foi de 0,39. No entanto, estes resultados fortalecem as recomendações feitas pela pesquisadora de uso de tucumã em mini usinas pois a porcentagem da amêndoa e consideravelmente alto.

6.1.2 Lote II (60 kg)

Dos 30 Kg de tucumãs darão 13,5 kg de amêndoas. Logo forem recebidos 30 kg de outro grupo de tucumãs mais novos, ainda com endosperma líquido, e forem feitos os mesmos procedimentos, os resultados forem:

Peso médio lote 20 tucumã: 0,56 Kg

Relação peso amêndoa/peso tucumã sem polpa: 0,55

Total de 1363 indivíduos

No segundo lote a porcentagem da amêndoa (endosperma) no endocarpo é de 55.17%

6.2 RESULTADOS DA EXTRAÇÃO DE ÓLEO

A extração de óleo se fez também para cada um dos lotes recebidos a distintos tempos de Pará. O primeiro foi em marco de 2010 e o segundo dois meses após.

6.2.1 Resultados Lote 1 (extração)

Depois da separação e a pesagem feitos para a caracterização; foi realizada a trituração dos cocos num moinho, onde se teve uma perda de 2 kg. Tomou-se uma amostra de ½ kg para fazer uma prova na prensa hidráulica e conseguiu-se extrair 20% do óleo contido. Para extrair o óleo mais eficientemente foi efetuada uma extração sólido - líquido com solvente (hexano) de 2 kg de amêndoa moída dentro de o extrator com refluxo a contracorrente com cinco extratores onde se efetuou a recirculação a cada dez minutos extraindo cinco vezes o hexano de cada extrator e introduzindo-o em outro, ou seja, proporcionando uma recirculação manual para melhorar a eficiência entre 50 e 60 graus de temperatura. Ao final, introduziu-se em cada extrator hexano puro em duas oportunidades até observar um hexano limpo na saída do processo como indicativo da carência do óleo nas amostras.

Para 1 litro da mistura com hexano, obteve-se 400 mL de óleo no rotoevaporador, depois se fez uma segunda extração por meio da linha de vácuo para extrair a água e o hexano restante e obter 250 mL de óleo. Com 1 litro da mistura óleo- hexano obtém-se 240 mL de óleo com água e restos de hexano que foi levado ate o sistema de Baco e depois se conseguiu com 1 kg de amêndoas obter 120 mL de óleo. Com isto, cheguei à dedução de que para um litro de óleo faz-se necessário 8,333 kg de semente de tucumã. Para a quebra e processamento das sementes, e melhor aquecer a semente a 200 °C por 1 hora para facilitar as operações.

6.2.2 Resultados Lote II (extração)

Depois de pesados e moídos os novos tucumãs, tentou-se fazer a extração do óleo, mas não foi possível, pois os tucumãs frescos têm uma umidade relativa alta. Foram levados ao forno por uma hora a 80 °C (o peso das amêndoas diminuiu uns 10 % depois da torrada).

A extração foi feita apenas para 12,15 kg de amêndoas colocadas novamente no aparelho de extração com hexano e foi uma boa extração, o processo resulta mais eficiente após a linha de vácuo. Finalmente foram obtidos, aproximadamente, 2 litros a mais de óleo provenientes deste novo processo. A eficiência aumentou num 30% pois da primeira extração conseguiu - se extrair um 11,5 % e do segundo lote um 15% devido à qualidade dos frutos, a maior razão peso amêndoa/peso tucumã e também a melhoria da eficiência dos técnicos na cadeia dos processos.

Recomenda-se para o processamento *in situ* deixar os tucumãs aquecer no sol antes do tratamento para melhores resultados. Deve-se fazer uma seleção dos cocos, conservando-os num lugar seco e se possível limpo da lagarta que se habituou a este fruto.

A figura 6.3 mostra os três litros de óleo tirados dos, aproximadamente, 130 kg de tucumãs. Observa-se que a 25°C, aproximadamente, o óleo se apresenta numa fase sólida pelo feito de ter uma temperatura de fusão é superior a 30 °C.



Figura 6.3 – Óleo extraído da castanha de Tucumã

6.3 RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DO TUCUMÃ

Tendo apresentado no capítulo anterior as referências pertinentes as normas e métodos de caracterização da biomassa sólida e líquida, apresentam-se os resultados obtidos da aplicação das mesmas.

6.3.1 Cálculo da umidade da biomassa sólida

O análise imediato foi feito para ter em conta no balanço de energia e também porque são dados necessários para a interpretação das gráficas obtidas do comportamento do combustível na geração de energia.

Para o cálculo da umidade, a amostra é moída e classificada em uma peneira de 60 mesh e a umidade é determinada secando-se a amostra a 105°C em uma estufa, e determinando-se a perda de massa.

$$\% \text{Umidade} = \text{peso 1} / \text{peso 2} \times 100 = 13.47 \%$$

A bibliografia consultada reporta uma umidade do caroço de tucumã de 6,51%. Dos resultados desta pesquisa è as outras se demonstra para todos os casos este parâmetro è convenientemente para a gaseificação, inferior aos 20%. O teor de umidade da biomassa combustível deve ser reduzido, diminuindo assim o manejo e o custo de transporte, agregando valor ao combustível. A presença da umidade torna inevitável a perda de calor nos gases de combustão em forma de vapor de água. Quanto maior o conteúdo de umidade, menor é o seu poder de combustão, devido ao processo de evaporação da umidade, o qual absorve energia em combustão (RODRIGUES, 2008).

6.3.2 Cálculo da densidade da biomassa solida

Para o cálculo da densidade do endosperma de tucumã, foi selecionado um endosperma médio de 4 cm de diâmetro e 9,06 grams de peso.

Como o caroço do tucumã tem forma definida pode ser determinada mediante a formula da massa especifica de um solido:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (6.2)$$

Como a biomassa estudada tem forma de esfera, o volume foi calculado mediante a seguinte formula trigonométrica para uma esfera:

O volume de uma esfera é

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 \quad (6.3)$$

O radio do endosperma de tucumã é

$$r_1 = 2 \text{ cm}$$

$$V_1 = 33,51 \text{ cm}^3$$

Este volume tem que ser restado ao volume do endosperma

O radio do endosperma é

$$r_2 = 1,5 \text{ cm}$$

Então, o volume do endosperma será:

$$V_2 = 14,14 \text{ cm}^3$$

Para determinar ao final a densidade, se restam os volumes obtidos e se aplica a formula da densidade:

$$V_1 - V_2 = 19,37$$

$$\rho = 0,47 \text{ g/ cm}^3$$

É recomendável nos gaseificadores de tipo dowdraft uma densidade superior a 500 kg/m^3 , comprovou-se para o caroço de tucumã um valor bem próximo ao peso por unidade de volume desejável para esta tecnologia. Um valor elevado da massa específica em um combustível sólido agrega valor energético ao passo que uma quantidade maior de massa (energia) está confinada por unidade de volume. Não há correlação entre densidade básica e o poder calorífico. Há, porém, uma forte relação do volume de biomassa a ser gaseificado e o conteúdo energético. Dessa forma, a densificação de biomassa torna-se uma interessante estratégia para agregar valor a este combustível (RODRIGUES, 2008)

6.3.3 Cálculo da viscosidade cinemática do óleo de tucumã

Viscosidade cinemática: $K_{tte} \text{ do viscosímetro} \times \text{tempo} = 15.22 \text{ vsct}$

A viscosidade cinemática tem influencia no escoamento do óleo nas linhas de combustível, diminuindo as perdas de carga e também contribuindo para uma melhor pulverização do combustível pelo bico injetor.

A maior dificuldade que teremos enquanto o motor funciona com óleos vegetais será em função da viscosidade dos mesmos. Porém se aumentarmos a temperatura destes óleos mediante um pré-aquecimento teremos condições de viscosidade bem próxima ao do óleo Diesel que esta entre 1,6 e 6 vsct.

6.3.4 Cálculo do índice de acidez do óleo

A acidez do óleo de tucumã e è identificada por meio de três ensaios os quais demonstro nos subitens seguintes.

a) Resultados do cálculo de acidez, Ensaio 1

Para 1,01 g de óleo de tucumã foram gastos 0,75 mL de NaOH

A solução é 1M indica que:

$$x = 0,75 \text{ mL} * 1 \text{ gmol de NaOH} * \frac{1}{1000 \text{ mL}} = 0,00075 \text{ gmol de solução}$$

Então,

$$m = 0,00075 \text{ gmol de solução} * \frac{40 \text{ g}}{\text{gmol}} = 0,03 \text{ g}$$

$$m = 0,03 \text{ g} = 30 \text{ g de NaOH}$$

$$IA_1 = 30/1,01 = 29,7 \text{ mg NaOH/g de óleo}$$

b) Resultados de índice de acidez, Ensaio 2

Para 1,036 g de óleo de tucumã foram gastos 0,8 ml de NaOH

$$IA_2 = 30,9 \text{ mg NaOH/g de óleo}$$

c) Resultados de índice de acidez, Ensaio 3

Para 1,043 g de óleo de tucumã se foram gastos 0,75 mL de NaOH

$$IA_3 = 28,76 \text{ mg NaOH/g de óleo}$$

d) Cálculo de índice de acidez médio do óleo de tucumã

A media dos 3 valores obtidos para o Índice de Acidez resultaria:

$$IAM = (IA_1 + IA_2 + IA_3)/3 = 29,8 \text{ mg NaOH/g de óleo}$$

Pelo geral, o índice de acidez dos óleos vegetais é muito mais alto do que o diesel de petróleo pelo que é conveniente tomar medidas para diminuí-lo e evitar o deterioro do óleo devido ao aumento da acidez.

6.3.5 Cálculo da massa específica do óleo

Fez-se a medição da massa do picnómetro vazio e depois se introduz 22.04 mL de óleo, pesou-se o picnómetro com a massa de água e com a massa de óleo e se fiz a relação:

$$\text{Densidade relativa} = \text{massa do liquido}/\text{massa da água} \quad (6.4)$$

$$\text{Densidade corrigida} = \text{massa do liquido}/\text{volume do liquido} \quad (6.5)$$

$$m_1 = 20.5 \text{ g} \text{ massa do picnómetro vazio}$$

$$m_2 = 45.5 \text{ g} \text{ massa do picnómetro com água}$$

$$m_3 = 43.4 \text{ g} \text{ massa do picnómetro com óleo}$$

$$\text{massa de H}_2\text{O} = 25 \text{ g}$$

$$\text{massa do liquido} = 22 \text{ g}$$

Densidade relativa = 0,92 g/mL

Densidade corrigida = 1,03 g/mL

Na bibliografia consultada esta densidade foi determinada pelo mesmo método a 24°C e resultaram 1,3 g/mL (VIDAL, et al., 2006)

Para endocarpo de tucumã se obteve: um teor de umidade de 13,47% e uma densidade de 0,47 g/cc e para o óleo de tucumã uma viscosidade cinemática de 15,232 vsct, e uma densidade relativa é 0,92 g/mL, a densidade corrigida a 24 °C foi de 1,038g/mL e do método da AOCS para o cálculo do índice de acidez resultou 29,78 mg NaOH/g de óleo.

Na Tabela 6.6 são mostrados estabelecendo relação com as características do diesel de petróleo, segundo a ANP.

Tabela 6.6 - Características físicas do óleo da amêndoa de tucumã comparado com algumas especificações para o diesel no Brasil segundo a Port. 310/01 da ANP

Características/óleos	Diesel	Tucumã
Aspecto	Límpido, isento de impurezas	Límpido, isento de impurezas
Cor ASTM, máx	3,0	n.d.
Enxofre total Max.	0,35%	n.d.
Massa específica a 20°C	820 a 880 kg/m ³	890 a 910 kg/m ³
Visc. Cinemática (vsct)	1.6-6.0	15.232
Índice de cetano, min.	45	n.d.
Início destilação (°C)	165	80
Poder calorífico inf (MJ/kg)	43	n.d.
Índice de acidez (mg de NaOH/g de óleo)	0,15	29,8
Ponto de Fusão	Não aplica	30-32

n.d.: Não determinado

6.4 DESEMPENHO DO MOTOR COM BIOCOMBUSTÍVEIS

Após a extração e a caracterização do endosperma e da obtenção do óleo, a última fase da pesquisa foi fazer um estudo dos resultados dos ensaios no motor descrito no capítulo dos, usando os dos combustíveis estudados aqui. Nos subitens mostram os resultados do banco de teste descrito anteriormente e análise dos mesmos.

Os ensaios foram realizados mantendo a rotação constante (1800 rpm), variando-se a alimentação com o motor operando com diesel na primeira bancada, diesel – gás do endosperma de tucumã na segunda e óleo de tucumã – gás do seu endosperma na terceira.

6.4.1 Teste do motor operando com diesel

Com o objetivo de ter um parâmetro de comparação, se fez primeiramente testes de óleo diesel no motor. Os resultados são mostrados no anexo A e resumidos na Tabela 6.7 e Figura 6.4.

Tabela 6.7- Potência e Consumo Específico de Combustível com o consumo de diesel

Potência (kW)	Consumo (g/s)	CEC (kg/kWh)
6,07	0,64	0,38
8,53	0,84	0,35
10,87	1,03	0,34

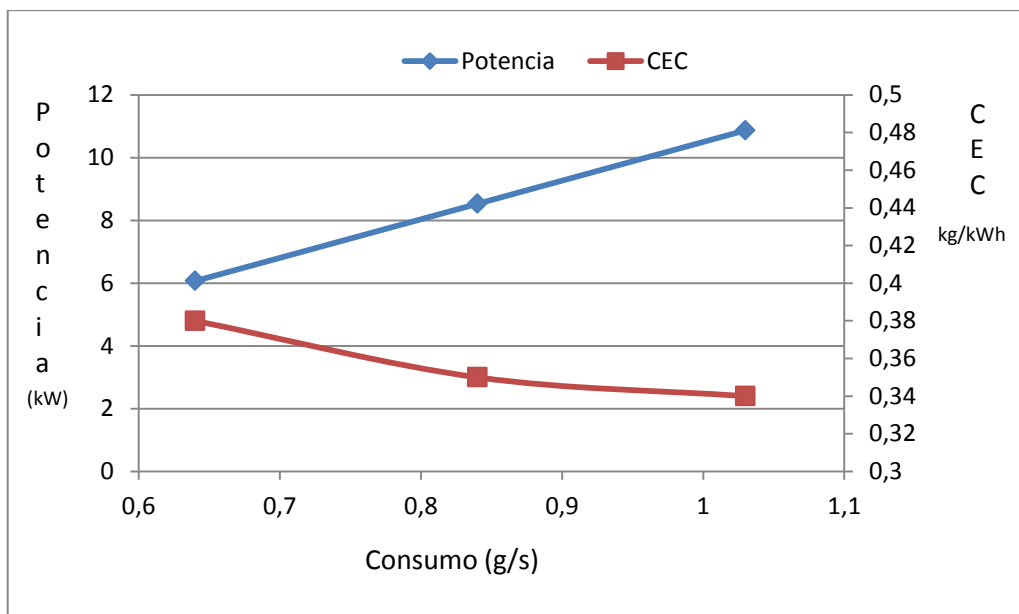


Figura 6.4 Gráfico da Potência (kW) e CEC (kg/kWh) x consumo (g/s) - Diesel

6.4.2 Resultados e análise do desempenho no motor com diesel e gás do endocarpo de tucumã

A biomassa subproduto da extração do óleo de tucumã foi usada no reator gaseificador acoplado ao gerador agindo em simultaneidade com o diesel de petróleo. Os dados obtidos da experiência forem rigorosamente avaliados, fazendo relações e comparações entre eles; da avaliação final destes dados que se encontram no Anexo B gero-se a Tabela 6.8.

Tabela 6.8 - Consumo Especifico de Combustível e Potência do motor operando com Diesel e o gás gerado no reator

Potência (kW)	Consumo (g/s)	CEC (kg/kWh)
5,28	0,392	0,267
7,17	0,429	0,216
7,90	0,428	0,195

Para as observações e avaliações destes resultados, se fez um gráfico do desempenho destes combustíveis no motor, Figura 6.5.

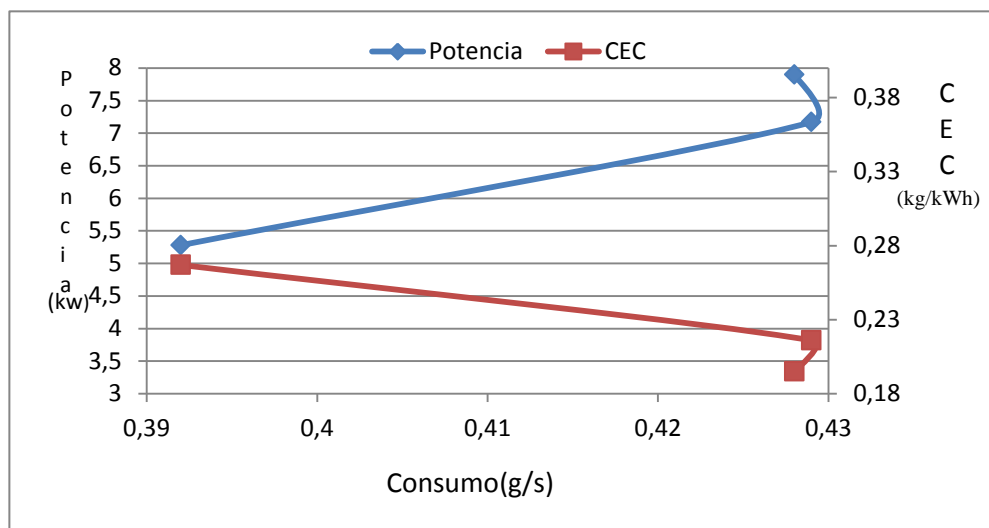


Figura 6.5 Gráfico da Potência (kW) e CEC (kg/kWh) x Consumo (g/s) – Diesel e gás da biomassa

No gráfico anterior evidencia-se um bom desempenho do motor com adicionamento de gás de síntese, pois se observa o aumento da potência ao decorrer o incremento da carga até o ponto de o consumo permanecer constante e inclusive diminuir um pouco com o aumento da potência no final da curva. Também pode se constatar um bom desempenho com a diminuição do consumo específico de combustível com o aumento da carga.

Estabelecendo comparações entre as Figuras 6.4 e 6.5 pode-se contabilizar uma diminuição aproximada de 50% de diminuição do diesel.

6.4.3 Ensaios com óleo de tucumã e o gás do endocarpo

Os ensaios com tucumã foram com o motor operando numa faixa de consumo de 0,34 g/s é 0,38 g/seg.

Primeiramente, o motor operou com o diesel e imediatamente depois, com a ajuda do sistema de preaquecimento foi injetado o óleo de tucumã para a operação continua do processo com a rotação constante e a variação da carga garantindo uma passagem do óleo pelas linhas de combustível com melhor pulverização, diminuindo assim a formação de gomas. Esse pré-aquecimento foi feito com uma resistência em forma de fita enrolada em torno das linhas que levam o combustível da bomba até os bicos injetores (capítulo 2).

Os resultados do Anexo C forem avaliados e resumidos na Tabela 6.9.

Tabela 6.9 - Potência, Consumo e Consumo específico de combustível operando com mistura de óleo de tucumã e gás

Potência (kW)	Consumo (g/s)	CEC (kg/kWh)
5,59	0,340	0,211
5,85	0,367	0,226
5,88	0,379	0,232

Com estes dados foi gerado um gráfico para mostrar a diferença das curvas entre o consumo de combustível vs potência e vs o Consumo Específico, Figura 6.6.

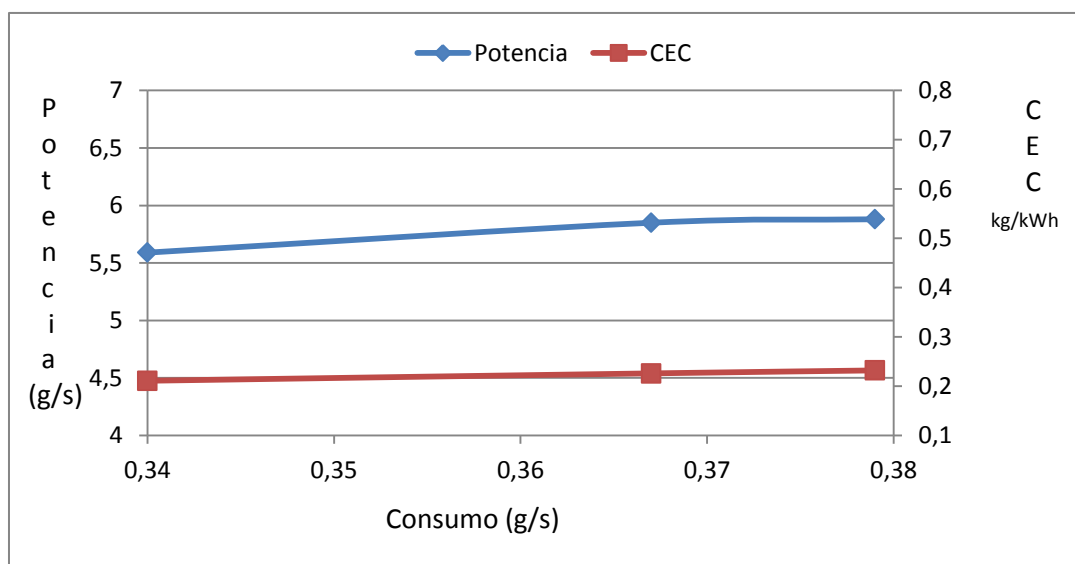


Figura 6.6 Potência (kW) e CEC (g/kWh) x Consumo (g/s) diesel (a), diesel e gás de síntese (b) e Óleo de tucumã e gás (a)

Comparando as Figuras 6.5 e 6.6 detalha-se que as duas curvas para o consumo específico de combustível mostram um comportamento similar do motor com os dois combustíveis líquidos pois esta se mantém relativamente constante ao longo do aumento de carga. Ao observar os leves incrementos na potência com o aumento do consumo na anterior figura observa-se uma diferença no trabalho do motor utilizando óleo de tucumã. Estes resultados forem os esperados, pois a potência deve diminuir com o uso de óleos vegetais devido a que seu poder calorífico inferior é menor.

6.4.4 Análises conjuntos dos dois tipos de combustíveis agindo em simultaneidade com o gás do endocarpo de tucumã

Forem elaboradas tabelas e gráficas de ambos combustíveis líquidos em conjunto da operação do sistema e geradas curvas de Consumo Especifico de Combustível e Potência para eles, Tabelas 6.10 e 6.11 e Figuras 6.7 e 6.8.

Tabela 6.10 - Dados de Consumo de Combustível e Potência de diesel e óleo de tucumã

Potência Tucumã (kW)	Consumo Tucumã (g/s)	Potência Diesel (kW)	Consumo Diesel (g/s)
5,59	0,34	2,1	0,23
5,85	0,367	5,28	0,39
5,88	0,379	7,17	0,43

Na Tabela 6.10, observa-se que o motor alimentado com óleo de tucuma alcança uma potencia maior (5,85 kW) do que alimentado com quase a mesma quantidade de diesel.

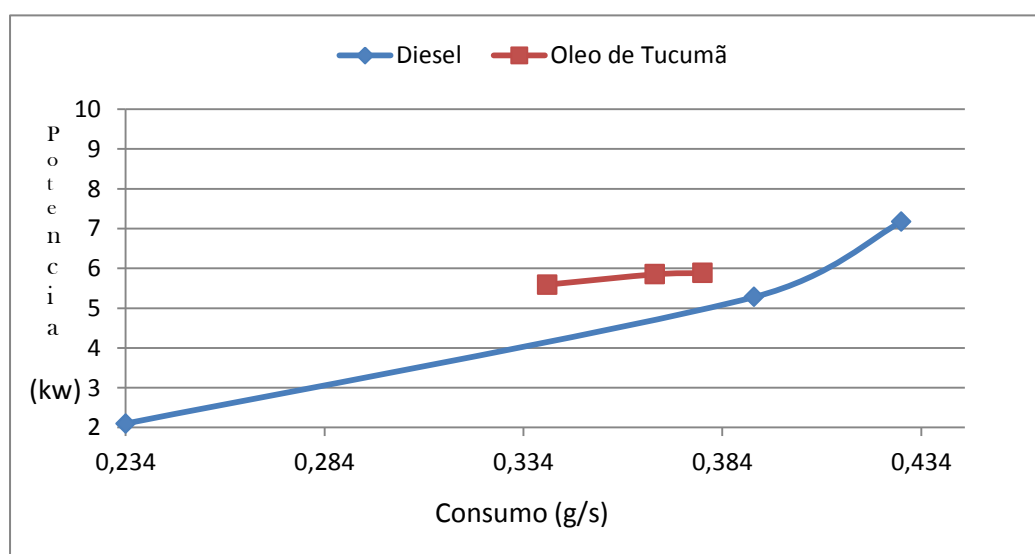


Figura 6.7 Potência (kW) x Consumo (g/s) – Diesel e Óleo de Tucumã

Na faixa de operação dos ensaios realizados, Figura 6.8, com uma alimentação variando de 0,34 a 0,38 g/s, o motor apresentou melhor desempenho que o motor operando com diesel.

Tabela 6.11 - Dados de Consumo específico de Combustível e Potência de óleo de petróleo e de Tucumã

Potência Diesel (kW)	CEC Diesel (kg/kWh)	Potência Tucumã (kW)	CEC Tucumã (kg/kWh)
7,91	0,195	6,66	0,2
7,14	0,216	6,53	0,204
5,3	0,267	5,85	0,226

O CEC na faixa de operação ensaiada foi menor que o motor operando com óleo diesel. Isto indica que o rendimento térmico global do motor melhora quando é alimentado pelo óleo de tucumã, isto pode ser constatado segundo a Figura 6.8.

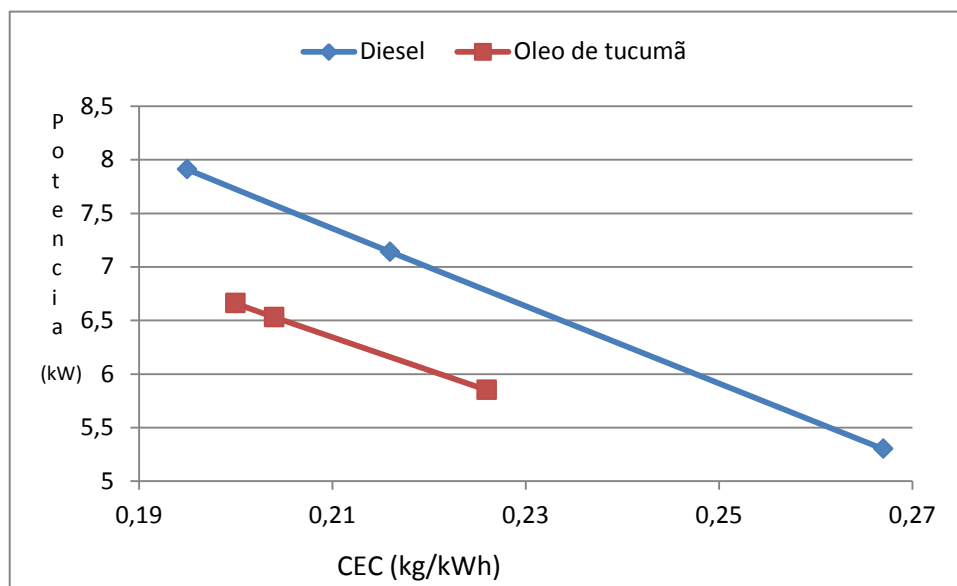


Figura 6.8 Potência (kW) x Consumo Específico de Combustível (CEC, kg/kWh) Diesel e Óleo de Tucumã

Após ter sido feito alguns ajustes no reator de 260 mm de diâmetro, foram feitos novos ensaios com este no dia 23 de agosto de 2010. Os procedimentos foram os mesmos do ensaio anterior e para o ensaio com a alimentação do motor pelo óleo de tucumã e o gás for obtido os seguintes resultados:

O consumo médio da biomassa foi 0,473 kg/min., este consumo poderia diminuir consideravelmente se ela é densificada. Esta biomassa não tem um valor comercial até o momento e encontra-se em disponibilidade em abundância nessas regiões da Amazônia, mas a densificação poderia diminuir relativamente os custos de operação.

O consumo médio de óleo vegetal foi 0,019 kg/min., mesmo que o endosperma, fração da qual se extrai o óleo de tucumã, encontra-se com a mesma disponibilidade do endosperma, tem que se considerar que o processo de extração acarreta custos operacionais tanto de compra de equipamentos como de mão de obra.

O CEC médio do óleo de tucumã nos motores de combustão de ciclo diesel é de aproximadamente 0,2 kg/kWh. Este resultado é aproximadamente o mesmo ao consumido em experiências anteriores para as outras oleaginosas (CORREIA, 2005).

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados desta pesquisa mostraram que o tucumã tem um grande potencial para a geração de energia de forma sustentável nas comunidades do rio Arapiuns isoladas eletricamente. Mostra também que o uso como fonte energética não compete com a utilização do tucumã como alimento. Seu uso atende às dimensões sociais, econômicas e ambientais da sustentabilidade.

O objetivo desta pesquisa foi avaliar as potencialidades do tucumã para geração de energia elétrica na Amazônia, os objetivos específicos foram avaliar as características físico-químicas do óleo do endosperma do fruto da palma, avaliar as características físico-químicas do endocarpo e o percentual de óleo contido no endosperma de tucumã assim como fazer o ensaio em motores com óleo de tucumã *in natura* e gaseificação do endocarpo.

Os resultados da avaliação físico-químicas do óleo do endosperma foram: a viscosidade cinemática do óleo do endosperma de tucumã é 15.232 vsct.

O índice de acidez do óleo do endosperma de tucumã é 29,8 g NaOH/g de óleo.

A densidade relativa do óleo de tucumã é 0,92 g/ml.

Os resultados da avaliação físico-química do endocarpo da palma de tucumã foram: a densidade do endocarpo de tucumã é de 0,47 g/cm³ e o endocarpo de tucumã tem um teor de umidade de 13,47%. A umidade da biomassa para gaseificação não deve superar os 20%, calculou-se um teor de umidade do endosperma de tucumã muito por abaixo desse valor, o que fortalece a recomendação feita por Oliveira, 2009 de uso desta palma para sistemas agroenergéticos.

Quanto a avaliação do potencial do óleo contido no tucumã, obteve-se os seguintes resultados: A extração de óleo de tucumã mediante o procedimento empregado, extração com solventes, consegue extrair um 20% de óleo, o que representa 33,3 % do óleo contido teoricamente nas amêndoas ou endosperma de tucumã.

Recomenda-se fazer testes de teores de estearina nos óleos devido a que este composto químico é o responsável da cristalização do óleo, logo da determinação dos principais ácidos graxos por cromatografia gasosa usando a metodologia preconizada pela AOAC, deve-se fazer a separação deles por prensagem e filtração a frio, garantindo que o ponto de solidificação do óleo resultante seja menor o igual a 20°C

Aperfeiçoando a técnica de extração, moenda e destilação com uma equipe técnica especializada, assim como extraindo o óleo remanente na torta mediante a extração com

Solhtex industrial, obtém-se uma maior produtividade, podendo ser alcançada a extração de até 43% do peso da semente em óleo destas amêndoas, o que significa 100% do óleo contido.

Os ensaios em motores com óleo diesel sem alterações, com adição de gás gerado a partir do endocarpo de tucumã apresentou um bom desempenho, com percentual de substituição de diesel da ordem de 50% sem perdas de potência.

Como resultado das pesquisas anteriores com o uso destes sistemas de dupla alimentação, demonstra-se uma diminuição de quase 80% das emissões de óxidos de nitrogênio, assim como baixíssimos níveis nas de alcatrão.

A implementação deste gerador de eletricidade é uma contribuição importante no uso das fontes alternativas de energia no Brasil. Esta pesquisa possibilita a oportunidade de geração energética de forma sustentável nas comunidades ribeirinhas do Brasil, sugerindo uma viabilidade econômica e socioambiental em relação ao petróleo, a partir apenas do uso de o subproduto do fruto da palma de tucumã, assim como também possibilita a implementação de pequenas agroindústrias locais para a extração e venda da polpa de tucumã.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALTIN, R., ÇETIMKAYA, S. AND YÜCESU, H.S., 1999, "The Potential of Using Vegetable Oil Fuels as Fuel for Diesel Engines", *Energy Conversion Management* 42 (2001)
- ANP, Agencia Nacional de Petróleo. http://www.anp.gov.br/petro/legis_qualidade.asp, acessada em março 2012.
- ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil 3a edição. Brasília. Agência Nacional Energia Elétrica, 2008.
- ANTAL Jr., M. J.; GRØNLI, M. The Art, Science, and Technology of Charcoal Production. *Indian Engineering Chemistry Research*. New Delhi. v. 42. p. 1619-1640, 2003
- AOCS. OFFICIAL METHOD Cd. 3d-63. Formerly
- AOCS, OFFICIAL METHOD. Cd. 1-25 with draw, (Historical Interest Only), 1997
- AQEEL A.; GHOLAMREZA Z.; HASLENDHA H. "Progress and challenges in utilization of palm oil biomass as fuel for decentralized electricity generation" *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. September 2010.
- AR, H.V., 2004, "Biomass Gasification Technology – a Route to Meet Energy Needs", *Current Science* Vol. 87, No. 7, 10 October 2004
- Associação Brasileira de Normas Técnicas- NBR 8633. Carvão Vegetal- determinação do poder calorífico, out/1984
- Associação Brasileira de Normas Técnicas- NBR 8112. Carvão Vegetal- análise imediata, out/1986
- ASTM D369-84(2002) Standard Test Methods for Analysis of creosote Fractions and Residue (Withdrawn 2006)
- ASTM D 976 Standard Test Method for Calculated Cetane Index of Distillate Fuels
- ASTM E775-87(2008) e1 Standard test Methods for Total Sulfur in The Analysis Simple of Refuse-Derive Fuel
- ASTM E777-08 Standard Test Methods for Carbon and Hydrogen in the Analysis simple of Refuse-Derived Fuel
- ASTM E778-08 Standard Test Methods for Nitrogen in the Analysis simple of Refuse-Derived Fuel
- ASTM E870-82 (2006) Standard test Methods or Analysis of Wood Fuels
- BABU, A.K. and Devaradjane, 2003, "Vegetable Oils and Their Derivatives as Fuels for CI Engines: An Overview", *SAE Technical Paper Series* 2003-01-0767.

- BARRETO, E. J. F.; RENDEIROS, G.; NOGUEIRA, M. Combustão Gasificação de Biomassa Sólida: Soluções Energéticas para a Amazônia. Programa Luz para Todos. Ministério de Meio Ambiente. 2008
- BNDES e CGEE. Bioetanol de Cana-De-Açúcar: Energia para o Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro/RJ. 2008. 316p.
- BALIESTIERE, J. “Cogeração: geração combinada de eletricidade e calor”. Florianópolis. ed da UFSC. 2002
- BANNY, B. Aproveitamento do Óleo das Amêndoas de Tucumã na Produção de Biodiesel. Mercosul. 2008
- BAZMI, Aqeel Ahmed; ZAHEDI, Gholamreza; HASHIM, Haslenda. Progress and challenges in utilization of palm oil biomass as fuel for decentralized electricity generation. Renewable & Sustainable Energy Reviews. v. 15, p. 574-583, 2010.
- BHATTACHARYA, S.C., SAN SHWE HLA, HOANG-LUANG PHAN, 2000, “A Study on a Multi-Stage Hybrid Gasifer-Engine System”, Biomass and Bioenergy 21 (2001) 445-460.
- BITTENCOURT, R. “Extração de ácidos graxos da semente de Tucumã Açú (*Astrocarrpum Huber*)”. Trabalho de conclusão de curso para obtenção do grau de Licenciado em Química. Belém. UFPA. 2009.
- BRASIL, LEI No 11.097, DE 13 DE JANEIRO DE 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. Brasília. Diário Oficial da União de 14.1.2005.
- BRASIL. Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica. Manual de Operacionalização. Ministério de Minas e Energia. 30pp. 2003.
- CAIRES, A. “Projeto e avaliação de uma Central de Geração Elétrica de 5 kW por Gaseificação de Biomassa”. Dissertação de Graduação. Departamento de Engenharia Mecânica. UnB. 2008.
- CAIRES, A.; RODRIGUEZ, P.; VIANNA, JN.; GURGEL, C. “Small Scale Electricity generation from simultaneous burning of strought vegetable oil and Syngas in compression ignition engine”. 22 International Conference on Efficiency, cost, optimization simulation and environmental impact for energy systems. Foz de Iguaçu. Paraná. Brasil. 2009.
- CAVALCANTE, P. Frutas comestíveis da Amazônia. 6ª Ed. Belém: CnPq/Museu Paraense Emilio Goeld.1996.

- CORREIA, J.C. Atendimento energético a pequenas comunidades isoladas: barreiras e possibilidades. T&C Amazônia 6: 30-35.2005.
- COME-SE. (2008). Disponível em: <http://www.come-se.blogspot.com>. Acesso em: Março. 2008.
- DA SILVA, V. “Energia elétrica renovável em pequenas comunidades no Brasil: em busca de um modelo sustentável”. 2007. 139-156p. (Doutorado em Desenvolvimento sustentável). Universidade de Brasília, Brasília.
- DASAPPA, S., PAUL, P.J., MUKUNDA, H.S., RAJAN, N.K.S., SRIDHAR G. AND SRIDHDONG K.; SUN K.; MIN W.; JUNGHO H.; TAE-U Y. Gasification reactivity of biomass with CO₂. BIOMASS & BIOENERGY. August 2010.
- ELS, Rudi Henri van, “Sustentabilidade de projetos de implementação de aproveitamentos hidroenergéticos em comunidades tradicionais na Amazônia: Casos no Suriname e Amapá”. 2008. 250 p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável)-Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília.
- ELS, R., VIANNA, JN. Brasil, A. “The Brazilian experience of rural electrification in the Amazon decentralized generation – The need to change the paradigm from electrification to development”. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2011) 1450-1461.
- FAO- Food and Agriculture Organization of the United Nations. Wood gas as engine fuel. Rome. Italy.1986.
- FERREIRA, E.; LUCIEN, V.; AMARAL, A.; SILVEIRA, C. “Caracterização Físico-Química do Fruto e do Óleo Extraído De Tucumã (*Astrocaryum Vulgare*)” Alim. Nutr., Araraquara ISSN 0103-4235 v.19, n.4, p. 427-433, out./dez. 2008.
- FIGLIUOLO, R. A Preservação da Floresta e a Produção de Biodiesel na Amazônia. Jornal do Comercio (www.jcam.com.br). p. 46. 2005
- FIGLIUOLO, R., NUNOMURA, S.M., SILVA, J.D., CORREIA, J.C. Prospecção para o Uso Adequado e Sustentável de Sementes Oleaginosas na Produção de Biodiesel na Amazônia. XXVII Reunião Anual da SBQ. Salvador, SBQ. 2004
- FIGLIUOLO. R. 2007. A Produção de Biodiesel na Cadeia Produtiva e Sustentável do Tucumã do Amazonas (*Astrocaryum aculeatum* G.F.W. Mayer)(Arecácea, palmeira). II Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel.

- GUEDES, A. Estudo da Extração de Óleo da Polpa de Tucumã por CO₂ Supercrítico. Dissertação apresentada à Universidade Federal do Pará para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Belém-Pa. 2006.
- GÓMEZ, A.; KLOSE, W.; RINCÓN, S. Pirólisis de Biomassa: Cuesco de Biomasa. Departamento de Ingenieria Mecánica Y Mecatrônica, Facultad de Ingenieria, Universidad Nacional de Colômbia, Bogotá, Colômbia e Instituto de Ingenieria Térmica, Facultad de Ingenieria Mecânica. Universidad de Kassel. Kassel Alemanha. 2008. 123 p.
- GOPAL, G., SRINIVASKA RAO, P., GOPALAKRISHNAN, K.V. AND MURTHY, B.S., 1981, "Use of Hydrigen in Dual-Fuel Engines", *Hydrogen Energy*, Vol. 7, No. 3, pp. 267-272, 1982.
- GUEDES, A. "Estudo da Extração de Óleo da Polpa de Tucumã por CO₂ Supercrítico". Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pará. Belém-Pa. 2006.
- HENHAM, A. and MAKKAR, M.K., 1998, "Combustion of Simulated Biogas in a Dual-Fuel Deisel Engine", *Energy Conversion Management* Vol. 39, No. 16-18, pp. 2001-2009, 1998.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE, 2010. http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/default_censo_2000.shtm. Acesso novembro 2011.
- JAINN, A.K., GOSS, J.R., 1999, "Determination of Reactor Scaling Factors for Throatless RiceHusk Gasifier", *Biomass and Bioenergy* 18 (2000) 249-256.
- JESUS, V. M. de; RODRIGUES, G. F.; AVEAR, C. A. S. de; HENRIQUES, F. C. Eletrificação de comunidades isoladas: desafios e soluções utilizando fontes alternativas de energia em Paraty – RJ. In: VI Encontro Nacional de Engenharia e Desenvolvimento Social (ENEDS), 2009, Campinas, SP, Brasil, 17 e 18 de Setembro, Anais. VI ENEDS, 2009.
- KAMM, B.; KAMM, M.; GRUBER, P. R. et al., 2006. *Biorefineries Systems – An Overview*. In: KAMM, B.; GRUBER, P. R.; KAMM, M. *Biorefineries – Industrial Processes and Products* . v.1. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weiheim. Germany.
- KEGL, Breda. Effects of biodiesel on emissions of a bus diesel engine. *Bioresource Technology*, v.99, p.863-873, 2008.
- LARSON, E.D. *Small scale gasification based biomass power generation*. Princenton, USA: Center for Energy and Enviromental Studies. 1998.

- LE COINTE, P. Apontamentos sobre as sementes oleaginosas, bálsamos, resinas, essências, borrachas, guttas e batatas da floresta amazônica. Rio de Janeiro. Departamento Nacional de Estatística. 4ª Ed. 1931.
- LIMA, M. Avaliação experimental da queima simultânea de óleo vegetal e gás de síntese em motores diesel. 2011. Projeto de Graduação 2. Universidade de Brasília, Brasília.
- LIMA, R. R. TRASSATO, L. C.; COELHO, V. “O tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.): principais características e potencialidade agroindustrial”. Belém: EMBRAPA. 25p. (Boletim de pesquisa, 75). 1986
- LORENZI, H.; SOUZA, H. M. de.; COSTA, J. T. de M.; CERQUEIRA, L. S. C. de; FERREIRA, E. Palmeiras brasileiras e exóticas cultivadas. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2004. 432p.
- LOVE, D.J.; J. Oil. Col.Chem. Assoc., 1977, 60,21
- LOWRY, H. Chemistry of Coal utilization. 1945
- LÜFT, M., BERNHARDT, S., VELJI, A., and Spicher, U., 2007, ”Optimization of Injection of Pure Rape Seed Oil in Modern Diesel Engines with Direct Injection”, DAE Technical Paper 2007-01-2031. Proceedings of ECOS 2009 22nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization Copyright © 2009 by ABCM Simulation and Environmental Impact of Energy Systems August 31 – September 3, 2009, Foz do Iguaçu, Paraná, Brazil.
- MARTINS, H. Madeira como Fonte de Energia. In: PENEDO, W. R. (Ed.). Uso da madeira para fins energéticos. Belo Horizonte, MG: CETEC, 1980. v. 1, p. 9-26
- Ministério de Minas e Energia. BEM. Brasília. MME, 2008. Disponível em <http://www.mme.gov.br>.
- NITZKE, F. “Geração elétrica distribuída a partir da gaseificação de peletes de cama de aviário”. Dissertação de mestrado. UnB. 2009.
- NOGUEIRA, LUIZ AUGUSTO HORTA; LORA, ELECTRO EDUARDO SILVA. Dendroenergia - Fundamentos e Aplicações - 2ª Edição. Editora: Interciência. 2003. 199 p.
- OLIVEIRA, P. “Análise do estoque de óleos vegetais para bio-combustível em áreas de agricultura familiar nas comunidades ribeirinhas de Vila *Gorete* e *Atodi*”. Santarém/Pará.2007.
- PETROBRAS. “Biocombustíveis”. Ministério de Energia e Minas. Projeto editorial Pesquisa e Redação. 2007

- QUEIROGA, V.; FIRMINO, P., Gondim, T. “Soluções tecnológicas em prol da coletividade para sustentabilidade da cadeia produtiva do gergelim orgânico da agricultura familiar piauiense”. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.13, n.1, p.97-111, 2011.
- RIBEIRO, R. “Investigação experimental e integração de um sistema de geração de energia elétrica por gaseificação de biomassa para comunidades isoladas”. Brasília: Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília - UnB.
- RODRIGUES, P. “Ensaio de longa duração em motor do ciclo diesel operando com óleo vegetal”. Dissertação de Graduação. Departamento de Engenharia Mecânica. UnB. 2008.
- RODRIGUES, Pedro A. “Motores de combustão interna”, material didático de mini-curso, TecMec, empresa júnior da Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília, 2006.
- RODRIGUES, T. O. Efeitos da Torrefação no Condicionamento da Biomassa para Fins Energéticos. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília/DF. 2009. 71 p.
- RADU, R. and MIRCEA, Z., 1997, “The Use of Sunflower Oil in Diesel Engines”, SAE Technical Paper Series 972979.
- ROSA, Victor Hugo da Silva. Energia elétrica renovável em pequenas comunidades no Brasil: Em busca de um modelo sustentável. 2007. 436p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília.
- RUINARDLAAN, J. “Uso e composição de óleo de Maripa e Awara (Tucumã)”. CELOS. Campus Universitario Paramaribo. Suriname. 2009VI ENEDS – Campinas, SP, Brasil, 17 e 18 de Setembro. Eletrificação de comunidades isoladas: desafios e soluções utilizando fontes alternativas de energia em Paraty – RJ. 2009.
- RURAL SEMENTES. Macaúba, Alternativa econômica para a produção de óleos e tortas, 2007.
- YOSHIMOTO, Y. ONODERA, M. and TAMAKI, H., 2001, “Performance and Emissions Characteristics of Diesel Engines Fueled by Vegetable Oils”, SAE Technical Papers Series 2001-01-1807/4227.
- SAUDEEALEGRIA. <http://www.saudeealegria.org.br/artesanato/comunidades/mostra/4>,
<http://www.youtube.com/watch?v=I9xAyZK9gmk>,
<http://www.youtube.com/watch?v=ODZbQGyje6k> Acesso março 2012.

- SINGH, R.N., SINGH, S.P., PATHAK, B.S., 2005, “Investigation on Operation of CI Engine Using Producer Gas and Rice Bran Oil Mixed Fuel Mode”, *Renewable Energy* 32 (2007) 1565-1580
- SILVA, J.C., BARRICHELO, L.E.G. AND BRITO, J.O., 1986, “Endocarpos de Babaçu e de Macaúba Comparados a Madeira de *Eucalyptus Grandis* para Produção de Carvão Vegetal”, IPEF, No. 34, pp. 31-34, 1986
- SILVA, J. “Implementação de um Sistema de Controle para um Banco de Ensaios em Motores de Combustão Interna”. Dissertação de Mestrado, UnB, 2008.
- VERAS, C. A. G., NIETZKE, G., RODRIGUES, A. C., RODRIGUES, P. A., XAVIER, E. A., SILVA, D. C. B. “Geração de Energia Elétrica por Gaseificação de Biomassa e Queima Direta de Óleo Vegetal em Motor do Ciclo Diesel”, In: Prêmio Petrobrás de Tecnologia. 2008.
- VIANNA, E. “Contribuição para o estudo e controle da emissão de poluentes atmosféricos por automóveis em São Paulo”. Companhia de Engenharia de Tráfego (CET). São Paulo, 1996.
- VIANNA, JN., VALENTE, O., SILVA, M., AVILA, R., SODRE, J. “Further developments on biodiesel production and applications in Brasil”. *Sustainable Development and Plannin IV*. Vol.6, No. 2 (2011) 119-134.
- VIDAL, N., REGIANI, A., “Estudo do Fruto do Tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) para Obtenção de Óleo e Síntese de Biodiesel”. Departamento de Ciências da Natureza. Universidade do Acre. Rio Branco.- Acre. 2006.
- VIEIRA, L. DOS S. R., VIANNA JR, A. L., NASCIMENTO, M. V. G., 2000, “Manual de Aplicação de Sistemas Descentralizados de Geração de energia Elétrica para Projetos de Eletrificação Rural – Energia Biomassa – Versão 1”, Relatório Técnico CEPTEL, nº ADG – A / PER 789/00.
- WANDER, P. R, “Utilização de resíduos de madeira e lenha como alternativa de energia renováveis para o desenvolvimento sustentável da região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul”, tese de doutorado, Universidade do Rio Grande do Sul. 2001.
- XAVIER, E.A., NIETZKE, G., SILVA, D.C.B., VALE, A.T., AND VERAS, C.A.G., “Analysis of the Productive Chain of *Orbignya* sp. and *Acrocomia aculeata* for Electricity Generation and Sustainable Development of Isolated Communities”, submitted to ECOS 2009.

ANEXOS

ANEXO A

Tabela A.1 Ensaio Óleo Diesel

DADOS DE ENTRADA								SAIDA				
Car ga	QUADRO ELÉTRICO				CONSUMO COMBUSTÍVEL				Interva lo de At [s]	Potência [kW]	Eficiência	CEC
	Inicial		Final		Débito (g/s)*			apacidade %				
	Tempo h m s	Medida [V.k]	Tempo h m s	Medida [V.k]	1	2.000	3					
0.9	# 29 36	369945	22 30 16	369955	0,413				40	0,900	5,19	1652,00
	# 29 36	369945	22 31 18	369971	0,413				102	0,918	5,29	1620,23
	# 29 36	369945	22 32 19	369987	0,413				163	0,928	5,35	1602,83
	# 29 36	369945	22 33 37	370006	0,413				241	0,911	5,25	1631,69
2.5	# 34 25	370025	22 35 8	370054	0,475				43	2,428	12,17	704,31
	# 34 25	370025	22 36 9	370091	0,475				104	2,285	11,45	748,48
	# 34 25	370025	22 37 0	370123	0,475				155	2,276	11,41	751,28
4.2	# 37 27	370137	22 38 2	370182	0,580				35	4,629	19,00	451,11
	# 37 27	370137	22 39 3	370255	0,580				96	4,425	18,17	471,86
	# 37 27	370137	22 39 35	370293	0,580				128	4,388	18,01	475,90
6.0	# 40 26	370367	22 41 1	370428	0,645				35	6,274	23,16	370,08
	# 40 26	370367	22 42 5	370534	0,645				99	6,073	22,42	382,37
	# 40 26	370367	22 42 51	370603	0,645				145	5,859	21,63	396,29
8.25	# 43 39	370697	22 44 3	370755	0,840				24	8,700	24,66	347,59
	# 43 39	370697	22 44 57	370882	0,840				78	8,538	24,20	354,16
	# 43 39	370697	22 45 42	370983	0,840				123	8,371	23,73	361,26
10.15	# 46 14	371080	22 46 38	371153	1,029				24	10,950	25,34	338,30
	# 46 14	371080	22 47 27	371299	1,029				73	10,800	24,99	343,00
	# 46 14	371080	22 48 4	371412	1,029				110	10,865	25,14	340,93
8.25	# 48 36	371501	22 49 0	371559	0,856				24	8,700	24,20	354,21
	# 48 36	371501	22 49 54	371686	0,856				78	8,538	23,75	360,91
	# 48 36	371501	22 50 31	371768	0,856				115	8,358	23,25	368,69
6.0	# 50 55	371833	22 51 27	371887	0,625				32	6,075	23,14	370,37
	# 50 55	371833	22 52 29	371987	0,625				94	5,898	22,47	381,49
	# 50 55	371833	22 53 6	372048	0,625				131	5,908	22,51	380,81
4.2	# 54 5	372132	22 54 40	372176	0,502				35	4,526	21,47	399,32
	# 54 5	372132	22 55 9	372210	0,502				64	4,388	20,81	411,90
	# 54 5	372132	22 56 0	372270	0,502				115	4,320	20,49	418,33

Tabela A.2 Ensaio óleo diesel e biomassa do endocarpo de tucuma

DADOS DE ENTRADA										SAÍDA					
QUADRO ELÉTRICO															
Carga	Inicial				Final				Débito (g/s)	opacidade %	Intervalo de Δt [s]	Potência [kW]	Eficiência	CEC	
	Tempo (t1)			Medida [W.h]	Tempo (t2)			Medida [W.h]							
	hh	mm	ss		hh	mm	ss								
7,1	21	40	59	429023	21	41	31	429087	0,429		32	7,200	39,96	214,50	
	21	40	59	429023	21	43	48	429358	0,429		169	7,136	39,61	216,42	
7,9	21	45	25	429556	21	46	58	429761	0,428		93	7,935	44,14	194,17	
7,9	21	45	25	429556	21	49	4	430036	0,428		219	7,890	43,89	195,28	
7,9	21	45	25	429556	21	50	54	430274	0,428		329	7,857	43,71	196,12	
colocou-se 2 kg de biomassa															
7,9	21	50	54	430274	21	52	15	430449	0,361		81	7,778	51,30	167,09	
4,85	21	54	48	430750	21	55	20	430797	0,392		32	5,288	36,46	266,89	
4,85	21	54	48	430750	21	56	40	430914	0,392		112	5,271	32,02	267,71	
2,25	21	57	34	430976	21	58	22	431005	0,234		48	2,175	22,13	387,31	
2,25	21	57	34	430976	21	59	35	431048	0,234		121	2,142	21,80	393,25	

Tabela A.3 Ensaio óleo vegetal tucumã e biomassa do endocarpo de tucumã

DADOS DE ENTRADA										SAÍDA					
QUADRO ELÉTRICO															
Carga	Inicial				Final				Débito (g/s)	opacidade %	Intervalo de Δt [s]	Potência [kW]	Eficiência	CEC	
	Tempo (t1)			Medida [W.h]	Tempo (t2)			Medida [W.h]							
	hh	mm	ss		hh	mm	ss								
2,25	22	6	2	431277	22	7	38	431335	0,434		96	2,175	13,54	718,34	
colocou-se 2 kg															
	22	9	28	431421	22	9	28	431421							
5,05	22	10	54	431533	22	11	26	431584	0,340		32	5,738	45,61	213,33	
5,05	22	10	54	431533	22	12	14	431654	0,340		80	5,445	43,28	224,79	
7,9	22	13	16	431743	22	13	56	431817	0,370		40	6,660	48,65	200,00	
7,9	22	13	16	431743	22	14	36	431888	0,370		80	6,525	47,66	204,14	
5,9	22	16	2	431996	22	16	42	432061	0,367		40	5,850	43,08	225,85	
5,9	22	16	2	431996	22	17	44	432156	0,367						
5,9	22	20	28	432414	22	20	54	432466	0,270		26	7,200	72,07	135,00	
22:22:40 consumi-se 6kg de biomassa e colocou-se + 2kg															
7,1	22	25	9	432888	22	25	49	432954	0,379		40	5,940	42,36	229,70	
7,1	22	25	9	432888	22	26	46	433045	0,379		97	5,827	41,55	234,16	
7,1	22	29	8	433265	22	30	4	433364	0,371		56	6,364	46,36	209,86	

ANEXO B

CÓDIGO DO PROGRAMA UTILIZADO

```
PCI_G=3500
PCI_D=42
Q_dot_D=m_dot_D*PCI_D
Q_dot_G=m_dot_G*PCI_G*convert(kJ/hr;kJ/s)
eta=0,25
m_dot_D=0,3
W_dot_liq=eta*(Q_dot_D+Q_dot_G)
W_dot_liq=10

V_dot_1=rpm*CC
CC=1880
rpm=1800
V_dot_G=(eta_cil*phi*V_dot_1)*convert(cm^3/min;m^3/h)
eta_cil=0,85
phi=OF_st/OF
OF_st=15
OF=20
m_dot_B=10
A_r=(pi*0,26^2)/4
TGE=m_dot_B/A_r
```

ANEXO C

Para os cálculos relativos ao dimensionamento dos diâmetros internos do reator foi feito um código computacional (EES) para verificar os parâmetros que correspondem às diferentes áreas de seção dos reatores. Parâmetros como: PCI do gás, PCI do óleo, Taxa de gaseificação específica (TGE), fluxo de massa e outros são determinados.

Para o reator de 260 mm de diâmetro foi obtido os seguintes resultados:

Unit Settings: [kJ]/[C]/[kPa]/[kg]/[degrees]

$A_r = 0,05309 \text{ [m}^2\text{]}$	$CC = 1880 \text{ [cm}^3\text{]}$
$\dot{m}_G = 28,18 \text{ [m}^3\text{/hr]}$	$OF = 20 \text{ [dim]}$
$\dot{Q}_D = 12,6 \text{ [kJ/s]}$	$\dot{Q}_G = 27,4 \text{ [kJ/s]}$
$\dot{W}_{liq} = 10 \text{ [kW]}$	
$\eta_{cil} = 0,85 \text{ [dim]}$	$\dot{m}_B = 10 \text{ [kg/hr]}$
$PCI_D = 42 \text{ [kJ/g]}$	$PCI_G = 3500 \text{ [kJ/m}^3\text{]}$
$TGE = 188,3 \text{ [kg/m}^2\text{-hr]}$	$\dot{V}_1 = 3,384E+06 \text{ [cm}^3\text{/min]}$

A taxa de gaseificação específica TGE é um fator importante para os resultados obtidos.