

Decisão Multicritério aplicada a Biorrefinarias

*Caso da *Jatropha Curcas Linnus* não tóxica em Sinaloa, México*

Joana Rodrigues Fialho da Rosa

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia e Gestão da Energia

Orientadores: Prof. Carla Alexandra Monteiro da Silva

Prof. Maria do Rosário Sintra de Almeida Partidário

Júri

Presidente: Prof. Edgar Caetano Fernandes

Orientador: Prof. Carla Alexandra Monteiro da Silva

Vogal: Prof. Ana Isabel Cerqueira de Sousa Gouveia Carvalho

Dezembro 2016

(Página intencionalmente em branco)

Agradecimentos

Às minhas orientadoras, Professora Carla Silva e Professora Maria do Rosário Partidário pela oportunidade e eficácia do apoio ao meu trabalho. Agradeço também à Professora Ana Filipa Pereira pelo seguimento desta dissertação, disponibilidade e cooperação.

Reconheço muita gratidão aos meus pais e irmãos pelo encorajamento constante e incondicional. Ao meu namorado, Bernardo Mota, e a todos os meus amigos. O meu muito obrigada!

Resumo:

O nosso ecossistema global finito encontra-se em equilíbrio instável devido ao crescimento demográfico, e pela necessidade constante da procura de novas formas de energia. É neste contexto que as biorrefinarias se afirmam pela utilização da biomassa. A *Jatropha Curcas Linnus* (JCL) não tóxica assume-se assim como uma boa aposta, pois usufrui uma vasta aplicabilidade em diferentes tipos de serviços, como medicinais, alimentícios, agrícolas ou energéticos. Desde 2007 que a *Jatropha* é produzida em Sinaloa, República do México e sujeita a processos de biorrefinaria. A escolha da melhor biorrefinaria, entre três, a partir desta planta é o foco principal desta dissertação. A Biorrefinaria I compreende a produção de energia, a Biorrefinaria II compreende a produção de alimento balanceado para gado e a Biorrefinaria III compreende quer a produção de energia quer a produção de alimento balanceado. Esta escolha é auxiliada por três ferramentas: a primeira, a Análise do Ciclo de Vida utilizada para conseguir os *inputs* e *outputs* materiais e energéticos do sistema e análise económica; a segunda, a Análise Ambiental Estratégica foi usada como forma de definir os fatores críticos de decisão com vista ao desenvolvimento sustentável da região; a última, recorreu-se à aplicação do *software* M-Macbeth® como modelo de apoio à decisão entre as biorrefinarias a partir dos dados recolhidos pelas duas análises anteriores. A Biorrefinaria II, apresentada como produtora de alimento animal foi a selecionada para região de Sinaloa pois detém uma certa vantagem comparativamente às necessidades sociais sentidas na região e um exíguo impacto no aquecimento global.

Palavras-chave:

Jatropha Curcas Linnus; Biorrefinaria; M-Macbeth; Sinaloa; Avaliação da Sustentabilidade

Abstract:

Our finite global ecosystem is within an unstable equilibrium due to obvious demographic growth that has been set as the main engine for the pressure of resources, and the constant need to seek new forms of energy. In this framework, the biorefineries have a special impact through the use of biomass. Non-toxic *Jatropha Curcas Linnus* is assumed as a good alternative, since the applicability has a wide range in different types of services, such as medical, food, agricultural and energy. Since 2007, *Jatropha* is cultivated in Sinaloa, Mexico Republic and subject to biorefinery processes. The choice of the best biorefinery in Sinaloa between three of them, is the main focus of this dissertation. The Biorefinery I is understood as an energy producer, Biorefinery II produce balanced food for cattle and Biorefinery III comprises both energy production and balanced food. The select of the biorefinery is assisted by three tools: first, Life-Cycle Assessment, used to get the materials and energy inputs and outputs on the system and economic analysis; the second methodology employed, Strategic Environmental Analysis, was used to define the critical factors of decision for a sustainable development of the region; the final, application of M-Macbeth software as a decision support model between biorefineries from the data collected by the two previous analyzes. The Biorefinery II, presented as a producer of animal feed was selected as the most functional choice because it has a certain advantage on social needs felt in the region and has meager impact on the atmosphere.

Keywords:

Jatropha Curcas Linnus; Biorefinery; M-Macbeth; Sinaloa; Sustainability Assessement

Índice de Conteúdos:

1.	Introdução	1
1.1.	Contexto	1
1.2.	Objetivos.....	2
1.3.	Revisão da Literatura	2
1.4.	Organização do Trabalho	10
2.	Caracterização dos elementos enquadradores.....	11
2.1.	<i>Jatropha Curcas Linnus</i>	11
2.1.1.	Distribuição Geográfica e Requisitos Agronómicos	12
2.1.2.	Morfologia	13
2.1.3.	Toxicologia.....	14
2.1.4.	Expansão e composição de interesse.....	15
2.2.	República do México e o Meio Ambiente	16
2.2.1.	Estado de Sinaloa.....	17
3.	Sistema de produção a partir da biomassa da JCL	19
3.1.	Produção e Pré-Tratamento	19
3.2.	Configuração das biorrefinarias.....	20
3.2.1.	Biorrefinaria I – Produtos energéticos	20
3.2.2.	Biorrefinaria II – Produtos alimentares	22
3.2.3.	Biorrefinaria III – Produtos energéticos e alimentares	24
4.	Análise do Ciclo de Vida.....	25
4.1.	Unidade Funcional.....	26

4.2.	Fronteiras.....	26
4.3.	Inventário do Ciclo de Vida.....	27
4.4.	Avaliação do Impacto no Ciclo de Vida.....	29
4.5.	Análise e Melhoramento do Ciclo de Vida.....	32
4.6.	Análise Económica.....	33
5.	Avaliação Ambiental Estratégica.....	37
5.1.	Análise de Tendências do Sistema.....	39
5.2.	Fatores Críticos para a Decisão.....	41
6.	Modelo de Apoio à Decisão.....	45
6.1.	Estruturação do modelo.....	46
6.1.1.	Descritores de desempenho.....	47
6.2.	Pontuação e ponderação do modelo.....	48
6.3.	Resultado do modelo.....	51
6.4.	Análise dos resultados.....	55
6.4.1.	Análise de sensibilidade.....	55
6.4.2.	Análise de robustez.....	57
7.	Discussão dos Resultados e Conclusões.....	59
7.1.	Conclusão.....	61
7.2.	Considerações Futuras.....	61
	Referências Bibliográficas.....	63
	Anexos.....	74

Índice de Figuras

Figura 1 – <i>Jatropha Curcas</i> Linnus	11
Figura 2 - Locais aclimatados para o desenvolvimento da <i>Jatropha Curcas</i>	13
Figura 3 – Biorrefinaria I	22
Figura 4 – Biorrefinaria II	23
Figura 5 – Biorrefinaria III	24
Figura 6 – Desenvolvimento Sustentável e os seus 3 pilares	38
Figura 7 – Árvore de decisão	46
Figura 8 – Opções no modelo.....	47
Figura 9 – Tabela de performances dos critérios	48
Figura 10 – Matriz de Julgamentos.....	49
Figura 11 - Escalas de pontuação	50
Figura 12 – Referências de ponderação.....	50
Figura 13 - Ponderação dos julgamentos quantitativos.....	51
Figura 14 – Tabela de pontuações	52
Figura 15 – Termómetro Global.....	52
Figura 16 - Perfil Biorrefinaria I	53
Figura 17 - Perfil Biorrefinaria II	53
Figura 18 - Perfil Biorrefinaria III	53
Figura 19 - Gráfico XY Clima e Rendimento	54
Figura 20 - Gráfico XY Gás Natural e energia equivalente	54
Figura 21 – Gráfico XY Energia e Recursos e Modo de Vida	55

Figura 22 - Análise de sensibilidade no peso do critério “Energia equivalente”	56
Figura 23 - Análise de sensibilidade no peso do critério” Rendimentos”	57
Figura 24 – Análise de robustez do modelo	58

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Estado de Arte de processos de biorrefinaria.....	6
Tabela 2 – Quadro Síntese sobre a Jatropha.....	9
Tabela 3 – Características do óleo da Jatropha Curcas.....	16
Tabela 4 – ICV da Biorrefinaria I.....	27
Tabela 5 – ICV da Biorrefinaria II.....	28
Tabela 6 – ICV da Biorrefinaria III.....	28
Tabela 7 – Emissões de CO ₂ eq nas Biorrefinarias.....	30
Tabela 8 – Gás Natural Utilizado nas Biorrefinarias.....	31
Tabela 9 – Energia e quantidade dos produtos principais	31
Tabela 10 – Análise Económica Biorrefinaria I.....	34
Tabela 11 - Análise Económica Biorrefinaria II.....	35
Tabela 12 – Análise Económica Biorrefinaria III.....	35
Tabela 13 – Análise Económica das Biorrefinarias	36
Tabela 14 – Problemas fundamentais em Sinaloa e os seus sintomas.....	39
Tabela 15 – Fator Crítico de Decisão – Disponibilidade energética e utilização dos recursos.....	42
Tabela 16 – Fator Crítico de Decisão – Melhoria do modo de vida	43
Tabela 17 – Base de comparação dos nós critério	47

Lista de Siglas, Acrónimos e Abreviaturas

Abreviatura	Nome
AAE	Avaliação Ambiental Estratégica
ACV	Análise do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida
AMCV	Análise e Melhoramento do Ciclo de Vida
CO ₂	Dióxido de Carbono
CO ₂ eq	Dióxido de carbono equivalente
CV	Ciclo de Vida
FCD	Fatores críticos de decisão
FFA	<i>Free fatty acids</i>
FMEE	Fator médio de emissões de eletricidade
GEE	Gases efeito de estufa
GJ	Giga Joule
ha	Hectare
hab	Habitante
IC	Intensidade de Carbono
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
INEGI	<i>Instituto Nacional de Estadística y Geografía</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
JCL ou JC	<i>Jatropha Curcas Linnus</i>
kg	Quilograma
kWh	Quilowatt-hora
L	Litro
m ³	Metro cúbico
Mcal	Mega caloria
MJ	Mega Joule
mm	Milímetro
NDP	National Development Plan
°C	Grau centígrado
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
PAG	Potencial de aquecimento global
PIB	Produto Interno Bruto
PPO	<i>Pure plant oil</i>
SENER	<i>Secretaría de Energía</i>
SO ₂	Dióxido de Enxofre
ton	Tonelada

1. Introdução

1.1. Contexto

Encontramo-nos num ecossistema global finito e em equilíbrio instável, no qual existe um crescimento demográfico muito acentuado que tem sido o principal motor para a pressão dos ecossistemas, onde viver de forma sustentável e em equilíbrio com toda a matéria finita se torna um desafio. No entanto, a humanidade, ao longo da sua existência tem tido a capacidade de concetualizar o seu Mundo e projetar um futuro sustentável (Costanza *et al.*, 1997).

De acordo com Ghatak (2011), o objetivo ecológico essencial é otimizar a utilização de recursos e minimizar os desperdícios criados, maximizando dessa forma os benefícios e a sua rentabilidade. É neste contexto que as biorrefinarias se têm afirmado pela utilização da biomassa, envolvendo uma variedade de processos de conversão e diferentes tipos de instalações devido à abrangência e à variabilidade do sistema em questão. A biomassa define-se como sendo uma fonte renovável de energia, constituída por matéria biológica animal ou vegetal quer como combustível direto, quer pela sua utilização indireta através da biorrefinaria (Löffler *et al.*, 2010). A otimização e a alta eficiência são a chave para uma melhoria futura, na qual se insere a tecnologia de biorrefinaria, que exige uma tecnologia que integra diversos processos de conversão da biomassa, incluindo todo o seu equipamento. O seu objetivo inclui a produção de combustíveis, químicos, alimentação, materiais e energia para o quotidiano (Naik *et al.*, 2010).

É neste enquadramento da utilização da biomassa a partir de uma biorrefinaria que antevemos a necessidade do estudo presente de forma a proporcionar uma escolha consciente e premeditada da utilização de um recurso numa determinada área geográfica, reforçando o compromisso da sociedade com o seu desenvolvimento económico sustentável.

O presente trabalho visa, assim, encontrar aplicabilidade prática para a planta *Jatropha Curcas Linnus* (JCL) da estirpe não tóxica na região de Sinaloa, República do México. Este arbusto ao longo desta dissertação será mencionada utilizando apenas pelo seu primeiro nome, pelas suas siglas ou sempre que se referir a algum tipo de terminologia de “arbusto” ou “planta”. De entre os cenários disponíveis para este arbusto, distinguem-se três biorrefinarias, reconhecidas em função dos seus produtos finais e dos seus subprodutos. A aplicação da Análise do Ciclo de Vida (ACV) nas três biorrefinarias dessa planta permite estabelecer certas particularidades importantes que caracterizam os cenários a partir dos quais, se podem determinar critérios relevantes para a escolha da melhor opção.

A seleção entre os três cenários em questão, foi possível através da utilização do *software* M-MacBeth® versão Beta Académica 2.4.0. Esta ferramenta permitiu ser um auxiliar de análise e suporte à decisão através de uma análise agregada do sistema, baseada numa Avaliação Ambiental

Estratégica (AAE), edificando um pensamento metódico, permitindo dessa maneira a interligação dos diferentes pilares da sustentabilidade.

Importa salientar que a escolha do tema, como opção minha, envolve um risco e um desafio. Um risco, por ter escolhido um caminho que ainda não está completamente desbravado e que poderá ser considerado, eventualmente, sem as condições de se poder afirmar em termos globais, como solução “biológica” para as questões energéticas. Um desafio, pelo incentivo que poderá trazer na procura de resultados novos ou inovadores para uma questão que muito apoquentava o planeta pelo uso crescente de formas tradicionais de energia, nem sempre amigas do ambiente. Entre o risco e o desafio preferi enfrentar este último porque no capítulo energético há que não temer desafios, com ponderação e realismo. Sempre assim aconteceu! O Homem progride, neste caso no âmbito tecnológico e de gestão, num ambiente de iteração e interação sucessivos e permanentes. O meu, prende-se pela procura de uma configuração possível para uma biorrefinaria a partir da *Jatropha Curcas Linnus*.

1.2. Objetivos

Considera-se, como questão prioritária para esta dissertação, descobrir qual a melhor biorrefinaria entre três configurações possíveis, para a estirpe não tóxica da planta *Jatropha Curcas Linnus*, em Sinaloa na República do México, tendo especial atenção as consequências no desenvolvimento sustentável da região.

Como objetivos parciais entendem-se: as boas práticas da ferramenta M-Macbeth® pela sua função de apoio à decisão multicritério; a aplicação particular da funcionalidade da metodologia de Avaliação Ambiental Estratégica de forma a desempenhar um estudo sobre o desenvolvimento sustentável na região; e uma Análise do Ciclo de Vida da planta JCL que permita calcular uma otimização da utilização dos recursos na produção da planta, envolvendo a diminuição das emissões atmosféricas, assim o aumento do rendimento de cada uma das biorrefinarias.

1.3. Revisão da Literatura

A *Jatropha Curcas Linnus*, mais conhecida como *piñón manso* na República do México e purgueira em Portugal, tem tido, há mais de dois séculos um impacto significativo na zona tropical, entre o Trópico do Capricórnio e o Trópico de Câncer. O botânico, zoólogo e médico sueco, *Carl Von Linné* (1707-1778), classificou em 1753 esta planta com o nome botânico ainda hoje conhecido. A designação de *Jatropha*, do grego "*jatros*" significa doutor devido às suas possibilidades medicinais, e "*trophé*", que exprime alimento ou nutrição, também do grego, devido às suas faculdades medicinais (NIIR Board, 2008).

Benefícios eco-ambientais como o incremento de fontes de energia renovável, restabelecimento de extensas plantações em terrenos baldios degradados, fitoregulação eficaz, capacidade de sequestro

do carbono atmosférico, controlador de erosão do solo (Pandey *et al.*, 2012) são exemplos da ampla gama de particularidades desta planta tropical que a faz tão apetecível e promissora (Euler e Gorriz, 2004).

Desde a sua descoberta, que esta pequena árvore é investigada e aproveitada para diversos fins. Inicialmente, nutrição humana direta, através de processos rústicos como cozedura das folhas jovens em vapor (Duke, 1985) ou pela torra das suas sementes (Aponte, 1978). Mais tarde, esta planta foi considerada de grande importância para aplicações medicinais, utilizando quer as folhas, raízes, óleo ou sementes para esses propósitos (Heller, 1996). Os benefícios curativos associados correspondem à aptidão desta planta em apresentar misturas de diferentes quantidades químicas que podem atuar quer individualmente, quer com aditivos ou em sinergia com outros constituintes (Prasad *et al.*, 2012).

Segundo Heller (1996), esta planta tem sido utilizada para medicina tradicional e aplicações veterinárias na cura de infeções variadas. Uma das suas vantagens relativamente a outras plantas terapêuticas prende-se pelo fato de serem utilizadas várias partes desta planta para essa área de aplicação. A título de exemplo: o látex possui propriedades anticancerígenas, sendo utilizado externamente contra doenças de pele; as folhas, aproveitadas contra a malária, doenças reumáticas e dores musculares; as raízes também utilizadas devido à sua faculdade de antídoto contra veneno de cobra (Thomas *et al.*, 2008). A forma de extrair estes fármacos, muitas vezes originalmente naturais, passa pela aplicação direta do óleo da semente na pele (Mujumdar *et al.*, 2000), esmagamento da própria raiz para infusões (Desai, 1975), a partir da aplicação das folhas diretamente nos seios de forma a garantir lactação (Parveen *et al.*, 2007) ou aproveitando a casca do arbusto de forma a auxiliar atividade antimicrobiana (Igbinosa *et al.*, 2009). Os benefícios da planta para a economia local e nos sistemas socio-ecológicos serão enumerados mais à frente neste capítulo.

Atualmente, a JCL é considerada uma espécie com múltiplos propósitos, e é cultivada em grande escala em áreas tropicais e subtropicais (Seeds Genomics Biofuels, 2013). Contudo, em relação a processos de biorrefinaria inerentes a esta pequena árvore, esta tem sido reconhecida como fonte de *pure plant oil* (PPO) de média viscosidade, o que facilita a sua conversão em biodiesel com boas propriedades (Agarwal, 2007). Devido ao facto do óleo da *Jatropha* poder destinar-se a motores a *diesel* sem modificações, a qualidade do óleo pode comparar-se com o padrão internacional de PPO (Beerens, 2007).

Neste sentido, é muito frequente a produção de biodiesel a partir do processo de biorrefinaria de transesterificação. Com este objetivo foi inserido num programa de florestação e agro-florestação na China (Wen *et al.*, 2012), de forma a melhorar a estrutura energética e promover a eficiência energética (Hou *et al.*, 2011). Desde 2003, na Índia tem sido considerado a promessa de produção de biodiesel para o setor dos transportes derivada desta planta (Achten *et al.*, 2010), assim como o caso que ocorre na cidade Haryana, do mesmo país, onde se utiliza a *Jatropha* por esta ter altas quantidades de ácidos gordos livres, na ordem dos 15% (Kumar e Sharma, 2008). Este arbusto é muito estudado, utilizado para aproveitamento de terrenos baldios com uma produção de 2 toneladas de sementes por hectare

para a produção de biodiesel (Ghosh *et al.*, 2007). Em Moçambique, têm-se conseguido progressos para a produção de biodiesel, onde, ao mesmo tempo se promove a prevenção à desertificação e melhoramento para o desenvolvimento socioeconómico das áreas tropicais rurais pobres com a implementação de novos postos de trabalho e rendimento extra, conseguindo-se um rendimento aceitável na produção de biocombustíveis, gerando uma boa relação entre óleo da semente e biodiesel produzido (Rodrigues *et al.*, 2013) . Há estudos igualmente na Tailândia, onde associam esta planta perene a um benefício energético nacional, com altos rendimentos de conversão em biodiesel. Nesta região, a JCL é aproveitada não só pela transesterificação do óleo da semente, como também através da queima da sua madeira (Prueksakorn e Gheewala, 2006).

Já no Brasil, foi realizado um estudo sobre os efeitos dos gases de efeito de estufa (GEE) e a alteração do uso do solo a partir da produção e transformação do óleo da semente em biodiesel a partir da transesterificação (Bailis e Baka, 2010), observando-se através deste estudo que há genericamente uma diminuição das emissões de gases para a atmosfera ao longo do seu ciclo de vida. Contudo, a questão de transformação do terreno utilizado considerou-se dependente das “boas práticas” de agricultura utilizado por cada agricultor. Foi ainda investigada a produção de biodiesel pelo processo de transesterificação *in situ* em pequena escala na Indonésia, segundo Kasim *et al.* (2010), porém, esta prática tem as suas desvantagens, pois produz uma carga ambiental gigante (Nazir, 2012). Em Cabo Verde foram realizados estudos sobre a capacidade potencial de JCL (Correia, 2009), no qual foram demonstradas as baixas necessidades agronómicas da planta, promovendo assim uma opção economicamente viável em países sub-desenvolvidos e uma fonte alternativa de rendimento para zonas rurais de pequena dimensão e capacidade. Foi possível a análise e verificação das componentes químicas e físicas das sementes como potenciadoras da produção de biodiesel (Semedo, 2011). A análise económica da produção de biodiesel via transesterificação foi observada por Bash (2015), rematando que a produção de biocombustível através do purgueira é rentável e não entrará numa competição quer social ou ambiental, visto que é utilizada em terrenos marginais com pouca necessidade de água de boa qualidade.

Em relação ao México, há diversos estudos sobre o aproveitamento da *Jatropha* a partir de vários integrantes da planta. Foi o caso da investigação de Nahar e Ozores-Hampton (2011), que menciona esta planta perene como um bom substituto para os combustíveis fósseis e apresenta inúmeras aplicações para várias componentes da planta, como exemplo, as flores que as abelhas procuram, as folhas como inseticida ou mesmo o óleo da semente como utilização na área da culinária, medicina, fertilização, pintura e biocombustíveis, como biogás, bio-óleo e biodiesel. Segundo o estudo de Silva *et al.*, (2015), também se referem alguns processos de biorrefinaria como a gaseificação, pirólise e transesterificação, nas quais se conseguem produtos distintos. Neste artigo mencionado faz-se também uma análise dos fluxos de energia inerentes a esses processos assim como uma ferramenta de otimização que aumenta a sua rentabilidade. Para melhor aproveitamento, foi estudada a transesterificação do óleo da semente em simultâneo com o uso da pasta proteica para fins alimentícios (Sánchez-Arreola *et al.*, 2015) resultando numa opção atraente, tomando em atenção que a produção de resíduos é exígua. O desenvolvimento da indústria do biodiesel é uma oportunidade de

desenvolvimento significativo para o México e do seu setor rural. De forma a criar estímulos importantes para uma economia rural mais dinâmica é importante entender a forma como se consegue extrair o máximo da sua rentabilidade, retirando assim o melhor proveito da JCL (Probst, 2007).

A sua ampla aplicabilidade está relacionada com a relevância económica emergente, resultando na procura e na maior atenção que a *Jatropha* tem apresentado (Merino e Zavala, 2008). Conjuntamente com a produção de biodiesel, e melhoramento de terras baldias, a *Jatropha* também consegue um potencial de evolução socio-económico, impulsionando o desenvolvimento rural pelo seu carácter multiuso e da sua cadeia de produção de trabalho intensivo (Axelsson *et al.*, 2012). Este desenvolvimento rural deve-se ao dito “sistema da *Jatropha*”, abordado pela primeira vez por Wiesenhütter (2003), este entende-se por explorar as várias formas pelas quais se consegue adquirir o maior uso potencial possível da planta de forma integrada com um desenvolvimento rural. Os aspetos chave para as evoluções socio-económica referidas são principalmente: o uso de energias renováveis, a prevenção da erosão do solo e o seu controlo, redução da pobreza (geração de maior receita por meio de negociação do sabão e sementes) e a promoção do trabalho envolvendo particularmente a mulher com a produção local de sabão a partir da glicerina.

De forma a produzir suplemento alimentar para animais a pasta proteica necessita de prévia desintoxicação, que seja eficiente e rentável (Haas e Mittelbach, 2000), caso a *Jatropha* seja de estirpe tóxica, tomando nota que a utilização desta pasta como fins nutricionais tem vindo a ganhar terreno (Fallis, 2013) como suplemento na dieta de frangos, de cordeiros (Félix-Bernal *et al.*, 2014), ou até mesmo peixes (Puello-Cruz, 2013). Esses ensaios foram indiscutíveis na melhoria do desenvolvimento, contudo, a sua utilização a altos níveis pode afetar a performance de crescimento de certa pecuária. Consegue-se, através deste procedimento, adicionar importância económica à cadeia de valores na produção da *Jatropha*, sendo que o suplemento alimentício alternativo pode ser incluído em quantidades na ordem dos 20% na dieta de cabras em crescimento (Kasuya *et al.*, 2012).

A pasta proteica, proveniente do prensamento mecânico da semente, pode também ter um destino que não a desintoxicação. Poderá sujeitar-se à digestão anaeróbia para produzir biogás (Brittaine e Litaladio, 2010), como se processa na Indonésia a partir da *husk* e do óleo da semente (Hendroko *et al.*, 2013), ou mesmo através da pasta proteica (Staubmann *et al.*, 1997), onde existem dados que fomentam a utilização desta prática, diminuindo desta maneira os resíduos provenientes das biorrefinarias e produzindo quantidades razoáveis de biogás com boa qualidade (Schmidt, 2011). Foi possível através de análises imediatas e aproximadas, identificar que as componentes na pasta proteica são ricas em sólidos voláteis, o que viabiliza uma digestão anaeróbia mais eficiente e rica em metano (Chandra *et al.*, 2012). Na Índia, para além da utilização do biogás, os digeridos (resíduos sólidos provenientes do digestor anaeróbio) são utilizados como fertilizante natural, promovendo níveis favoráveis de azoto para adubar o solo (Raheman e Mondal, 2012).

Para consumo humano, consegue alcançar-se uma qualidade aceitável de óleo alimentar através da refinação física do óleo da semente da *Jatropha*. Todavia, terá necessariamente que se recorrer em primeira instância à desintoxicação (Schneider e Finkbeiner, 2013) caso a estirpe seja tóxica.

A valorização de JCL prende-se também a partir do processo de biorrefinaria da pirólise, tal como já foi referido anteriormente, citada por alguns autores, quer através da casca da semente, quer através da própria pasta proteica, sendo que esses dois constituintes têm um grande poder calorífico superior (Axelsson *et al.*, 2012). Contudo, o processo de pirólise é altamente flexível no que toca à matéria-prima utilizada, conseguindo valorizar assim as folhas ou a madeira (Silva *et al.*, 2015). Esta planta tropical é considerado um biocombustível de segunda geração bastante promissor, fundamentalmente devido à qualidade e quantidade do bio-óleo resultante deste processo de biorrefinaria (Manurung *et al.*, 2009).

A peletização, outro dos processo de biorrefinaria a considerar no ciclo de produção de biocombustíveis, foi estudado noutros projetos locais como Moçambique, Mali ou mesmo Tanzânia, no qual, com a pasta proteica se consegue converter em *pellets* e briquetes (Romijn *et al.*, 2014), onde se demonstra, adicionalmente, o impacto económico que essa atividade origina. Na Tanzânia, a JCL foi reconhecida como boa matéria-prima para o fabrico de *pellets* (Draft, 2006). No que corresponde à produção de ácidos húmicos, esta é possível por uma reação de oxidação, conhecida como forma distinta de valorização da *Jatropha* (León, 2013). Importa salientar que se consideram as substâncias húmicas, principalmente os ácidos húmicos, um importante incremento para os fertilizantes aplicados no solo. A principal razão para a ocorrência deste efeito relaciona-se com a alta capacidade de permuta iónica, que provoca uma elevada capacidade de retenção dos fertilizantes no solo, mas também a mantê-los na forma a que as plantas os utilizam.

A Tabela 1, síntese do estado de arte da bibliografia que, de uma forma ou de outra, tentou seleccionar um destino por forma a valorizar de forma sustentável a *Jatropha Curcas Linnus*.

Tabela 1 – Estado de Arte de processos de biorrefinaria

Local	Parte da planta	Processo de biorrefinaria	Produto principais	Referência
China	Óleo da semente	Transesterificação	Biodiesel	Hou (2011)
				Wen (2012)
Moçambique				Rodrigues (2013)
Cuba				Sotolongo (2007)
India				Kumar (2008)
				Ghosh (2007)
				Achten (2010)
Brasil				Bailis (2010)
Tailândia				Prueksakorn (2009)
NA.				Kasim (2010)
México				Nahar (2011)
	León (2013)			

México				Silva (2015)
				Probst (2007)
				Sánchez-Arreola (2014)
Cabo Verde				Correia (2009)
				Semedo (2011)
Indonésia				Nazir (2010)
México	Pasta proteica	Desintoxicação e extração do solvente	Suplemento alimentar animal	Sanchez-Arreola (2014)
				Puello-Cruz (2013)
				Angulo (2013)
				Félix-Bernal (2014)
				Kasuya (2012)
Equador				Fallis (2013)
NA.				Haas (2000)
NA.				Abreu (2008)
Índia	Pasta proteica	Digestão Anaeróbia	Biogás	Chandra (2012)
				Raheman (2012)
NA.				Schmidt (2011)
México				Staubmann (1997)
NA.	Óleo da semente			Nahar (2011)
Indonésia	Óleo da semente e husk			Hendroko (2013)
México	Pasta proteica	Pirólise	Bio-óleo	Silva (2015)
	Casca da semente			Nahar (2011)
Indonésia				Manurung (2009)
India			<i>Briquettes</i>	Ghosh (2007)
México	Casca da semente	Peletização	<i>Pellets</i>	Villa (2013)
				Silva (2015)
Moçambique, Mali e Tanzânia	Pasta proteica			Romijn (2014)
Tanzânia				Draft (2006)
NA.	Óleo da semente	Desintoxicação e refinaria física	Óleo alimentar	Schneider (2013)
México	Casca da semente	Reação de oxidação	Ácidos húmicos	León (2013)

Nota: “NA.” abreviatura para “Não Avaliado”, exprime falta de informação do estudo em questão.

A nível social, há referências sobre as significativas vantagens nas regiões onde ocorre produção de JCL a que anteriormente já se fez referência. Em geral, segundo Eijck *et al.* (2010) a consciência de segurança alimentar tem vindo a ganhar alguma importância, embora persistam algumas disputas sobre o acesso à terra. Os projetos destas plantações geraram um aumento de taxa de emprego considerável, embora na sua maioria de natureza temporária, apesar do cultivo ser considerado como perene e anual (Draft, 2006). De acordo com Jongschaap *et al.* (2007) esta planta tropical concede inúmeras vantagens socioeconómicas a nível regional, especialmente porque os habitantes usufruem novas oportunidades de trabalho onde irão desenvolver novas capacidades de trabalho local em

sistemas agrícolas tradicionais, consegue-se uma fonte de energia local, potenciando dessa maneira atividades mecanizadas reduzindo a pressão de trabalho manual. Pela existência de benefícios fiscais na produção de biocombustíveis, oportunidades de investimento para produtores locais e entrada de subprodutos nos mercados nacionais, são algumas das vantagens de exploração deste arbusto.

A utilização de biocombustíveis pode apresentar-se como uma oportunidade económica significativa para comunidades rurais mais pobres, as quais se baseiam num modo de vida agrícola, projetando-se assim uma descida do preço dos combustíveis, assim como um aumento da produtividade industrial, aumento de alimentos, principalmente como suplemento animal e melhoramento da empregabilidade rural (Brittaine e Lutaladio, 2010). A prática mais comum entende-se pela aposta das comunidades rurais na plantação, sentindo-se os efeitos no mesmo local onde a plantação é realizada. Contudo, os produtos resultantes não são frequentemente utilizados *in situ*.

No entanto, apesar do que a literatura apresenta sobre este arbusto “extraordinário” que, para além de ser um potenciador da redução dos poluentes ambientais (Pandey *et al.*, 2012), controla a erosão do solo pelo vento e água, permite colheitas anuais devido ao seu rápido desenvolvimento (Brittaine e Lutaladio, 2010), beneficia de vantagens agroflorestais como o aumento da área florestal, aumento da biodiversidade, desenvolvimento da fertilidade do solo (Sotolongo *et al.*, 2007), há quem apresente indicações do contrário, assinalando as limitações da planta *Jatropha Curcas Linnus*. Esta planta é referida como uma falsa promessa (Hunsberger, 2010), não sendo considerada um investimento rentável nem sustentável (Pohl, 2010). A falta de informação sobre a manutenção, produção e nível de exploração em várias condições climáticas desta planta tropical complica a sua exploração em variados tipos de terrenos (Euler e Gorriz, 2004), representando dessa maneira, o principal “ponto de estrangulamento” que limita a exploração do potencial da planta (Montes *et al.*, 2013). Em análise do estudo de Romijn *et al.* (2014) foi demonstrado que a plantação de *Jatropha* não é das opções mais viáveis, as razões enumeradas foram as seguintes: os requisitos de capital inicial insuperável; combinação de maturações de colheita lentos e pouco confiáveis; utilização inadequada dos subprodutos e preços competitivos quando comparados ao *diesel* e ao óleo de palma; e uma ineficiente extração mecânica do óleo na semente devido principalmente à falta de escala e experiência. É neste último aspeto que reside a complicação para o envolvimento e proveito de benefícios para as comunidades rurais mais pobres.

De acordo com, Pohl (2010), esta “grande ilusão” com o nome de *Jatropha* aglomera algumas limitações sobretudo por 10 razões, são elas: não garante retorno de capital, não prospera em terrenos marginais, não é resistente a pragas, imperfeição de muitos projetos com esta colheita, compete com a produção de alimentos, provoca deslocamento de comunidades locais, assiste de forma insuficiente às comunidades subdesenvolvidas e por fim, têm um impacto negativo na biodiversidade. Há relatos que a quantidade de óleo extraído da semente não é viável em terrenos baldios (District, 2010), não sendo desta forma uma fonte rentável de biocombustível de segunda geração. Apesar de ter um grande potencial e acrescentar valor ao ambiente explorado em condições áridas e semiáridas na zona tropical, a *Jatropha* não tem sido experimentada em larga escala, enviesando um pouco os resultados obtidos,

especialmente no que diz respeito às reivindicações de exigências nutricionais e do baixo consumo de água e a sua tolerância contra pragas e doenças (Jongschaap *et al.*, 2007). Adicionalmente ao que foi exposto, há também inquietações relativamente ao elevado preço que a desintoxicação da pasta proteica requer (Endelevu Energy, 2009), por essa razão afasta a possibilidade de agricultores possuírem apenas uma monocultura que se rege através desta plantação.

Com a utilização de culturas alimentares para biocombustíveis há um impulso sentido na subida dos preços dos alimentos regionais (World Bank, 2008), criando assim uma dualidade entre Combustíveis *versus* Alimento, que poderá ser ultrapassado pela prepotência da JCL conseguir prevalecer em terrenos inférteis.

O foco, neste momento, é reconhecer todos os atributos da *Jatropha Curcas Linnus* e do seu ciclo de produção mais favorável, por forma a desenvolver e expandir o uso mais lucrativo dos vários produtos da planta (Openshaw, 2000). A Tabela 2 enumera os benefícios e os problemas inerentes a esta planta:

Tabela 2 – Quadro Síntese sobre a *Jatropha*

Benefícios	Problemas
<ul style="list-style-type: none"> • Controlo sobre a erosão do solo; • Aproveitamento e recuperação de terrenos baldios, inférteis ou degradados; • Baixas necessidades agronómicas para o seu desenvolvimento; • Desenvolvimento de novas práticas de trabalho rural; • Boas práticas de armazenamento e processamento das sementes, podendo ser atrasadas de forma a produção de energia em áreas inóspitas; • Desenvolvimento rápido permitindo colheitas anuais; • Oportunidades de investimento atrativo principalmente para o setor privado; • Fitoregulação eficaz com desenvolvimento da fertilidade dos solos; • Capacidade de sequestro de carbono atmosférico; • Capacidade de nutrição humana direta; • Inúmeros benefícios medicinais tradicionais; • Aproveitamento de muitas das suas componentes, com finalidade em várias áreas de aplicação; • Boas propriedades do óleo da semente e dos seus constituintes para a produção de biocombustíveis; • Utilização de energia limpa e renovável com altos rendimentos de conversão; • Redução da pobreza com o aumento de rendimentos locais; • Promoção da taxa de emprego; • Promoção de trabalho para as mulheres; • Produção de suplemento alimentar animal com melhoria no seu desenvolvimento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Possui um genótipo tóxico impróprio para alimento e morfológicamente muito semelhante à estirpe não-tóxica; • Falta de informação sobre a manutenção, produção e nível de exploração; • Delonga na maturidade económica; • Colheita de sementes intensiva e mecanizada; • Possui madeira é moldável e fraca para a sua combustão ou construção; • Não é tolerante ao congelamento, encharcamento, pragas e doenças; • Em certos meios pode tornar-se praga; • A desintoxicação do bolo proteico é muito dispendiosa e nada rentável; • Oscilação do preço pela alta competição; • Promoção do trabalho na maioria de natureza temporária; • Utilização inadequada dos subprodutos; • Ineficiente extração mecânica do óleo na semente; • Requisitos de capital inicial insuperável, não garantido o seu retorno; • Provoca deslocamento de comunidades locais; • Impacto negativo na biodiversidade.

Em questões relativas à escala, capacidades industriais e de comercialização, estas integrantes são abordadas para viabilizar os resultados com a implementação das biorrefinarias na região. É conveniente a produção de *Jatropha* ser realizada por cooperativas nas comunidades subdesenvolvidas. Desta forma geraria benefícios económicos e ambientais, principalmente pela promoção de terrenos baldios devido à falta de terras férteis para os produtos alimentares. Há mercado local em Sinaloa que justifica os custos de produção (Rebeca 2008). Em relação às capacidades industriais, estas são fiáveis e disponíveis, sendo que em 2015, 240 000 ha foram identificados como cultivo de *Jatropha*, na qual 5 ha se encontravam em Sinaloa (Gexsi LLP 2008). No entanto, o custo elevado da produção de biodiesel é o grande impedimento para a sua comercialização em grande escala. Dessa forma, os métodos para reduzir o custo das biorrefinarias podem e devem ser desenvolvidos (Nazir *et al.*, 2012).

1.4. Organização do Trabalho

Esta dissertação inicia-se por uma breve introdução sobre a planta *Jatropha Curcas Linnus*, seguida de uma descrição sobre a área geográfica em estudo, Estado de Sinaloa, na República do México. No Capítulo 3 será iniciado o caso de estudo deste trabalho, onde serão apresentados os processos de biorrefinaria para os três cenários selecionados, seguido do Capítulo 4, no qual é abordado, de forma genérica, o estudo da ACV visando obter os custos operacionais, receitas dos subprodutos, CO₂eq [ton/ano/ha], energia elétrica direta e calor direto utilizados e a energia conseguida através dos produtos produzidos a partir de cada biorrefinaria. Para o Capítulo 5 será efetuada a análise multicritério, integrada numa Avaliação Ambiental Estratégica, dos efeitos de cada um dos cenários estudados, de forma a emergir num desenvolvimento sustentável resultando na obtenção de fatores críticos de decisão e através de uma análise integrada.

No Capítulo 6 é concretizada a avaliação multicritério do modelo agregado que contará com a utilização da ferramenta de apoio à decisão, M-MacBeth® que irá permitir uma análise de sensibilidade e análise robusta admitindo encontrar qual dos cenários será o mais adequado e sustentável para o desenvolvimento da região. Na sétima e última secção do trabalho são apresentados os resultados admitindo uma conclusão com inclusão de propostas para trabalhos futuros.

Em Anexo são apresentados os fluxogramas que garantem uma visão sobre as fronteiras, processos de biorrefinaria e pré-tratamento mecânico aplicados no caso de estudo em questão. Esses diagramas foram possíveis pela aplicação da ferramenta Microsoft Visio 2013 ®.

2. Caracterização dos elementos enquadradores

2.1. *Jatropha Curcas* Linnus

O termo “*Jatropha*” refere-se usualmente à espécie *Jatropha Curcas*, exibida pela Figura 1. Apesar de serem conhecidas aproximadamente 170 espécies desta planta (Dehgan e Webster, 1979), é mais mencionada a espécie *Linnus*. A classificação taxonômica de *Jatropha Curcas* Linnus de acordo com Cronquist (1981) é a que se segue:

Reino – *Plantae*;
Subreino – *Tracheobionta*;
Domínio ou Filo – *Magnoliophyta*;
Classe – *Magnoliopsida*;
Subclasse – *Rosidae*;
Ordem – *Euphorbiales*;
Família – *Euphorbiaceae*;
Subfamília – *Crotonoideae*;
Tribo – *Jatrophaeae*;
Gênero – *Jatropha*;
Espécie – *Curcas*;



Figura 1 – *Jatropha Curcas* Linnus
Disponível: http://www.snipview.com/q/Jatropha_oil

De acordo com Openshaw (2000), a *JC* é a opção mais divulgada nos países tropicais e subtropicais devido a inúmeras razões, que podem ser enumeradas da seguinte forma: consegue ter uma resistência à seca, possui um desenvolvimento rápido relativamente a outras plantações, a sua propagação é muito eficaz, beneficia de um baixo custo da semente (Manurung *et al.*, 2009), apresenta alto teor de óleo comparativamente a outras sementes, tem um período de gestação curto, uma alta adaptabilidade com um bom desenvolvimento e produção das sementes em solos férteis e/ou degradados, e, mais importante, possui adaptabilidade para uma utilização proveitosa de todas as suas componentes ao longo do seu ciclo de vida (Francis *et al.*, 2013). Porém, dado que a *Jatropha* se encontra num período de “domesticação”, os germoplasmas disponíveis carecem de informação genética, têm rendimentos baixos e variam muito de temporada para temporada, têm uma diversidade genética próxima, são vulneráveis a ataques de insetos e doenças e a variabilidade no rendimento e a quantidade de óleo está fortemente influenciada pelo meio ambiente (Pandey *et al.*, 2012).

A título de curiosidade, na Tanzânia, o nome para a JCL é conhecida como “*Mbono Kaburi*” (árvore de cemitério), é plantada de forma a marcar sepulturas e no Brasil a sua plantação tem o objetivo de evitar azares. No *Lake Victoria*, em África, a *Jatropha* é denominada como “*Mwitankoba*” (árvore assassina de trovão), e tradicionalmente todas as residências têm pelo menos uma JCL plantada de

forma a prevenir que a casa seja destruída durante uma tempestade (Stelyus, 2011). Um fóssil descoberto em Belén, Perú situa a existência da *Jatropha* no início do Terciário, há cerca de 70 milhões de anos. No México, conhece-se como "sangre de grado" ou "sangregado" que deriva de um vocábulo *náhuatl* (azteca) que significa, remédio para a boca (Ouwens *et al.*, 2007).

2.1.1. Distribuição Geográfica e Requisitos Agronómicos

Acredita-se que a planta *Jatropha* foi propagada por navegadores Portugueses, partindo do ponto da sua origem, a América Central. A partir daí, foi disseminada para o México, via Cabo Verde e Guiné-Bissau para outros pontos do Mundo como a África e a Ásia (Portner *et al.*, 2014).

Encontram-se genótipos dessa planta em vários locais do Mundo, como Moçambique, muitos países da América Central, ilhas de Cabo Verde e ao longo de zonas tropicais e subtropicais de Ásia e África. Foi transportada para cultivo para o estado de Sinaloa mas foi em Totonaca documentado o primeiro uso das sementes para consumo humano (Valdes-Rodriguez *et al.*, 2013). No México são reconhecidas 45 espécies endógenas, das quais 77% são endémicas, ou seja, encontram-se em locais específicos propícios para o seu desenvolvimento (Rodriguez-Acosta *et al.*, 2010). A sua distribuição selvagem no México encontra-se maioritariamente em 15 dos estados: Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz e Yucatán (Herrera *et al.*, 2010).

A *Jatropha*, como todas as plantações, tem requisitos agro-ecológicos ideias para sua produção e desenvolvimento. Foram estudadas em zonas tropicais e subtropicais, as condições para um crescimento com alto rendimento de todos os seus constituintes. Em acrescento à tolerância à seca, conseguindo proliferar em regiões semiáridas (Draft, 2006), a JCL é altamente adaptável em diferentes condições de pluviosidade (Makkar e Becker, 2009). Porém uma precipitação anual de chuva entre os 300 e os 1200 mm permitem um melhor desenvolvimento da planta (Lozano, 2013). Quanto à humidade, a planta não tolera excesso de humidade no solo por longos períodos, sendo que, resiste a períodos de seca, até um ano sem precipitações, mas apenas quando a planta já se encontra enraizada, contudo, se for nos primeiros meses, é sensível à falta de humidade no solo (Henning, 2009). Conforme Rebeca (2008), a rega mais eficaz para a JCL é através da gota-a-gota, produzindo desta forma maior quantidade de sementes ao ano.

Em relação à temperatura, a JCL consegue suportar temperaturas muito baixas, desde que não sejam abaixo dos 0 °C e resiste a temperaturas maiores que os 40 °C, sempre que tenha humidade suficiente no solo. Há registos que a temperatura média anual deve rondar as 19,3 e 27,2 °C, para que se consiga alcançar o melhor desenvolvimento da planta (Maes *et al.*, 2009). Referindo Lozano (2013), essa temperatura é especificamente 24 °C. No que corresponde à luminosidade, esta requer boa luminosidade para um bom desenvolvimento, tendo em conta que a sombra reduz a sua frutificação e

crescimento. Para o solo, os requisitos são diferentes dependentemente do tipo de clima em observação, a *Jatropha*, para climas de precipitação normal, prefere solos com boa drenagem e com arejamento tolerável sendo os solos mais adequados os solos com textura média, franco arenoso e franco limoso devido ao facto de ter boa drenagem e ter um bom fornecimento de nutrientes. Para climas com precipitação débil, os solos de textura fina, ou seja, os argilosos são solos mais adequados (Lozano, 2013).

Seguindo a classificação climática de *Köppen-Geiger* (1918-1936), conforme dita (Maes *et al.*, 2009), muitas das espécies registadas encontram-se em climas de savana e de monção tropical (Am, Aw) e em climas temperados, sem estação seca e com verão quente (Cfa), enquanto muito poucos foram encontrados no semiárido (BS) e nenhum em climas áridos (BW). Tendo em conta os requisitos mencionados, para o cultivo pode estabelecer-se uma região geográfica mais propícia para o seu cultivo ou para uma proliferação selvagem. Esta zona favorável apresenta-se na Figura 2, onde as linhas vermelhas circuncisam a área na qual *Jatropha Curcas* melhor se desenvolve.



Figura 2 - Locais aclimatados para o desenvolvimento da *Jatropha Curcas*
Disponível: <http://www.joiL.com.sg/22/map-showing-jatropha-belt>

2.1.2. Morfologia

De acordo com Landeros (2013), a JCL é uma planta oleaginosa de ciclo perene, crescimento rápido, porte arbóreo de 2 a 3 m de altura, que dentro das condições ótimas pode alcançar uma altura de 8 m. Apresenta 20 cm de diâmetro do tronco na sua base com ramos laterais, o córtex é liso e de cor branco acinzentado. Tem uma raiz curta e pouco ramificada, a qual está dividida em 5 partes, uma central ou principal e 4 periféricas ou laterais. Esta planta é um arbusto decíduo, que no final de cada ciclo anual fica sem folhas, que, durante a etapa vegetativa são verdes, amplas e brilhantes, longas e alternas, em forma de palmas pecioladas, exibindo nervuras esbranquiçadas e salientes, sem "pêlos", mas mais ou menos pilosa. Considera-se uma planta monoica, apresenta flores masculinas e femininas na mesma planta, as quais produzem rendimento diferente da semente. As inflorescências são

terminais que se formam a nível axial das folhas sobre os ramos. Ambas as flores são pequenas de 6-8 mm, de cor amarelo esverdeado. Com uma esperança média de vida de 50 anos, e cada flor a produzir um grupo com média de 10 frutos por cacho, consegue-se uma quantidade significativa de sementes por planta na sua vida. As sementes amadurecem quando o fruto muda de cor verde para amarelo, mas o comum é crescer 3 sementes por fruto, estas são de cor negra com 2 cm de largura e 1 cm de diâmetro (Benge, 2006).

Esta planta consegue propagar-se tanto a partir de reprodução assexual, como por semente, sendo esta última a mais adequada (Figueroa, 2013). Usualmente utiliza-se a aplicação por semente devido à propagação das plantas apresentarem um desenvolvimento mais rápido e um sistema radicular mais forte através desse processo. Em contrapartida, as plantas propagadas vegetativamente são mais precoces na sua produção, mas o seu sistema radicular é muito débil.

2.1.3. Toxicologia

A toxicidade na *Jatropha* desempenha um papel essencial na avaliação ambiental e sustentabilidade dos produtos e processos (Schneider e Finkbeiner, 2013). A JCL é vista genericamente como sendo uma fonte de biocombustível no México, sendo que o programa da *Forestry Commission* (2016) promove a sua plantação somente para o cultivo energético e não diferencia entre o plantio entre as duas estirpes.

Existem dois genótipos da purgueira, a tóxica e a não tóxica. A toxicidade encontrada deve-se principalmente à presença de uma proteína, a curcina e a ésteres de forbol. As substâncias puras são as toxinas mais perigosas, e para surtir efeito, basta a administração de microgramas, sendo registadas diferentes consequências em diversas espécies animais (Heller, 1996). No entanto, após desintoxicação, foram registados certos níveis de sucesso para a alimentação de gado a partir da pasta proteica não tóxica (Makkar *et al.*, 2007). O genótipo tóxico exibe-se entre as folhas e as sementes serem tóxicas e, apesar de venenosas, as sementes por vezes são torradas e perigosamente comidas (Henning, 2009). Devido a essa toxicidade, esta planta é mais usualmente utilizada para a construção de cercas naturais ou para a produção de biodiesel, pois a sua desintoxicação é pouco rentável (Jongschaap *et al.*, 2007). As variedades de JCL não tóxica distinguem-se pela ausência dos ésteres de forbol nas sementes e, conseqüentemente, na pasta proteica (Francis *et al.*, 2013) apesar das suas quantidades e presença de curcina não serem mencionados (Benge, 2006).

Morfologicamente é complexo encontrar distinções entre o genótipo tóxico e não tóxico. A pasta proteica dos dois genótipos contém uma grande quantidade de proteína, alta energia calorífica, baixo teor de fibra, quantidade de matéria orgânica digerível e a maior parte dos constituintes químicos, todavia, a singularidade são os níveis de ésteres de forbol serem vinte vezes superiores na estripe tóxica do que na não tóxica (Makkar *et al.*, 1997). Os ésteres de forbol são considerados como anti

nutriente que podem causar diversas reações venenosas, e podem aparecer em diversas plantas da família dos *Euphorbiaceae* e *Thymelaeaceae* (Fallis, 2013). Porém, nesta dissertação será utilizado o genótipo originalmente não tóxico, o qual não sofreu uma pré-desintoxicação.

2.1.4. Expansão e composição de interesse

Há mais de 350 espécies oleaginosas no Mundo, mas apenas 63 delas pertencem a 30 famílias distintas e são consideradas como sendo fontes potenciadoras de produção de biodiesel em diferentes países, dependendo das práticas agrícolas e do clima. No que diz respeito à *Jatropha Curcas*, esta é facilmente transformada em biocombustíveis de boa qualidade, sendo descrita como “excepcionalmente intrépida” e resistente a condições não favoráveis biótica e abioticamente (Baldini *et al.*, 2014).

Através de estudos realizados pela “Global Social Investment Exchange” está prevista uma forte expansão no cultivo desta planta. Esta tendência é confirmada pela “International *Jatropha* Organization” que espera 169 milhões de toneladas de sementes a partir de 32,72 milhões de hectares cultivados em todo o Mundo em 2017. Alguns governos como a Etiópia, Senegal, Gana, Tanzânia, Zimbabwe e Quênia estão a promover investimentos estrangeiros através de incentivos. Existem também outros países em que não há legislações ou políticas de suporte relativamente à *Jatropha*, contudo, outros, como Moçambique, colocaram barreiras no investimento desta planta para assegurar que não ocorram conflitos com a produção de alimento. As previsões de crescimento deste cultivo, assim como o seu interesse, estão sem dúvida relacionados pelo facto de a planta ser capaz de explorar as “áreas marginais”, evitando, dessa maneira, a competição com as plantações de géneros alimentícios que são usualmente obtidas a partir de terra mais fértil. Considerando o estudo de Portugal-Pereira *et al.* (2016), o sistema de gestão de uma planta de JCL é considerado sustentável para um sistema agrícola familiar, evidenciando ser um investimento irrepreensível, que consegue trazer benefícios positivos socio-económicos, redução dos GEE e geração de energia. Por essa razão, desde 2004-2005, muitos investidores privados e públicos, ONGs e investidores de projetos decidiram investir na cadeia de *Jatropha* como biocombustível.

Todo este interesse e benefícios apresentados devem-se às características intrínsecas da planta. Através de vários ensaios, foi detetada uma proporcionalidade direta entre o peso da semente e a sua quantidade de óleo e, também, um rácio inverso entre a quantidade de óleo presente ao rácio do peso da casca com o peso da semente (Montes *et al.*, 2013). O óleo obtém-se a partir de um processo de extração por prensagem da semente ou a partir de solventes químicos. Da qual resulta como resíduo uma farinha rica em proteínas, também designada por pasta proteica (Karaj e Müller, 2009). O estudo realizado por Nahar (2014) apresenta a composição físico-química do óleo da *Jatropha Curcas*, ilustrado na Tabela seguinte:

Tabela 3 – Características do óleo da *Jatropha Curcas*

Características/variáveis	Unidades	Valores
Densidade	g/cc (a 20 °C)	0,919
Gravidade específica	- a (20 °C)	0,922
Valor de Iodo	mg/g	103,670
Ponto de inflamação	°C	252
Ponto de ignição	°C	325,800
Número de cetano	-	58,700
Sulfuretos	%	0,128

Como se pode verificar, as características deste óleo podem comparar-se aos conhecidos no óleo de palma (Arvidsson *et al.*, 2011). O óleo da semente da *Jatropha* contém em média 81% de ácidos gordos não saturados e 19% de ácidos gordos saturados, sendo que, o ácido oleico (C18:1) e o ácido linoleico (C18:2) são os mais predominantes, podendo o óleo ser classificado como “oleic-linoleic” (Rodrigues *et al.*, 2013). Entre os ácidos gordos medidos podem enumerar-se: ácido palmítico, 15.5%, ácido esteárico, 6.4%, ácido oleico, 41.5%, ácido linoleico 35.4%, e o rácio de insaturados com os saturados é na ordem dos 3,5 (Baldini *et al.*, 2014). Para além de todas as vantagens enumeradas para a utilização da *Jatropha*, a partir da transformação em biodiesel, esta consegue produzir energia renovável, emitindo 80% menos CO₂, 100% menos de SO₂ que os combustíveis tradicionais (Nahar e Ozores-hampton, 2011) o que indica uma redução das GEE. Aliás, a *Jatropha Curcas Linnus* é reconhecida por produzir biocombustíveis com boas propriedades, sendo que a sua utilização reduz a utilização de energias fósseis para um terço (Hagman e Nerentorp, 2011).

A casca da semente é descrita como tendo um poder calorífico superior semelhante ao do carvão, com cerca de 3 715 kcal/kg (Ghosh *et al.*, 2007), ser rica em lignina (Openshaw, 2000) apesar de ser uma das partes da JCL que é menos valorizada atualmente. A produção num hectare por ano da casca da semente é na ordem da uma tonelada (Achten *et al.*, 2007) e a sua composição química é descrita com tendo 10,2% do seu peso em humidade, 46,6% em carbono, 33,6% em oxigénio, 6,6% em hidrogénio e 3% em cinzas (Manurung *et al.*, 2009). Por outro lado, a pasta ou bolo proteico contém compostos lignocelulósicos, água e minerais (Makkar e Becker, 2009), são ricos também em gordura e proteína, portanto, são considerados material de boa alimentação animal (Chandra *et al.*, 2012).

2.2. República do México e o Meio Ambiente

A República do México, ou Estados Unidos do México, é um país situado na América do Norte e tem como capital a Cidade do México. De acordo com o *Instituto Nacional de Estadística y Geografía Mexicano* (INEGI) tem uma área de 1 972 547 km² e uma população 118 395 054 habitantes (2013). As suas emissões de CO₂eq no ano de 2010 foi na ordem dos 28 000 toneladas de acordo com a

“Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico”, sendo que através dessa organização sabe-se também que o nível de partículas atmosféricas de 2,5 micrómetros foi de 11,9 microgramas por metro cúbico. Sabe-se que o máximo admissível de emissão de partículas tendo em vista a saúde humana é na ordem dos 0,001mg/m³.

O México, de acordo com o *National Development Plan 2013-2018* (NDP) tem uma grande oportunidade para protagonizar uma profunda transformação nacional de forma a desencadear um processo de desenvolvimento do seu país nas próximas décadas. A importância de ter um plano de progresso deve-se à colocação de objetivos e aos caminhos traçados para os alcançar. Uma das estratégias gerais do NDP prende-se por aumentar a capacidade de geração de potência das energias renováveis de 23 para 26% até 2018.

Para o desenvolvimento sustentável do México aprovou-se a *Law for the Use of Renewable Energies and Funding the Energy Transition*, em 2008, no qual descreve fundamentalmente o afastamento do México da dependência de combustíveis fósseis como principais combustíveis utilizados visando tomar medidas contra os efeitos adversos das emissões dos GEE. Para alcançar este objetivo, o governo Mexicano introduziu uma medida designada por *Law on Climate Change*, a partir da qual são traçados objetivos para a redução dos GEE na mesma proporção que países mais desenvolvidos estão inclinados a reduzir. Esta política prende-se com o compromisso de reduzir em 22% emissões dos GEE até 2030. Uma das etapas propostas para a mitigação desses mesmos gases é o aumento da produção de bioenergias como substituição aos combustíveis fósseis.

Conjugando o trabalho do INEGI e NDP traçaram-se cinco metas e estratégias para um programa que faça a gestão e democratização da produtividade no México. Entre os objetivos temos: a promoção do uso eficiente e da alocação dos fatores de produção, o aumento da produtividade dos operários, o fortalecimento do ambiente empresarial para produtores e empresários, o estabelecimento de políticas que aumentem a produtividade ao longo do setor económico, e o reforço do *design* e avaliação das políticas públicas (Sacramento-Rivero *et al.*, 2010). Neste tempo de alterações climáticas, e, segundo a *International Energy Agency* (IEA) (2014), os requisitos globais de energia tem um crescimento previsto de 37% até 2040, pelo que terá que haver um esforço para consolidar esta tendência.

2.2.1. Estado de Sinaloa

Sinaloa, conhecido como o estado agrícola do México é um dos 31 Estados que constitui a República do México, encontrando-se a noroeste do país. O Estado de Sinaloa é repartido em 18 municípios, segundo o INEGI, a sua capital municipal é Culiacán. Tem uma extensão territorial com cerca de 57 365 km², representativo de apenas 2,9% da superfície do país, na qual 2% da sua área é classificada como área de protecção ambiental. De acordo com a *Secretaría de Medio Ambiente y*

Recursos Naturales o seu solo é coberto maioritariamente por selva sub-húmida e os seus terrenos danificados são devido a degradação química.

De acordo com o INEGI, a precipitação média tem valores de 790 mm/ano, a temperatura média do ar ronda os 25 °C, o clima é identificado como maioritariamente seco e semi-seco a húmido quente e uma população de 2 767 761 habitantes (dados de 2010), e uma área total semeada de 16 265 km². A utilização do solo e o seu uso em Sinaloa, partindo das informações da *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*, beneficia uma atividade agrícola que ocupa 35% da superfície território, maioritariamente com o seu cultivo de maior importância, o milho. O *Sistema de Información Energética* disponibiliza informações acerca do consumo de energia do país, sendo que no ano de 2014 foi registado um consumo de energia elétrica *per capita* de 2 015 279 kWh/hab e um consumo *per capita* de energia de 71 969 GJ/hab.

Em Sinaloa existe uma ampla extensão de terreno agrícola temporário, cerca de 600 000 ha, (Lozano, 2013). O *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*, representa entidades Mexicanas classificando-as como alto, médio e baixo potencial para o estabelecimento de plantações de *Jatropha Curcas*. A superfície total da República do México com potencial a nível nacional é acima dos 18,2 milhões de hectares, dos quais, um terço encontra-se com potencial alto e médio para terreno agrícola, de onde se destaca Sinaloa, com 820 000 ha, que se pode classificar como alto potencial. Neste Estado, é impulsionada uma nova visão de desenvolvimento baseada na inovação e orientada a fortalecer e gerar no estado o capital humano, o conhecimento, a investigação e o desenvolvimento económico, interligando estas capacidades com o sector produtivo e do mercado para a geração de novos produtos, serviços e negócios de acordo com o conhecimento, assim como a solução, dos principais problemas da região (Consejo para el Desarrollo Económico de Sinaloa, 2015). Como consequência, a tentativa e promessa de encontro entre a inovação e a sustentabilidade, onde o consumo e produção de energia se tornam mais economicamente viável e socialmente aceitável. Torna-se assim evidente a procura de novas fontes de biocombustíveis a partir da biomassa que englobe benefícios em vários setores agroindustriais, energéticos e sociais para o desenvolvimento do estado em estudo.

3. Sistema de produção a partir da biomassa da JCL

Neste trabalho, são consideradas três configurações distintas de biorrefinaria utilizando a *Jatropha Curcas Linnus* como matéria-prima principal. A nomenclatura empregue aos três percursos é determinada em função dos produtos finais pretendidos. Estes diferem entre serem meramente energéticos, alimentícios, ou uma combinação entre estas duas hipóteses.

Em primeira análise deve descrever-se o sistema de referências como um terreno de um hectare localizado no estado de Sinaloa, a noroeste dos Estados Unidos Mexicanos. Este terreno encontra-se provido com a cultura de *Jatropha Curcas Linnus* não tóxica com densidade de plantação determinada por um espaçamento de 3 x 1,5 metros entre elas. O plantio e manutenção desta cultura, a colheita dos frutos, assim como o tratamento mecânico a que as sementes são submetidas não são critérios preponderantes para a escolha das biorrefinarias, assim sendo, estas etapas são comuns aos três percursos considerados. Após esta etapa análoga às três possibilidades, advém como *input* biológico às biorrefinarias a pasta proteica, o óleo da semente e a sua casca.

Nesta dissertação é exposta uma integração entre três metodologias, a Análise do Ciclo de Vida visa, em primeira instância, recolher informações sobre fluxo de matéria e energia que será utilizada como indicadores quantitativos para a terceira ferramenta, M-Macbeth, apresentada no Cap. 6. A segunda metodologia, Análise Ambiental estratégica aponta para a criação de Fatores Críticos de Decisão que complementaram a árvore de decisão do mesmo *software* M-Macbeth. Desta forma há um culminar das primeiras duas ferramentas utilizadas na implementação da decisão multicritério aplicada com a terceira.

Este capítulo da dissertação serve como apresentação das biorrefinarias utilizadas para a posterior Análise do Ciclo de Vida, permitindo desta forma estimar o impacto ambiental potencial associado ao produto e atividade considerado mais relevante para o estudo, conseguindo assim, reconhecer também os impactes socioeconómicos presentes.

3.1. Produção e Pré-Tratamento

Considera-se um hectare de terreno cultivado com *Jatropha Curcas Linnus* adulta (~10 anos), que perfaz um total de 1 800 plantas (Lozano, 2013). A sua produção durante um ano requer um sistema de rega, mão-de-obra para poda, manutenção, apanha e descasque, aplicação de 1,8 kg fungicida do género *cabendazim* (Landeros, 2013), aplicação de pesticida do género *dimethoate* e *phoxim*, 0,35 kg e 0,3 kg respetivamente (Xunmin *et al.*, 2009) e adubos que contêm 81 kg de azoto, 31 kg de fosfato (P₂O₅), 89 kg de óxido de potássio (K₂O) (Hagman e Nerentorp, 2011).

Com a colheita consegue recolher-se 5 toneladas de fruto desidratado após um ano de cultivo, descontando 15% devido a falhas de produção (Achten *et al.*, 2007). Com o descasque do fruto alcança-se um total de 62,5% de sementes e 37,5% da sua casca (León, 2013). Sendo que, a partir do descasque destas últimas, segundo Silva *et al.* (2015) e Loureiro *et al.* (2013), tem 42% de *husk* (película que se encontra a seguir à casca) e 58% do núcleo da semente. As percentagens acima referidas são relacionadas com o seu peso seco. O rendimento do óleo e da pasta através da extração mecânica obtidos, pelo processo de prensagem mecânica por aparafusamento (Beerens, 2007) utilizados para este trabalho, são respetivamente 59,4% e 40,6%, foi considerada uma densidade do óleo da semente de, $\rho=0,91992$ (Stelyus *et al.*, 2008). Os produtos principais para este trabalho e a utilizar como *input* nas biorrefinarias são a casca da semente, óleo da semente e a pasta proteica, com quantidades de 1,23 toneladas, 2000 Litros e 1,8 toneladas respetivamente.

O tratamento mecânico apreciado encontra-se representado no fluxograma do Anexo I. Estão incluídos os 3 constituintes da planta que serão analisados neste trabalho, a casca da semente, óleo da semente e pasta proteica, com as respetivas quantidades. A exposição deste pré-tratamento serve unicamente para a avaliação das porções destinadas às biorrefinarias, não sendo utilizadas quer para o fórum sócio-ambiental quer para o económico.

3.2. Configuração das biorrefinarias

Neste subcapítulo serão identificados os processos de biorrefinaria utilizados em cada um dos cenários assim como uma pequena apresentação dos produtos e subprodutos produzidos durante esta etapa. A visualização destes será mais fácil a partir dos Anexos nomeados em cada uma das biorrefinarias.

3.2.1. Biorrefinaria I – Produtos energéticos

Em primeira instância é descrita a Biorrefinaria I, também definida como Cenário I, enumerada como o conjunto de processos de transformação da biomassa JCL que providencia produtos energéticos. Os produtos resultantes do pré-tratamento têm diferentes destinos nos processos de biorrefinarias. A casca da semente é sujeita à pirólise, o óleo à transesterificação e o bolo proteico processado num digestor anaeróbio.

A pirólise é um processo de conversão de biomassa lignocelulósica originando novas formas de energia, é uma tecnologia fácil, barata e promissora (Alper *et al.*, 2014). É um processo de decomposição termoquímico que promove a transformação do material orgânico numa matéria sólida e volátil rica em carbono por aquecimento na ausência de oxigénio (Brownsort, 2009). Neste processo a biomassa é termicamente degradada a ~ 500 °C em condições de aerobiose e posteriormente

convertida em produtos sólidos (biochar), líquidos (óleo da pirólise) e produtos gasosos (syngas) (Mohan *et al.*, 2006). O óleo proveniente deste método é conhecido como sendo um bio-óleo ou óleo da pirólise e é reconhecido como um líquido castanho-escuro com um odor intenso, detendo um poder calorífico superior na ordem dos 16-19 MJ/kg, que é cerca de metade do óleo obtido a partir de produtos fósseis. A pirólise pode alcançar uma importância considerável para a biorrefinaria da *Jatropha Curcas* de forma a valorizar a casca da semente (Manurung *et al.*, 2009). O sistema conceptual da pirólise mais utilizado inclui o reactor *fluidised bed*, estudado como o mais rentável e mais eficiente (Bridgwater e Peacocke, 2000). Para além da casca da semente utilizada, foi necessário um *input* significativo a nível ambiental, a energia elétrica (Silva *et al.*, 2015).

A transesterificação entende-se como sendo um processo da biorrefinaria que utiliza um álcool e um catalisador enzimático, ácido ou alcalino de forma a utilizar óleos vegetais e converte-los em biodiesel e glicerina (Attia *et al.*, 2013). De acordo com Fukuda *et al.* (2001), a utilização do catalisador enzimático tem sido a mais utilizada, uma vez que o glicerol produzido como subproduto pode ser facilmente recuperado e a etapa de purificação será mais simples de se realizar. Contudo, neste trabalho para o processo de transesterificação é utilizado um catalisador alcalino, o hidróxido de sódio (NaOH) e para ácido optou-se por o metanol. As etapas deste processo podem ser divididas em 3 fases principais, são elas a filtração, a própria transesterificação dos triglicéridos dos óleos vegetais e posteriormente a purificação, onde se inclui a lavagem e secagem de forma a obter um biodiesel com melhor qualidade (Kasim *et al.*, 2010). Para além dos *inputs* químicos, no processo de transesterificação, há também a necessidade do uso de energia elétrica e vapor (a partir do gás natural) (Pradhan *et al.*, 2011).

O biodiesel, também conhecido pelo nome éster metílico de ácido gordo, ou pelo acrónimo em inglês "FAME - *fatty acid methyl ester*", ganhou, na última década uma importância considerável (Meher *et al.*, 2006), citando parte da diretiva 2009-28-CE, o biodiesel define-se por "um éster metílico produzido a partir de óleo vegetal ou animal, com qualidade de gasóleo, para utilização como biocombustível". As suas vantagens a nível ambiental podem definir-se por permitir baixas emissões de poluentes, não ser tóxico, ter um alto número de cetano, usufrui de uma excelente lubricidade, tem níveis seguros de pontos de inflamação e, a nível económico possibilita a utilização em motores a *Diesel* já existentes (Kurki *et al.*, 2010). A glicerina total, como subproduto, exprime a quantidade de mono-, di- e triglicéridos, da matéria-prima que não reagiu. Valores altos de glicerina representam uma transesterificação incompleta, todavia, a glicerina livre é insolúvel em biodiesel e este deve ser eliminada adequadamente mediante a sua purificação (León, 2013). Esta glicerina tem diferentes usos comerciais, aumenta o valor final da biorrefinaria e ciclo de produção da planta, ela tem aplicações cosméticas, farmacêuticas ou mesmo para produtos de confeitaria (Brittaine e Lualadio, 2010).

A pasta proteica da JCL é uma potencial matéria-prima para a produção de biogás a partir da digestão anaeróbia, a razão deve-se ao fato de esta ser rica em matéria orgânica, que contem entre 56 a 64% de proteína bruta, conseguindo dessa maneira uma produção de biogás com quantidades mais altas quando comparada ao biogás gerado por estrume de vaca, contendo assim maior valor energético

(Pandey *et al.*, 2012). De acordo com Gexsi (2008), os *outputs* são o biogás, com 70% de metano, e como subproduto os digeridos, que por sua vez são capazes de ser utilizados para correção da composição química do solo. Este processo de biorrefinaria é uma forma de aproveitamento da *Jatropha* que requer pouca manutenção e pouco investimento (Raheman e Mondal, 2012), sendo utilizados apenas poucas quantidades de energia elétrica e de calor através de um termostato (Berglund e Borjesson, 2006).

O produto principal considerado nesta biorrefinaria é o biodiesel, que será posteriormente utilizado na região de Sinaloa. Os subprodutos compreendem a glicerina, biogás, syngas, óleo da pirólise e o biochar, que têm a venda como destino. De forma mais ilustrativa, encontra-se o Anexo II descrito como o processo de biorrefinaria I, incluindo nesse diagrama a quantidade dos produtos resultantes e também na seguinte Figura 3 de forma mais sintetizada:

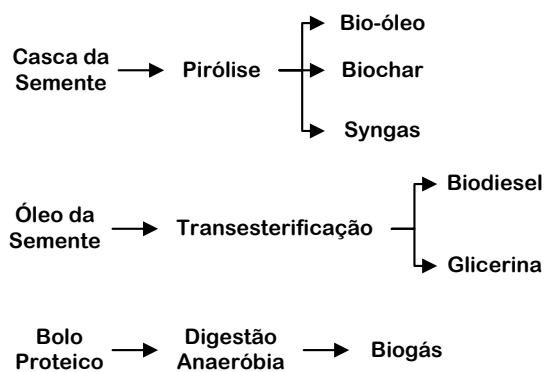


Figura 3 – Biorrefinaria I

3.2.2. Biorrefinaria II – Produtos alimentares

A Biorrefinaria II ou Cenário II define-se como sendo o processo que traduz uma valorização da *Jatropha*, produzindo para isso produtos alimentares. Neste processo, a casca da semente é destinada a uma reação de oxidação, de forma a produzir ácidos húmicos, o óleo é refinado fisicamente com o objetivo de servir de óleo alimentar e extrai-se o solvente ao bolo proteico para produzir alimento equilibrado para animais.

A produção de ácidos húmicos a partir da casca da semente pode ter um efeito importante para a sustentabilidade do ciclo agroindustrial da JC no noroeste do México, propondo-se dar um valor agregado a um resíduo do processo de extração do óleo. Apesar de este não ser um subproduto alimentar desta biorrefinaria, é um incremento importante para a fertilização aplicada no solo da região, evitando a utilização de outro tipo de químicos. Este processo necessita de equipamentos como um cilindro de ar comprimido e um reator de oxidação, assim como a introdução de água e hidróxido de potássio (KOH) para que ocorra a destruição hidrolítica da lignina presente na casca da semente. A

energia elétrica é igualmente essencial pois visa o aquecimento do reator, acelerando e permitindo as condições essenciais aos processos de oxidação (León, 2013).

A refinaria física, processo a que o óleo da semente é submetido, encontra-se dividido essencialmente em 4 fases. São elas a hidratação e “degumming”, neutralização, branqueamento e finalmente, a desodorização (Cmolík e Pokornný, 2000), possibilitando a remoção dos fosfolípidos, assim como metais pesados e pigmentos. Apesar de não haver muita literatura que comprove os resultados deste processo de biorrefinaria devido à inconsistência e incerteza dos resultados, há uma investigação representativa sobre a qualidade e desempenho deste método (Schneider e Finkbeiner, 2013). Quando comparado a outros tipos de refinaria, a refinaria física é mais simples, não apresentando problemas ambientais e sendo economicamente mais viável, mesmo quando realizada em pequena escala (Cvengros, 1995). Este subproduto resultante do processo referido, o óleo para culinária, ostenta uma viscosidade permitindo que sirva para óleo de fritar, porém, é necessário um fogão com queimadores adaptados (Brittaine e Lutaladio, 2010).

Em relação à conversão do bolo proteico, este pode ser utilizado como alimento animal com o processo da extração de solvente (Antonio, 2013) e com a adição de nutrientes (Kasuya *et al.*, 2012). Outros processos podem ser muito mais complicados, incluindo ionizações, tratamentos e infra-estruturas mais complexas. Parte do óleo retirado na primeira etapa pode ou não ser adicionado no óleo da semente que por sua vez tem como destino a refinaria física retratada anteriormente. O alimento balanceado pode ser utilizado para aves, ruminantes ou até mesmo para aquicultura (FEFAC, 2014). Este alimento pode substituir 50 a 75% do alimento utilizado para a alimentação animal sem comprometer o seu desenvolvimento (Makkar *et al.*, 2012), podendo misturar-se com milho ou soja (Fallis, 2013). Este produto é um excelente suplemento tendo em conta que o valor energético líquido do bolo proteico da *Jatropha* é 140 g/kg (Félix-Bernal *et al.*, 2014)

O produto principal tido em conta nesta biorrefinaria é o alimento balanceado para animais, que será aproveitado na região. Por outro lado, os subprodutos são os ácidos húmicos e o óleo alimentar refinado, que serão vendidos. De forma a melhor detalhar este processo, encontra-se no Anexo III o diagrama no qual está representado de forma sucinta os processos, produtos, matérias-primas e outros *inputs* utilizados, assim como a quantidade dos resultantes. A Figura 4 elucidará sobre a representação esquemática desta biorrefinaria:

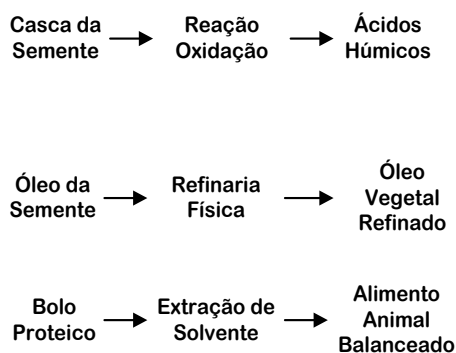


Figura 4 – Biorrefinaria II

3.2.3. Biorrefinaria III – Produtos energéticos e alimentares

Finalmente, para o Cenário III ou Biorrefinaria III considera-se uma mistura entre produtos energéticos e alimentares. Concisamente, a casca da semente tem como destino a peletização formando assim *pellets* energéticos, o óleo da semente sofre transesterificação produzindo biodiesel e glicerina a partir desse processo, realizando-se a extração do solvente da pasta proteica para esta servir de suplemento para a alimentação animal. Os processos destes dois últimos foram previamente explicados.

Recorre-se à peletização como uma solução viável pois a casca da semente revela-se um grande potencial para a conversão biológica e uma fonte energética como briquetes ou *pellets* com um alto conteúdo em cinza (Couto *et al.*, 2004). Entendem-se como uma fonte de energia renovável pertencente à classe da biomassa, as cascas das sementes recolhidas, trituradas e secas, obtendo um pó que, depois de comprimido, se obtém a forma final. A peletização é um processo de biorrefinaria que requer unicamente eletricidade para a sua execução. Com a casca de semente contendo 15% de humidade os *pellets* produzidos detêm um poder calorífico de 4 080 kcal/kg, similar à da madeira de pinheiro (Beauchemin e Tampier, 2010). Espera-se que os *pellets* energéticos contribuam positivamente para a industrial da *Jatropha* em Sinaloa e se consolide dessa maneira um sistema/produto sustentável (Villa, 2013).

O produto principal tido em conta nesta biorrefinaria é o biodiesel e o alimento balanceado, que serão utilizados em Sinaloa. O subprodutos entende-se por ser as *pellets*. No Anexo IV é apresentada esta biorrefinaria de uma forma mais inteligível, incluindo os *inputs* e *outputs* utilizados. A Figura 5 ilustra também de forma esquemática esta biorrefinaria:

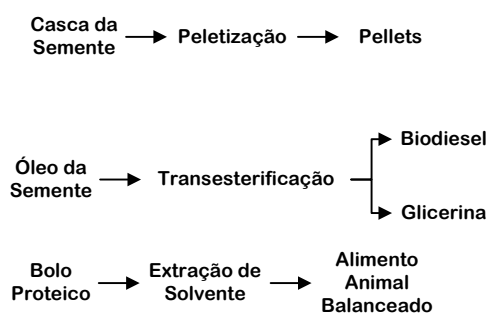


Figura 5 – Biorrefinaria III

4. Análise do Ciclo de Vida

A Análise do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia internacionalmente uniformizada pela norma ISO 14040:2006 e 14044:2006 como sendo “uma técnica (...) que compila o inventário de *inputs* e *outputs* relevantes de um sistema de produção; avaliam os impactos ambientais potenciais associados com essas entradas e saídas; e interpretam o resultado do inventário e as fases do impacto em relação aos objetivos do estudo”. Este instrumento de análise aborda os aspetos ambientais e possíveis impactos ambientais ao longo do ciclo de vida do produto, tipicamente desde a extração da matéria-prima, passando pela produção, utilização, reciclagem e disposição final, dito como “do berço ao túmulo”.

A ACV tem inúmeros objetivos e metodologias, entre eles podemos enumerar algumas, como: apoia a identificação do aperfeiçoamento de oportunidades dos produtos e serviços ao longo do ciclo de vida; assiste a tomada de decisão na indústria; seleciona os indicadores da performance ambientais mais relevantes e adequadas para as técnicas de medição; e, finalmente, encontra um marketing de oportunidades para o produto (Coltro, 2007). Todavia, na origem do ACV, segundo Hirschier *et al.* (2010), o principal objetivo é minimizar a dimensão da poluição. A Análise do Ciclo de Vida compreende quatro etapas: a definição do objetivo, unidade funcional e fronteiras; o Inventário do Ciclo de Vida; a Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida; e a Análise e Melhoramento do Ciclo de Vida (Garcia, 2005). São estas etapas que serão utilizadas como base nesta análise neste capítulo desta dissertação. Nestas etapas determinam-se os *inputs* necessários, as emissões que ocorrem, a energia utilizada durante o ciclo de vida, estimando-se posteriormente quais os impactos dessas emissões anteriormente mencionadas quais as perdas da matéria-prima. Por fim, interpreta-se o resultado do impacto de forma a sugerir novas melhorias (ILCD Handbook: General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance, 2010).

Seguindo como base a investigação de Wolf *et al.* (2012) consegue-se identificar cinco princípios da ACV, em primeiro lugar, esta análise encaminha um estudo sobre uma ampla gama de problemas ambientais numa avaliação integrada; em segundo, ele captura esses problemas de forma científica e quantitativa, resultando assim numa observação relativa e absoluta; o terceiro princípio mostra que a ACV permite que essas pressões ambientais e impactos potenciais identificados se relacionem com o sistema definido *a priori*; em quarto lugar, esta análise integra a utilização de recursos e as emissões ao longo de todo o ciclo de vida do sistema analisado; em último lugar, a ACV facilita comparações do desempenho ambiental de sistemas numa base de igualdade e ajuda a identificar áreas de melhoria.

De acordo com as categorias de impacto (Ecoinvent, 2016) “Mudanças climáticas” e “Escassez de recursos” no caso em estudo, é circunscrita esta ACV exclusivamente para entender alguns dos impactos económicos e ambientais ao longo do ciclo de produção a que a *Jatropha* é sujeita para também mais à frente ser inteligível a forma como estes processos influenciam a região a nível social. Entendem-se esses impactos como sendo, nomeadamente, o CO₂ equivalente emitido [ton], os custos fixos operacionais e as receitas dos subprodutos [pesos], a energia elétrica direta utilizada [kWh], o

calor direto usado [MJ], a quantidade de combustível fóssil utilizado nas biorrefinarias [m³] a quantidade dos produtos principais produzidos, assim como a energia correspondente desses produtos por um ano. Assim, a complexidade e abrangência desta análise será adaptada às exigências do estudo.

4.1. Unidade Funcional

A unidade funcional utilizada para questões do fórum energético, ambiental, económico e logístico é um hectare de cultivo de *Jatropha* num ano.

4.2. Fronteiras

As fronteiras circundam o ciclo de vida da planta e podem ser diferenciadas entre fronteira económica e ambiental. A primeira abrange o processo desde o ciclo de produção da *Jatropha* na biorrefinaria até à venda dos seus subprodutos, por outro lado, a fronteira ambiental analisa os impactos ambientais entre o fim do pré-tratamento até à utilização dos produtos da biorrefinaria *in situ*. As fronteiras encontram-se apresentadas no Anexo V, o qual através do risco a tracejado se encontra a fronteira do estudo económico realizado, a fronteira ambiental está representado com a linha laranja.

Adicionalmente, alguns dos princípios e limitações impostas ao sistema são os seguintes:

- A compra da semente, preparação do terreno, plantio e manutenção do sistema estão a salvo neste estudo
- A fase do pré-tratamento não é tida em conta nos cálculos do ACV;
- Os produtos finais principais das biorrefinarias têm como destino a sua utilização no local, os subprodutos considerados têm como finalidade a sua venda na região;
- No cenário III, onde se produz alimento e energia, os produtos principais considerados são o biodiesel energético e o alimento balanceado;
- Os resíduos atmosféricos, do solo e água destas biorrefinarias não são tidas em conta;
- Estima-se que todos os recursos e energia utilizados neste sistema têm a mesma disponibilidade no mercado e são de origem Mexicana;
- O processo e custo da extração, tal como a deslocação das matérias-primas não são apreciados;
- Considera-se a operação e custo da mão-de-obra igual nos 3 cenários distintos, dessa maneira não se introduz como um critério relevante no estudo;
- Não se tem em conta o transporte entre processos ao longo da cadeia de valor da *Jatropha Curcas*, reconhece-se que todo o sistema ocorre *in situ*;
- A água empregue nos diferentes tipos de equipamentos das biorrefinarias não é ponderada para cálculos a nível quantitativo;

- Os custos variáveis dos equipamentos são desprezados, a sua limpeza, depreciação e manutenção idem.

4.3. Inventário do Ciclo de Vida

O Inventário do Ciclo de Vida (ICV) determina as emissões que ocorrem, as matérias-primas e a energia envolvida durante o ciclo de vida do produto. As incertezas inerentes neste inventário incluem os pressupostos referidos e escolhas para fronteiras do sistema (Allen, 2002). Esta etapa envolve uma recolha de dados e processos de cálculo dos *inputs* e *outputs* mais relevantes para o ciclo de produção. Este processo é iterativo e tem como objetivo uma síntese dos intervenientes do sistema fechado que se considera, com a fronteira apresentada em 4.2., de forma a compreender bem as entradas e saídas associadas à geração e utilização do fluxo de energia e matéria (The International Standards Organisation, 2006).

Na Tabela 4 é possível observar o ICV da biorrefinaria I, sendo que os dados do processo da pirólise foram compreendidos através de Silva *et al.* (2015), Bridgwater e Peacocke (2000) e Boateng *et al.* (2012), a transesterificação através de Pradhan *et al.* (2011), Hou *et al.* (2011), Nazir (2012), Portugal-Pereira *et al.* (2016) e León (2013), enquanto, a digestão anaeróbia com estudos de Berglund e Borjesson (2006), Piwowar *et al.* (2016) e Achten *et al.* (2007). Recorde-se que o produto neste cenário ou biorrefinaria I é o biodiesel, sendo que os restantes *outputs* são considerados subprodutos.

Tabela 4 – ICV da Biorrefinaria I

Biorrefinaria I: Energia								
Pirólise			Transesterificação			Digestão Anaeróbia		
<i>input</i>	Quantidade	Unidade	<i>input</i>	Quantidade	Unidade	<i>input</i>	Quantidade	Unidade
Casca da semente	1,8	ton	Óleo da Semente	2 000	L	Bolo Proteico	1,23	ton
Energia Elétrica	1 952,68	kWh	Energia Elétrica	674,35	kWh	Calor (termostato)	85,417	kWh
			Catalisador (NaOH)	15,5	kg	Energia Elétrica	11,28	kWh
			Álcool (Metanol)	494,79	L			
			Vapor	672,23	kg			
<i>output</i>	Quantidade	Unidade	<i>output</i>	Quantidade	Unidade	<i>output</i>	Quantidade	Unidade
Bio-oil	0,9	ton	Biodiesel	1 784,5	L	Biogás	137 145	m ³
Biochar	0,41	ton	Glicerina	79,76	kg			
Syngas	0,31	ton						

A Tabela 5 apresenta o Inventário do Ciclo de Vida da biorrefinaria II, específica para *outputs* nutritivos. Neste caso, para o processo da Reação de Oxidação utilizaram-se estudos de León (2013),

para a Refinaria Física não foram encontrados estudos com a *Jatropha*, pelo que o estudo teve como amostra a semente de colza com o auxílio de Schneider e Finkbeiner (2013) e por último, o procedimento da Extração de Solvente a partir de Fallis (2013), Kasuya *et al.* (2012), Félix-Bernal *et al.* (2014) e Makkar *et al.* (2012). Neste cenário para produto principal nomeou-se o bolo proteico enquanto os restantes são apreciados como subprodutos.

Tabela 5 – ICV da Biorrefinaria II

Biorrefinaria II: Alimento								
Reação de Oxidação			Refinaria Física			Extração de Solvente		
<i>input</i>	Quantidade	Unidade	<i>input</i>	Quantidade	Unidade	<i>input</i>	Quantidade	Unidade
Casca da semente	1,8	ton	Óleo da Semente	2 000	L	Bolo Proteico	1,23	ton
Energia Eléctrica	63,3	kWh	Ácido fosfórico	1,25	kg	Energia Eléctrica	625,98	kWh
Hidróxido de Potássio (KOH)	216	kg	Ácido sulfúrico	3,57	kg			
			Gás de nitrogénio	0,89	kg			
			Vapor	303,1	kg			
			Energia Eléctrica	48,14	kWh			
<i>output</i>	Quantidade	Unidade	<i>output</i>	Quantidade	Unidade	<i>output</i>	Quantidade	Unidade
Ácidos Húmicos	540	L	Óleo Vegetal Refinado	841	L	Alimento Animal balanceado	1 820	kg

Com o apoio da Tabela 6, que se encontra na próxima página, é possível verificar as entradas e saídas do sistema da biorrefinaria III, apresentada como produtora de energia e alimento. O processo de transesterificação e extração de solvente são semelhante aos apresentados anteriormente, contudo, no que toca ao processo de peletização, os dados facultados advêm de estudos de Mujumdar *et al.* (2000), Beauchemin e Tampier (2010) e Couto *et al.* (2004). Este cenário tem como produtos principais o biodiesel e o alimento balanceado, sendo que os restantes são designados como subprodutos.

Tabela 6 – ICV da Biorrefinaria III

Biorrefinaria III: Energia e Alimento								
Peletização			Transesterificação			Extração de Solvente		
<i>input</i>	Quantidade	Unidade	<i>input</i>	Quantidade	Unidade	<i>input</i>	Quantidade	Unidade
Casca da semente	1,8	ton	Óleo da Semente	2 000	L	Bolo Proteico	1,23	ton
Energia Eléctrica	536,27	kWh	Energia Eléctrica	674,35	kWh	Energia Eléctrica	625,98	kWh
			Catalisador (NaOH)	15,5	kg			

			Álcool (Metanol)	494,79	L			
			Vapor	672,23	kg			
<i>output</i>	Quantidade	Unidade	<i>output</i>	Quantidade	Unidade	<i>output</i>	Quantidade	Unidade
<i>pellets</i>	1,5	ton	Biodiesel	1 784,5	L	Alimento Animal balanceado	1 820	kg
			Glicerina	79,76	kg			

A água utilizada nas biorrefinarias não foi avaliada quantitativamente, assumindo-se dessa maneira sem significado para a contribuição do impacto global ambiental. Em relação às emissões, apenas serão contabilizadas as emissões indiretas da energia elétrica e as emissões diretas de calor, provenientes de gás natural. Além disso, as condições locais não foram adequadamente tratadas no estudo pois foram empregados dados em pontos distintos.

4.4. Avaliação do Impacto no Ciclo de Vida

Segundo “The International Standards Organisation” (2006), a Avaliação do Impacto no Ciclo de Vida (AICV) permite, tal como o nome indica, explorar informações adicionais sobre os resultados do ICL do sistema de forma a compreender o seu impacto ao longo do ciclo de vida. Esta fase do ACV tem o objetivo de avaliar o significado das potenciais influências que o ciclo de vida impõe no meio ambiente e nos recursos naturais, associando dessa maneira os dados do inventário com as categorias de impacto e indicadores relevantes ao escopo do estudo.

Em primeira instância, relativamente à poluição atmosférica, para o cálculo das emissões de CO₂eq durante um ano num hectare de plantação de *Jatropha*, devem estar presentes as seguintes considerações necessárias para a elaboração do AICV:

- O fator médio de emissões de eletricidade (FMEE) no México toma o valor 0,4999 tCO₂eq/MWh (dados de 2013) segundo a “Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales”;
- Dados do “The World Bank” apresentam 15% de perdas de transporte de eletricidade no México (em 2012), o que traduz o trajeto desde o local de produção no México, até à sua utilização;
- O Potencial de Aquecimento Global para um espaço temporal de 100 anos segundo “Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)” é 1 para CO₂, 21 para metano e 298 para o N₂O sendo esta uma medida de determina a contribuição de determinado GEE para o aquecimento global onde emissões;

- O fator de emissão por tipo de combustível foi retirado IPCC e demonstra que a Intensidade de Carbono (IC) do Gás Natural é $56,9 \pm 3,4$ gCO₂eq/MJ LHV e do carvão ativado $95,7 \pm 7,0$ gCO₂eq/MJ LHV;
- De acordo com “Abraxas – Energy Consulting” 1m³ de Gás Natural produz a 31,56 MJ conseguindo, a partir dela, criar 15,72 kg de vapor.

Inicialmente somam-se os valores da energia elétrica ao valor do calor direto, pela conversão de MJ proveniente do Gás Natural envolvido nos processos de cada uma das biorrefinaria. Para o cálculo das toneladas de dióxido de carbono equivalente foi necessária a seguinte fórmula para a emissão indireta de energia elétrica e emissão direta de calor respectivamente:

$$Emissões\ indiretas\ energia\ elétrica = FMEE \left[\frac{tonCO_2eq}{MWh} \right] \times 1,15 \times Energia\ Elétrica\ [MWh] \quad (1)$$

$$Emissões\ diretas\ de\ calor = \sum IC\ [g/MJ] \times Calor\ direto\ [MJ] \quad (2)$$

Finalmente, o total de CO₂eq [ton/ano/ha] de cada biorrefinaria será a soma destas duas últimas equações, a qual resulta em 1,62, 0,45 e 1,12 respectivamente. A Tabela 7 apresenta os valores conseguidos a partir das considerações prévias.

Tabela 7 – Emissões de CO₂eq nas Biorrefinarias

Indicadores	Biorrefinaria I	Biorrefinaria II	Biorrefinaria III
Energia eléctrica [kWh/ano/ha]	2 723,72	737,42	1 836,60
Calor direto [MJ/ano/ha]	1 349,59	608,51	1 349,59
Emissão indiretas de energia eléctrica em CO ₂ eq [ton/ano/ha] (1)	1,54	0,41	1,04
Emissão diretas de calor em CO ₂ eq [ton/ano/ha] (2)	0,076	0,035	0,076
Σ CO ₂ eq [ton/ano/ha]	1,62	0,45	1,12

De forma a atender às pressões ambientais derivadas do uso de energia fóssil teremos que supor duas noções essenciais. Em primeira instância, a produção de vapor via calor para os processos de biorrefinaria são adquiridas por Gás Natural e, em segundo lugar, de acordo com a “Comisión Federal de Electricidad”, 81,24% (em 2014) da energia elétrica gerada no México através de centrais termoelétricas a partir da utilização de hidrocarbonetos, combustíveis fósseis, em que 56% dessa eletricidade é gerada graças ao gás natural com unidade de geração a vapor. A quantidade de combustível utilizado para gerar energia elétrica depende da taxa de eficiência de calor ou do gerador da central em questão e da taxa de calor do combustível. A eficiência das centras de energia variam também com o tipo de geradores, controle de emissão e tantos outros fatores, contudo, para questões

de cálculo podemos supor que o gás Natural necessita de 0,0002862833 m³ para produzir 1 kWh de energia elétrica (EIA, 2016).

Dessa maneira, conseguimos saber a quantidade da utilização deste recurso natural em cada biorrefinaria de forma a saber os impactos que têm no meio ambiente. Os resultados encontram-se na Tabela seguinte:

Tabela 8 – Gás Natural Utilizado nas Biorrefinarias

Cenários	Gás Natural [m ³ /ano]
Biorrefinaria I	43,54
Biorrefinaria II	19,49
Biorrefinaria III	43,29

A quantidade dos produtos principais está indicada na Tabela 9, sendo que a “energia obtida” mencionada diz respeito à utilização desses produtos como fonte de energia. Por outras palavras, consegue distinguir-se a energia do biodiesel pela sua queima, onde a unidade de medição é a energia térmica registada, por outro lado, o alimento animal balanceado, avalia-se de acordo com o valor energético que ele fornece com a sua ingestão. Algumas das premissas importantes para estes cálculos são as seguintes:

- O biodiesel considera-se com densidade relativa, $\rho=0,92$, e um baixo poder calorífico entre 39,6 e 41,8 MJ por cada quilograma de biocombustível (Correia, 2009);
- A pasta proteica biorefinada com 20% de massa seca, a qual balanceada com outro tipo de alimento aumenta a energia calorífica líquida do alimento animal, contém 0,54 Mcal/kg (Kasuya *et al.*, 2012);
- 1 Mcal=4.184 MJ.

Utilizando estes princípios como base para a medição apresenta-se a seguinte tabela, na qual se exibem os produtos utilizados na região de Sinaloa em cada uma das biorrefinarias a partir dos determinados produtos resultantes das respetivas biorrefinarias.

Tabela 9 – Energia e quantidade dos produtos principais

Cenários	Produtos principais	Quantidade/ano	Energia obtida /ano
Biorrefinaria I	Biodiesel	1 784,5 L	65 669,6 MJ
Biorrefinaria II	Alimento animal balanceado	1 820 kg	4 108,69MJ
Biorrefinaria III	Biodiesel	1 784,5 L	69 778,29 MJ
	Alimento balanceado	1 820 kg	

4.5. Análise e Melhoramento do Ciclo de Vida

A Análise e Melhoramento do Ciclo de Vida (AMCV) entende-se como a fase final da ACV e resulta na interpretação dos resultados sumarizados e discutidos das duas etapas anteriores. De acordo com Singhofen (1996), a AMCV realiza uma avaliação da relação entre o ICL e AICV utilizando um procedimento sistemático para identificar, qualificar, avaliar e apresentar as conclusões tendo em conta o desígnio principal consultando recomendações e estudos futuros.

Os gases efeito de estufa são os principais gases responsáveis pela retenção de calor na atmosfera, aquecendo a superfície terrestre, absorvendo a energia que provém do sol, abrandando assim o ritmo que a energia escapa para o espaço. O potencial de aquecimento global (PAG) aparece desta maneira como forma de permitir comparações entre os impactos do aquecimento global do efeito dos diferentes gases efeito de estufa. Define-se como a medida da quantidade de energia que uma tonelada de gás absorve num determinado período de tempo em relação às emissões de uma tonelada de dióxido de carbono. Quanto maior for o PAG, mais influência esse gás tem para aquecer a superfície terrestre em comparação ao CO₂. Em relação ao dióxido de carbono equivalente, CO₂eq, define-se como uma medida bastante utilizada para equiparar as emissões dos vários gases de efeitos de estufa baseado no seu potencial de aquecimento global (OCDE, 2016). Acrescentando importância à medição deste parâmetro, foi implementado nos países da OCDE, um imposto que incide sobre o teor de carbono libertado, de forma a apoiar a diminuição de emissões, mostrando-se mais eficientes do que a regulamentação direta.

Pode verificar-se pela Tabela 7 que a biorrefinaria que produz mais CO₂eq é o cenário produtor de energia, cenário I, seguindo-se do cenário III e, como menor emissor, a segunda biorrefinaria (cenário II). Assim sendo, pode afirmar-se que a biorrefinaria I produz mais emissões de concentração efetiva de todos os gases de efeito estufa devido ao processo da Pirólise, afetando assim, em maior grau a atmosfera terrestre e aumentando a pegada de carbono. Estes dados, aquando comparados com valores do trabalho de Achten (2010) que incide sobre o CO₂eq emitido pela biorrefinaria de transesterificação de óleo de palma em um hectare num ano, 3,8 ton CO₂eq, mostram-se ser significativamente mais baixos.

A utilização de energia fóssil contribui para muitos dos problemas ambientais atuais. Esta categoria de impacto inclui todos os usos diretos e/ou indiretos de energia fóssil ao longo do ciclo de vida do produto que se origina de uma fonte de energia fóssil (Hagman e Nerentorp, 2011). No México, em 2015, apenas 52,6% da população urbana tinha acesso a combustíveis fósseis não sólidos (EIA, 2016), na qual 40% da energia primária foi gás natural o que representa uma pequena amostra de aquisição e disponibilidade de energia fóssil nos meios urbanos. A quantidade de gás natural utilizada é por pouco um empate entre a biorrefinaria I e III, enquanto o processo alimentício fica em último lugar como menos utilização desse combustível fóssil, esta informação encontra-se presente na Tabela 7. Contudo, os valores não são muito elevados quando comparados aos utilizados em meios urbanos para o setor agrícola, principalmente devido à maioria do gás natural consumido ser para a produção de eletricidade.

Relativamente aos dados sobre a quantidade de produtos principais produzidos através das biorrefinarias, exibido pela Tabela 9, este indicador tem um peso socioambiental significativo e depende maioritariamente das necessidades do território, não olvidando que a biorrefinaria I e III têm sensivelmente a mesma quantidade de energia e *output*. Todavia, terá que se ter especial atenção à dualidade “alimento *versus* combustível” como papel decisivo na equação, determinada pela situação na região, sobretudo porque a *Jatropha Curcas Linnus* se trata de um uma cultura que providencia biocombustível de segunda geração. Sucintamente, este debate iniciou-se com o aumento dos preços dos alimentos por volta de 2011 combinado com a identificação da volatilidade energética e alimentar que se poderá desenvolver num futuro próximo. A ânsia pela independência de fontes de energia fóssil promoveram a produção de biocombustível a partir da aplicação de culturas alimentares o que gerou insegurança alimentar global (Tenenbaum, 2008). Esta controvérsia intensifica-se em países subdesenvolvidos e pela utilização da estirpe não tóxica da *Jatropha*, sendo que esta poderá servir para os dois tipos de finalidade. O objetivo essencial para esta análise será identificar qual a necessidade e disponibilidade de combustível e energia aparente na região (Liska *et al.*, 2007) de forma a maximizar a curva oferta/procura no que corresponde ao alimento e combustível.

4.6. Análise Económica

Recorrendo à Análise do Ciclo de Vida, mais propriamente à etapa ICV por forma a encontrar a quantidade de produtos e subprodutos obtidos, consegue-se adquirir conhecimentos relativamente à componente económica inerente ao longo do ciclo de produção da *Jatropha*, atendendo apenas à quantificação dos custos fixos operacionais dos *inputs* de matéria e energia e às receitas que se obtém pela venda dos subprodutos. Antes de mais deverão sublinhar-se algumas premissas a considerar para este estudo económico como:

- A energia elétrica e o gás natural supõem-se produzidos nos Estados Unidos do México e a sua utilização é via utilitária não comercial tendo em conta que o nosso sistema é doméstico/agrícola de pequena dimensão;
- A casca da semente, o seu óleo e a pasta proteica não se insere neste estudo económico pois eles provêm do tratamento anterior e não foram considerados;
- A unidade monetária utilizada é o peso mexicano, \$ (MXN), em que a sua unidade corresponde a 0,047 €, segundo “Yahoo Finance” (29-07-2016 14:47 GMT)
- O custo de energia elétrica por quilowatt-hora consumida no período diurno é 0,56 \$ pela “Comisión Federal de Electricidad” em Março 2016;
- Com a “Comisión Reguladora de Energía” foi obtido o valor 61,67 \$ por GJ de Gás Natural para usuários finais;
- Através da compra no Mercado Livre do México consegue-se carvão ativado a 72 \$ por quilograma;

- Relativamente aos custos operacionais, o preço do catalisador e álcool utilizados na transesterificação foram retirados do estudo de León (2013), o custo de Hidróxido de Sódio próprio para o reator de oxidação obteve-se por Villa (2013), os restantes produtos encontram-se no Mercado Livre Mexicano;
- A venda dos subprodutos a nível nacional é realizada sobretudo *online* através do Mercado Livre;
- As taxas de juro, gastos de distribuição, transporte ou administrativos, os custos fixos e os investimentos iniciais não são estimados.

A Análise Económica da biorrefinaria I é descrita com detalhe no Quadro 10, no qual estão representados os três processos integrantes com os respetivos custos operacionais dos *inputs* da biorrefinaria e da receita dos subprodutos [\$/ano].

Tabela 10 – Análise Económica Biorrefinaria I

Biorrefinaria I					
Pirólise		Transesterificação		Digestão Anaeróbia	
<i>input</i>	Custos Operacionais [pesos/ano]	<i>input</i>	Custos Operacionais [pesos/ano]	<i>input</i>	Custos Operacionais [pesos/ano]
Energia Elétrica	1 093,50	Energia Elétrica	377,63	Termostato	47,83
		Catalisador (NaOH)	232,5	Energia Elétrica	6,314
		Alcool (Metanol)	4 136,51		
		Gás Natural	83,23		
<i>output</i>	Receita dos subprodutos [pesos/ano]	<i>output</i>	Receita dos subprodutos [pesos/ano]	<i>output</i>	Receita dos subprodutos [pesos/ano]
Bio-oil	4 418	Glicerina	12 660,32	Biogás	1 043,16
Biochar	20 700				
Syngas	6 001,82				

Para a biorrefinaria II encontra-se a Tabela 11, na qual está explícita a análise económica inerente a este sistema que produz elementos alimentares. Especial atenção deve ser dada ao processo de extração de solvente, no qual não se considera ter receita de subproduto tendo em conta que o único *output* é o alimento animal balanceado, o qual será vendido.

Tabela 11 - Análise Económica Biorrefinaria II

Biorrefinaria II					
Reação de Oxidação		Refinaria Física		Extração de Solvente	
<i>input</i>	Custos Operacionais [pesos/ano]	<i>input</i>	Custos Operacionais [pesos/ano]	<i>input</i>	Custos Operacionais [pesos/ano]
Energia Eléctrica	35,44	Ácido fosfórico (85%)	16	Energia Eléctrica	350,55
Hidróxido de Potássio (KOH)	550,8	Ácido sulfúrico (96%)	404,08		
		Gás de nitrogénio	40,51		
		Gás Natural	37,53		
		Energia Eléctrica	26,95		
<i>output</i>	Receita dos subprodutos [pesos/ano]	<i>output</i>	Receita dos subprodutos [pesos/ano]		
Ácidos Húmicos	8 100	Óleo Vegetal Refinado	1 401,66		

A Tabela 12 tem a análise económica realizada na Biorrefinaria III, a partir do qual se conseguem os custos operacionais e a receita conseguida através dos subprodutos.

Tabela 12 – Análise Económica Biorrefinaria III

Biorrefinaria III					
Peletização		Transesterificação		Extração de Solvente	
<i>input</i>	Custos Operacionais [pesos/ano]	<i>input</i>	Custos Operacionais [pesos/ano]	<i>input</i>	Custos Operacionais [pesos/ano]
Energia Eléctrica	300,31	Energia Eléctrica	377,63	Energia Eléctrica	350,55
		Catalisador (NaOH)	232,5		
		Álcool (Metanol)	1 136,51		
		Gás Natural	83,23		
<i>output</i>	Receita dos subprodutos [pesos/ano]	<i>output</i>	Receita dos subprodutos [pesos/ano]		
<i>pellets</i>	6 375	Glicerina	12 660,31		

A soma quer dos custos operacionais como das receitas provenientes dos subprodutos em cada uma das biorrefinarias encontra-se sintetizada na Tabela 13. Subtraindo os valores apresentados nas

primeiras colunas consegue-se o valor do lucro alcançado por cada biorrefinaria. Verifica-se que a biorrefinaria I é dos cenários que produz maior lucro com 38 845,776 \$/ano:

Tabela 13 – Análise Económica das Biorrefinarias

Cenários	Custos Operacionais [pesos/ano]	Receitas dos subprodutos [pesos/ano]	Lucro [pesos/ano]
Biorrefinaria I	5 977,525	44 823,300	38 845,776
Biorrefinaria II	1 461,873	9 501,667	8 039,794
Biorrefinaria III	2 480,738	19 035,317	16 552,579

5. Avaliação Ambiental Estratégica

Para o modelo de avaliação multicritérios serve-se como técnica a metodologia desenvolvida por Partidário (2012), sobre a Avaliação Ambiental Estratégica (AAE), e em particular a ferramenta dos Fatores Críticos de Decisão (FCD). Esta AAE distingue-se de outros modelos de avaliação multicritério pois integra uma avaliação estratégica a longo prazo obedecendo aos objetivos criados, não aplicando somente critérios segundo métodos sistemáticos e semi-quantitativos e características de análise multicritério regulares. Cria-se a partir desta avaliação um paradigma enriquecedor e combinado de questões sustentáveis, as quais conservam as condições ideais para a região. De acordo com a Agência Portuguesa do Ambiente, a AAE é um instrumento de apoio à tomada de decisão que visa a promoção do desenvolvimento sustentável. Contudo, esta ferramenta não será aproveitada no seu potencial total pois será conjugada com outro instrumento de apoio à decisão que fornecerá a avaliação final entre as três hipóteses em estudo de acordo com os dados adquiridos. Uma conjugação entre estes modelos permite uma avaliação multicritério mais completa, pois os melhores atributos de cada um dos modelos será utilizado.

A AAE é usada neste trabalho como forma de definir os fatores críticos de decisão (FCD), ilustrar quais as principais tendências do sistema e descobrir a melhor técnica de envolvimento estratégico de todos os agentes envolvidos. Integram-se, desta maneira, as questões ambientais e de sustentabilidade nos processos cíclicos de decisão concentrando-se sobretudo no seu desenvolvimento. Esta ferramenta posiciona-se “de forma flexível em relação ao processo de decisão, assegurando uma forte interação, e frequente iteração [...] integrando as questões biofísicas, sociais, institucionais e económicas relevantes, mantendo o foco estratégico em poucos mas críticos temas [...] assegurando o envolvimento ativo dos agentes interessados através de diálogo e de processos colaborativos que conduzem à redução de conflitos e a resultados *win-win*” (Partidário, 2012, p.11). Os FCD asseguram uma forte convergência nas questões mais importantes de decisão, contemplando uma integração vital para o objetivo da dissertação e constitui uma “janela de observação [...] seguindo o princípio da parcimónia” (Partidário, 2012, p.36).

Pela própria origem da palavra, a sustentabilidade define-se como um progresso que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as próprias necessidades. Esta compreende dois conceitos que devem ser tomados em consideração: por um lado, a máxima priorização de desenvolvimento sustentável para países subdesenvolvidos, e por outro, o reconhecimento das limitações impostas pelos governos, pelas tecnologias, organizações sociais e pela época, sobre a capacidade do ambiente satisfazer as próprias necessidades (IISD, 2016).

Esta dissertação assenta na premissa da constante avaliação do ciclo de vida sustentável como técnica de medição de evoluções na sociedade (UNEP Setac Life Cycle Initiative, 2009). Dever-se-á fazer jus ao facto de harmonicamente se conseguir uma ideologia de desenvolvimento sustentável, o

plano mais atraente, com a conjugação de uma abordagem ao longo do nível social, ambiental e económico. De acordo com Garcia (2005), é possível apresentar o diagrama da Figura 6, que representa esta fusão tão necessária para os dias de hoje.

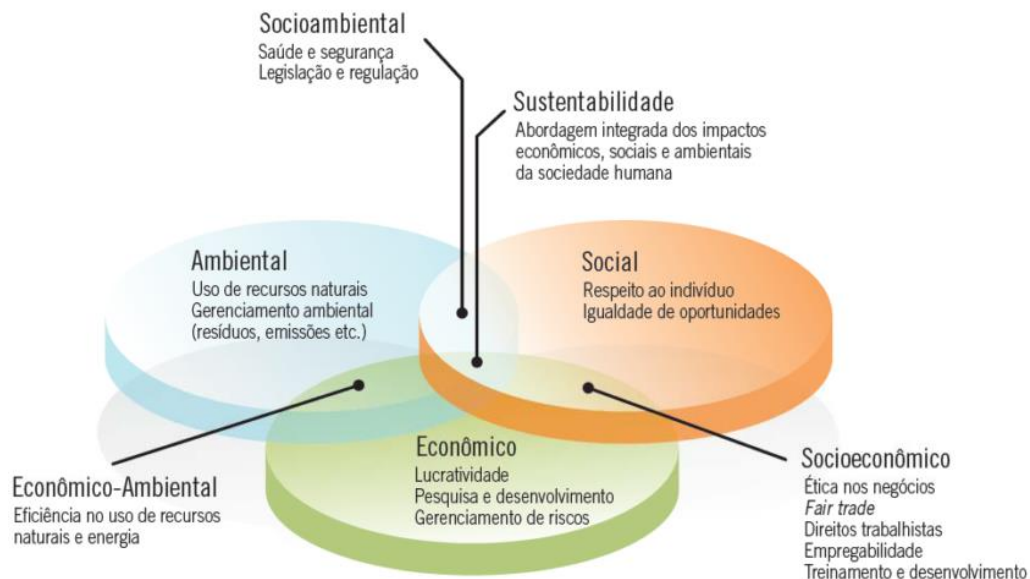


Figura 6 – Desenvolvimento Sustentável e os seus 3 pilares
Disponível: Garcia (2005)

Com esta figura é possível identificar os três pilares que suportam a sustentabilidade global sendo que, o seu foco principal é o bem-estar da humanidade. A integridade do sistema socio-ecológico, a equidade intergeracional, a civilidade socio-económica e governação são alguns dos integrantes desta ideologia (Gibson, 2006). Esta figura representa, assim, o interesse pela conjugação destes três pilares, ostentado a mesma relevância no desenvolvimento de um sistema.

Desta forma, a AAE tomada a cabo neste capítulo segue em concordância com a ideologia do desenvolvimento sustentável. Com esse princípio dever-se-á conjugar as vertentes adquiridas nas secções anteriores e associá-las aos impactos sociais inerentes a cada uma das biorrefinarias a nível regional. O objetivo será gerar critérios de ponderação com os respetivos indicadores e ponderações para se conseguir formular um modelo de apoio à decisão com o auxílio da ferramenta M-Macbeth aplicada no capítulo 6.

A definição do âmbito da AAE já foi previamente debatida nos capítulos anteriores, sendo que o problema de decisão já foi definida. Será ainda necessário estabelecer prioridades e obter um quadro de avaliações dos FCD. Para isso, é indispensável identificar os objetivos e questões estratégicas conjuntamente com a análise do sistema em questão. Trata-se, assim, dos fatores fundamentais que definem Sinaloa, os seus pontos fracos e o que se consegue aperfeiçoar através das biorrefinarias. Após essa etapa definem-se os FCD de forma a assegurar o enfoque estratégico e fornecer uma estrutura para a avaliação posterior.

5.1. Análise de Tendências do Sistema

Em primeira instância, é necessário reconhecer os objetivos da região com a implementação de cada uma das biorrefinarias e identificar as questões estratégicas preponderantes para o problema de decisão vital como forma de priorizar e conhecer os aspectos que podem interferir com esses objetivos marcados, ou mesmo aqueles que aumentam a dinâmica sustentável pretendida. Enumeram-se seguintes objetivos para a região estudada nesta dissertação:

- Promoção do desenvolvimento económico da região de Sinaloa, assim como a geração de empregabilidade rural associada à instrução da população;
- Aumento da aquisição de energia e/ou alimento animal da região;
- Melhoramento do padrão de vida da população tendo em conta a sua educação e o seu labor atual;
- Promoção da diminuição das emissões atmosféricas;
- Aproveitamento dos terrenos baldios para culturas agrícolas.

Definidos os objetivos é necessário conhecer os problemas que mapeiam, as principais dificuldades e as principais potencialidades e forças motrizes que impulsionam o cumprimento dos objetivos supramencionados. Estes estão apresentados na Tabela 14, no qual são apresentados os principais problemas na região de Sinaloa, os seus respetivos sintomas assim como as potencialidades auxiliaadoras dos objetivos em questão.

Tabela 14 – Problemas fundamentais em Sinaloa e os seus sintomas

Principais problemas	Principais potencialidades
Vulnerabilidade Sócio-Ambiental	Plano de redução das emissões atmosféricas
Pobreza e iniquidade social	Quantidade significativa de terrenos baldios e férteis que não servem para produzir outro tipo de cultura
Baixo nível de escolaridade	Cumprimento de incentivos governamentais à agricultura e ao setor das energias renováveis
Degradação dos solos	Agricultura em larga escala
Pressão sobre os Recursos	Potencialidade de produção de energia tendo em conta os seus recursos renováveis
Acesso desigual à energia	
Disponibilidade de recursos	
Nível Tecnológico	
Baixo desenvolvimento tecnológico	

No que corresponde à tabela anterior pode referir-se que no México, cerca de 45% dos solos apresentam algum género de degradação (Secretaria De Medio Ambiente Y Recursos Naturales,

2007), evidenciando a necessidade de aproveitamento nesse tipo de terrenos. Contudo, a promoção da recuperação dos terrenos estéreis acontece em qualquer um dos cenários possíveis, pois a utilização da planta resulta em um aproveitamento dessas áreas baldias.

O México define-se como um país de desigualdade. São raros os países existentes que apresentem uma diferença tão avassaladora na distribuição de riqueza, cultura, cultivo do solo ou mesmo na indústria. A desigualdade social é nítida e marca a vida quotidiana da maioria dos mexicanos. Não se refere a uma iniquidade apenas a nível económico, mas também a nível educacional, podendo esta disparidade social ser apresentada através do coeficiente de Gini, no qual em 2010 o México detinha o valor 0,023, que denota uma desigualdade nítida (Krozer e Moreno-Brid, 2014). Poderá afirmar-se que mais de 34 milhões de pessoas sofrem deficiências que atrasam a aprendizagem, elevando o nível de analfabetismo ou possuindo apenas quatro anos de habilitações académicas, sendo que "os pobres são pobres de educação" Monroy (2016). A constante guerra contra os cartéis de droga existentes no país, especificamente o cartel de Sinaloa no nosso caso, adicionalmente aos níveis de actividade criminosa e delinvente no México estão significativamente associados com o baixo nível de educação entre os jovens e, conseqüentemente às altas taxas de desemprego entre os mesmos (Forbes, 2016), dificultando assim o desenvolvimento da educação e naturalmente, da criação generalizada de riqueza.

Conjugado a disparidade social, o índice de incidência da pobreza no México corresponde a 53,2% da população (The World Bank, 2016), sendo que 1% dos mais ricos do país detém 43% da riqueza em que os ativos de 4 multimilionários perfazem 9% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional. Apesar de muitos esforços governamentais, não têm sido possíveis melhorias ou oportunidades para alterar esses números (Lee, 2016). Aliado a esses fatos associa-se a questão do salário médio em zonas rurais ser de 3 a 4 vezes mais baixo quando comparado ao salário nas zonas urbanas (Cady, 2016). Contudo, há apoios económicos e materiais para a agricultores e criadores de gado. Os mais frequentes circunscrevem subsídios sobre a prevenção de pragas, em suplemento alimentício, proteção contra doenças agrícolas, revegetação ou reflorestação para produtores de gado como forma de incentivos (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuárias, 2010) de acordo com a quantidade de unidade animal (bovino adulto de 400 a 450 kg) que cada beneficiário possui. Estes incentivos encorajam a população a refugiar-se em zonas rurais e estabelecerem aí o seu domínio.

Por outro lado, existem também incentivos governamentais no que toca à produção autónoma e singular de energia via produtos renováveis. Estes estímulos fiscais beneficiam os empreendedores que utilizam energia limpa aplicando uma diminuição para metade dos impostos aplicados, ou ajuda na aquisição de painéis fotovoltaicos, instrumentos para compostagem ou mesmo outro tipo de equipamentos que são necessários para a produção de energia renovável (Altec, 2013). Seguindo esta linha de pensamento, atualmente existe um desafio entre a oportunidade de desenvolvimento e a implementação de tecnologias de biorrefinaria a nível nacional no México (Sacramento-Rivero *et al.*, 2010). Este país foi identificado numa posição privilegiada devido à sua vasta capacidade de recursos naturais e avançada inovação tecnológica. Contudo, tem-se verificado uma redução anual sobre o orçamento nacional de ciência e tecnologia em conjunto com a falta de estratégia nacional para priorizar

o desenvolvimento de biorrefinarias, sendo que dessa forma a acessibilidade às tecnologias e inovação vai tornar-se mais complicada.

No que toca ao acesso ou disponibilidade energética no México, segundo a SENER, este país da América do Norte tem muita potencialidade de produção de energia via energias renováveis, apresentando valores promissores (Rodríguez e Monroy-Ortiz, 2015) com uma capacidade efetiva de energias renováveis de 13 671,113 MJ de energia renovável verificado no mês de Julho de 2016 segundo o Balanço Nacional de energia fornecido através do SENER. Tendo em conta que foi aprovado em 2008 a “Ley de Promocion y Desarrollo de los Bioenergéticos” priorizando a produção de culturas de biocombustíveis de cana-de-açúcar, beterraba, *Jatropha Curcas*, entre outros. Neste contexto, o México apresenta emissões para a atmosfera na ordem dos 663,425 kton de CO₂eq em 2012 segundo o World Bank, sendo que 55,8% da sua eletricidade é produzida via gás natural.

O aumento do preço dos alimentos que se experienciou no ano 2006, em especial no milho resulta na crescente procura de produtos agrícolas para a produção de biocombustíveis como forma de colmatar a falta de acesso energético no país (Merino e Zavala, 2008), sendo que a necessidade de alimento animal produzido na região é mais valorizada do que a energia gerada.

Segundo a “Secretaría del Trabajo y Previsión Social”, o primeiro trimestre de 2016 foi marcado com uma divisão de pessoas em ocupação laboral nos setores de atividade económica pouco uniforme. O comércio é o setor onde mais pessoas trabalham perfazendo um total de 8,9 milhões, seguido do setor secundário da transformação de alimentos ou bens materiais/energéticos com 7,9 milhões, adicionalmente, na terceira posição encontra-se a agricultura 5,7 milhões de indivíduos, nos quais 65,7% tem escolaridade primária. Estes três setores juntos corresponder a 47,1% do total da população trabalhadora.

Todos os aspetos anteriormente mencionados afetam o problema de decisão e são pontos críticos para uma melhoria das condições sustentáveis da região. Cada um dos cenários estudados pode alterar, de forma diferente, estes pontos. Estas transformações serão evidentes quando a aplicação do programa de apoio à decisão.

5.2. Fatores Críticos para a Decisão

Com o objetivo de definir os critérios a utilizar nesta avaliação multicritério foram reconhecidos dois fatores críticos de decisão juntamente com critérios de avaliação e respetivos indicadores, revendo para isso as prioridades estratégicas necessárias para um objetivo bem estruturado. Ora, estes FCD são importantes para estabelecer a estrutura da avaliação e os estudos técnicos. Estes fatores foram ponderados de acordo com os objetivos criados previamente e asseguram o enfoque estratégico na avaliação multicritério.

Mais à frente estes FCD são aproveitados como base para a ferramenta M-Macbeth. Os seus critérios de avaliação serão utilizados como nós critério, correspondendo e aproveitando os seus indicadores como níveis de performance, e as fontes como referências para demarcar esses níveis de performance. A escolha de cada um dos FCD, assim como dos critérios de avaliação presentes nas tabelas subsequentes é autoexplicativa pois encontra-se incluída nas próprias.

O primeiro fator crítico de decisão determinado foi “Disponibilidade energéticas e utilização dos recursos”. Este faz uma apreciação sobre as alterações climáticas, a gestão dos recursos energéticos e a intensidade energética utilizada. Foram definidos, respetivamente, com o objetivo de diminuir as emissões gasosas atmosféricas, aumentar os recursos energéticos/alimentícios dependendo da necessidade de aquisição de cada um deles assim como diminuir a utilização de gás natural com fins energéticos e reduzir a intensidade energética empregue. Segue-se a Tabela 15, na qual se expressa o objetivo principal deste FCD com os respetivos critérios de avaliação, indicadores e fontes de referência.

Tabela 15 – Fator Crítico de Decisão – Disponibilidade energética e utilização dos recursos

FCD #1 – Disponibilidade energética e utilização dos recursos		
Objectivo: Apreciação das componentes energéticas e ambientais na região, assim como a consequente emissão. Consideram-se os bens primários a uma sociedade subdesenvolvida, advertindo ao nível de saúde regional e à necessidade de bens e recursos energéticos.		
Critério de Avaliação	Indicadores	Fonte de referências
Alterações Climáticas: Avaliação das regras estabelecidas no regulamento entendendo o quadro de emissões, o seu controlo e monitorização	Emissões de CO ₂ eq [ton/ano]	<i>United Nations Climate Change Secretariat - Country Brief 2014:Mexico</i>
Gestão de Recursos Energéticos: Avaliação da necessidade de bens e recursos essenciais em confronto com o que se utiliza	Quantidade de energia equivalente obtida pelos produtos principais [MJ/ano]	<i>Sistema Nacional de Informacion Ambiental y de Recursos Naturales</i>
	Utilização do Gás Natural [m ³ /ano]	<i>Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados</i>
Intensidade energética utilizada: Consideração do dilema entre a necessidade e a utilização da Energia. Avaliação da energia elétrica e calor direto utilizados	Energia eléctrica utilizada [kWh/ano]	Balanço Energético Mexicano
	Calor direto utilizado [MJ/ano]	Estratégia Nacional de Energia 2013-2027

Este FCD #1 evidencia-se por avaliar as emissões de GEE e as componentes energéticas utilizadas e ganhas em cada biorrefinaria. Estes são fatores decisivos na escolha de um dos cenários pois operam nas necessidades energéticas sociais da região, assim como na sua componente ambiental devido às emissões atmosféricas libertadas.

O segundo fator crítico de decisão definido foi “Melhoria do modo de vida”, este tem como critérios de avaliação a atividade laboral exercida, as necessidades sociais e o rendimento da exploração. Estes critérios foram utilizados respetivamente com o objetivo de encontrar qual das biorrefinarias alterava em menor escala a atividade laboral atual na região, qual dos cenários beneficiava mais as necessidades sociais evidenciadas e entre as três biorrefinarias de qual se poderia extrair maior lucro. A Tabela 16 representa o objetivo principal deste FCD e os respetivos critérios de avaliação, indicadores e fontes de referência.

Tabela 16 – Fator Crítico de Decisão – Melhoria do modo de vida

FCD #2 – Melhoria do modo de vida		
<p>Objectivo: Análise das necessidades socioeconómicas perspetivando sobre uma variação inerente ao modo de vida regional. Observação sobre o futuro da <i>Jatropha</i> e a presença quantitativa do duelo entre os rivais: energia e alimento.</p>		
Critério de Avaliação	Indicadores	Fonte de referências
<p>Atividade laboral exercida: Avaliação do tipo alterações na actividade praticada regionalmente com a implementação das biorrefinarias e da alteração de hábitos modificados</p>	<p>Tipo de produção em relação ao desemprego regional e equidade social</p>	<p>Censos <i>Consejo para el Desarrollo de Sinaloa</i></p>
<p>Necessidades sociais: Avaliação das carências sociais energéticas e alimentares que se podem sentir face a cada tipo de biorrefinaria</p>	<p>Dualidade Energia/Alimento onde a necessidade de energia ou alimento animal prevalece</p>	<p>Biopol <i>Organización para la Cooperación y el Desarrollo</i> <i>Reforma Curricular Y Necesidades Sociales En Mexico</i></p>
<p>Rendimento da exploração: Trata-se de uma apreciação meramente económica sob as operações das biorrefinarias e a venda dos seus produtos, encontra-se envolvida na fronteira económica do estudo em comparação com a economia da região e do país</p>	<p>Rendimento obtido através do lucro das vendas dos subprodutos com o desconto dos custos fixos operacionais [pesos/ano]</p>	<p><i>Trading Economics</i> <i>Organización para la Cooperación y el Desarrollo</i></p>

O critério de avaliação “Necessidades sociais” implícitas neste FCD #2 corresponde às necessidades de cariz energético e/ou suplemento alimentar para gado tendo em conta as carências que se fazem sentir na região. O critério “Atividade laboral exercida” mede a variação da laboração social relativamente à produção exercida em cada biorrefinaria. Estas duas avaliações de impactos sociais podem ser definidas como consequências sociais que se possam acompanhar de ações específicas de desenvolvimento, particularmente no contexto nacional ou estatal. Calculam para isso os resultados das ações públicas na alteração da forma como a população vive, trabalha, se organiza para atender às suas necessidades ou mesmo como se relaciona entre si (Burdge e Vanclay, 1996).

Evidencia-se este último fator crítico de decisão, a avaliação das alterações socioeconómicas sentidas em relação a determinadas biorrefinarias. Os indicadores apresentados são relevantes no desenvolvimento sustentável do espaço pois faz uma gestão da força de trabalho potencial e vai de encontro ao aumento do rendimento *per capita* e envolve a comunidade no trabalho local (Queensland Government, 2013).

As “Fontes de referência” presente nas Tabelas 15 e 16 permitem uma visão abrangente sobre certas entidades responsáveis sobre cada um dos critérios de avaliação. Estas fontes asseguram o delineamento seguro e dito “normal” para cada um desses critérios. Este assunto será tratado com mais detalhe no próximo capítulo pela aplicação do *software*.

6. Modelo de Apoio à Decisão

Nesta dissertação foi utilizada a ferramenta de análise multicritério M-MacBeth®, empregue como modelo de suporte à tomada de decisão multicritério que avalia entre as várias opções com inúmeros itinerários dependendo dos critérios em questão. Como grupo encontro-me eu e estão incluídas também as minhas coordenadoras. De uma forma mais concreta, este *software* serve com o propósito de escolher entre as três biorrefinarias em opção, submetendo-se por isso a uma avaliação entre os múltiplos critérios, FCD, escolhidos previamente, analisando-se cada um destes de forma ponderada com os respetivos valores atribuídos.

Os autores deste instrumento são: Carlos Bana e Costa, *Jean Marie De Corte* e *Jean-Claude Vansnick*. Esta ferramenta define-se como um instrumento que visa utilizar um julgamento qualitativo entre as diferenças de atratividade de cada critério de forma a garantir a geração de escalas de valor para as opções em cada critério, e o peso para cada um deles em relação ao objetivo a atender (MACBETH, 2016). De seu nome MACBETH, da qual se podem atribuir as seguintes siglas “**M**asuring **A**ttractivesess by a **C**ategorical **B**ased **E**valuation **T**ec**H**nique”, pode ler-se em português “medição da atratividade por uma técnica de avaliação com base categóricas”. As aplicações desta ferramenta são as mais variadas, desde o desenvolvimento de modelos e planos estratégicos, como análise de custos, benefícios, análise de cenários distintos até ao cálculo de riscos de projetos e programas.

Alguns dos aspetos a tomar em consideração neste modelo são: os resultados finais podem ser questionáveis, não sendo incontestáveis; redundância de critérios dá origem a modelos não-requisitos; e os pesos dos critérios de ponderação não são baseados apenas pela noção de importância (Bana e Costa *et al.*, 2003). Esta ferramenta recorre à avaliação cardinal, no qual envolve a avaliação relativa e absoluta, conseguindo assim avaliar a diferença entre a atratividade das opções a partir de níveis de referência personalizáveis. Estas referências podem ser distintas entre superior e inferior e indicam respetivamente a pontuação boa e menos boa ou neutra do critério tendo em conta as diferenças de atratividade entre as opções.

Este *software* dispõe de várias funcionalidades, tal como um modelo em árvore onde se representam os critérios de forma hierárquica, uma matriz de julgamentos, através do qual se inserem os julgamentos de comparação, determinando assim as pontuações a cada critério. O dito termómetro e o gerador da pontuação global são também funcionalidades úteis que representam as pontuações atribuídas, a função de valor e o descritor de desempenho permitem converter os desempenhos das opções em pontuações para cada critério. Posteriormente, as escalas de pontuações e as referências de ponderações são geradas onde são determinados pesos por cada critério com base nas suas diferenças de atratividade. Estas utilidades serão aproveitadas como base de avaliação como métodos de ponderação nesta dissertação. Finalmente, e não deixando de ser igualmente importante, esta ferramenta permite uma análise de sensibilidade e robusta. A primeira utiliza-se como forma de analisar

em que medida as recomendações do modelo se alteram ao variar o peso de um critério e a segunda permite analisar que conclusões robustas se podem extrair do modelo para níveis variados de escassez, imprecisão ou incerteza na informação (Bana e Costa *et al.*, 2005).

As imagens deste capítulo foram retiradas no programa M-MacBeth® criado a Setembro e Outubro de 2016 com a finalidade de visualizar de maneira metódica e organizada a ferramenta apresentada.

6.1. Estruturação do modelo

Após a reflexão sobre o que realmente se pretende alcançar e obtenção do conhecimento dos meios para os alcançar, dependentemente do contexto específico, realizou-se a construção e estruturação do modelo.

Na Figura 7 encontra-se apresentada a árvore de valor construída através do programa com a definição dos respetivos critérios de avaliação organizados, estes remontam para os pontos que realmente são relevantes na tomada de decisão com base nos FCD das Tabelas 14 e 15. Podem distinguir-se os nós que estão a cor preta e vermelha, sendo estes últimos designados como nós critério e os restantes como nós não-critério. Os nós a preto não estão associados a qualquer base de comparação pois não são usados para avaliar a atratividade entre as opções (Bana e Costa e Chagas, 2002). O nó principal “Escolha de uma biorrefinaria” representa o problema principal que se pretende resolver.

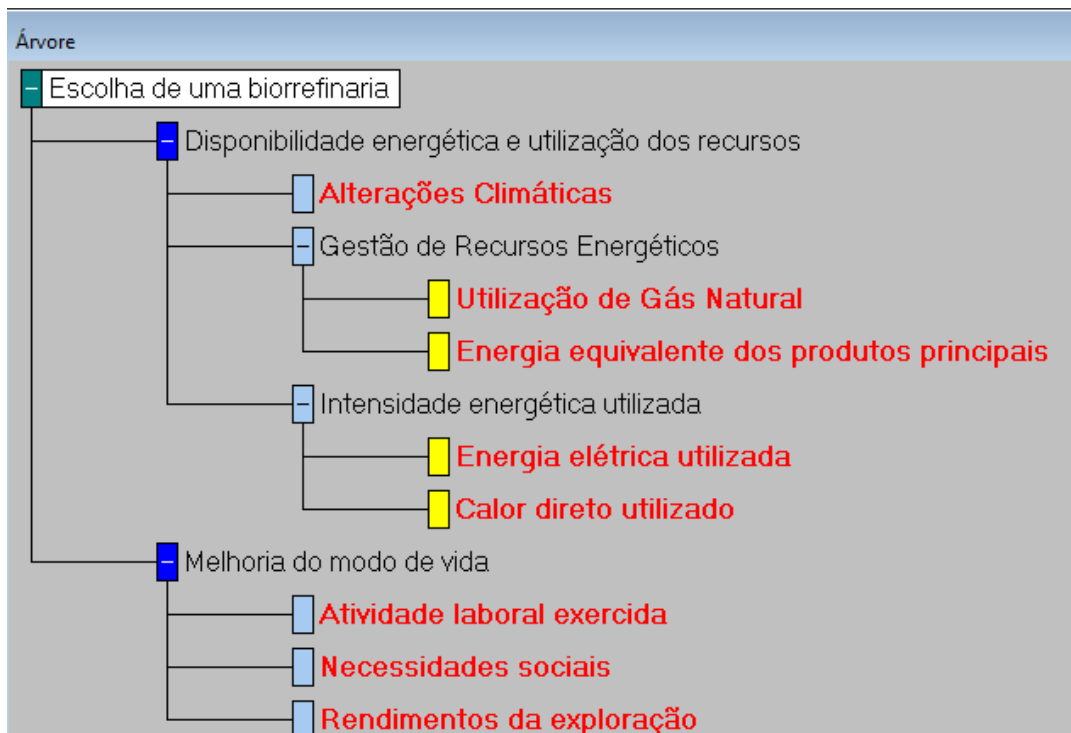


Figura 7 – Árvore de decisão

As opções dos resultados finais do modelo foram definidas como indicado na Figura 8. Estas representam as três hipóteses que foram estudadas através deste programa, as três biorrefinarias em estudo nesta dissertação com o respetivo nome abreviado.

-	+	Nome	Nome abreviado
1		Biorrefinaria Energética	Biorrefinaria I
2		Biorrefinaria para Alimento	Biorrefinaria II
3		Biorrefinaria Energética e Alimentar	Biorrefinaria III

Buttons: Inserir, Remover, Propriedades, Performances

Figura 8 – Opções no modelo

6.1.1. Descritores de desempenho

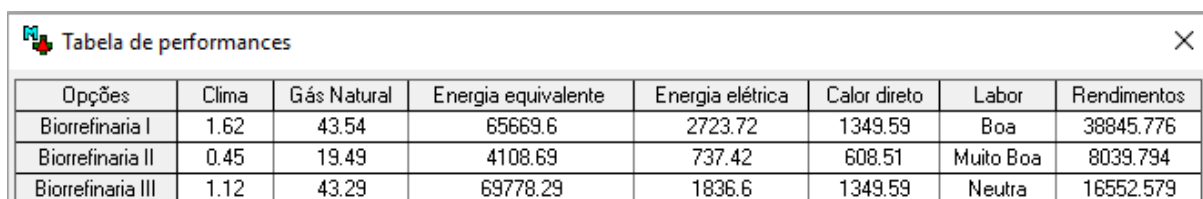
Para formular as bases de comparação, é necessário avaliar os nós critério em níveis de performance no *software*. Estes foram selecionados de acordo com a configuração que se pretende tomar em qualquer dos critérios, ou seja, caso se pretenda avaliar a sua atratividade relativa ou absoluta. Na Tabela 17 encontram-se apresentados estes níveis de performance e os respetivos indicadores de cada nó critério (nó a vermelho na Figura 4). O nível de performance “Quantitativo” obedece a um indicador tendo em conta o que se pretende avaliar, nos quais os seus níveis podem ser discriminados de acordo com as unidades utilizadas. Tome-se atenção que os restantes dois níveis de performance usados estão em falta os seus indicadores pois não são definidos. No caso do nível de performance de comparação direta, “As opções + 2 referências”, o qual gera automaticamente duas referências, uma inferior e outra superior como demarcação para a ponderação dos critérios e a base de comparação indireta “Qualitativo” foi qualificada em “Muito Boa”, “Boa”, “Neutra” e “Fraca” dependentemente se promove a atividade laboral exercida e a empregabilidade local como o primeiro nível até altera significativamente a atividade laboral exercida.

Tabela 17 – Base de comparação dos nós critério

Nó critério	Nível de performance	Indicador
Alterações Climáticas	Quantitativo	ton CO ₂ eq
Utilização de Gás Natural	Quantitativo	m ³ de Gás Natural
Energia equivalente dos produtos principais	Quantitativo	MJ de energia conseguida
Energia elétrica utilizada	Quantitativo	kWh de energia elétrica
Calor direto utilizado	Quantitativo	MJ de calor
Atividade laboral exercida	Qualitativo	-
Necessidades sociais	As opções + 2 referências	-
Rendimentos	Quantitativo	\$ (MXN)

São estes níveis de performance que diferenciam um nó não-critério de um nó critério, sendo que só estes últimos os detêm. Estes níveis podem ser definidos como um leque de descritores de desempenho dos vários critérios selecionados que são escolhidos com base nas diferentes opções válidas e plausíveis ou mesmo numa comparação entre os próprios cenários (comparação direta). Por outras palavras, entende-se um descritor como um conjunto ordenado dos níveis de impacto apreciáveis, associadas a um critério e destina-se a operacionalizar a avaliação do impacto de cada um deles, possibilitar a descrição objetiva e verificar a independência ordinal do critério correspondente (Bana e Costa *et al.*, 2003).

Na Figura 9 encontra-se a tabela de performance das opções pelos diferentes critérios preenchida através do programa. Esta, é apresentada claramente qual o efeito/valor/impacto numérico ou qualitativo conjeturado em cada biorrefinaria em relação a cada nó critério evidente na figura pela sua abreviatura. É através desta tabela de performances que se consegue posicionar cada uma das biorrefinarias em relação a qualquer dos critérios estudados.



Opções	Clima	Gás Natural	Energia equivalente	Energia elétrica	Calor direto	Labor	Rendimentos
Biorrefinaria I	1.62	43.54	65669.6	2723.72	1349.59	Boa	38845.776
Biorrefinaria II	0.45	19.49	4108.69	737.42	608.51	Muito Boa	8039.794
Biorrefinaria III	1.12	43.29	69778.29	1836.6	1349.59	Neutra	16552.579

Figura 9 – Tabela de performances dos critérios

Nota: O nó critério “Necessidades Sociais” não se incluí nesta tabela pois o posicionamento das referências superior e inferior e a relação das atratividades entre as biorrefinarias é o suficiente para a criação de uma boa relação e pontuação.

6.2. Pontuação e ponderação do modelo

Nesta fase de avaliação foi permitido atribuir uma pontuação a cada uma das opções de cada critério introduzido no modelo. As pontuações nas escalas no nível de performance entendem-se por demonstrar a atratividade por comparação de níveis qualitativos de performance, sendo que este é um dos fatores diferenciadores desta ferramenta quando comparada a outros modelos de apoio à decisão. Como ressalva, as pontuações de referência consideradas por defeito 100 e 0 como “Boa” e “Neutra” respetivamente como superior e inferior. Esta pontuação tem como objetivo criar uma escala, distinguindo os valores/atributos mais e menos bons para posteriormente posicionar as biorrefinarias em cada um deles.

Para a ordenações desses critérios em diferenças de atratividade realiza-se um julgamento subjetivo por sete categorias qualitativas entre diferenças de atratividade, são elas: extrema, muito

forte, forte, moderada, fraca, muito fraca e nenhuma relação entre os critérios submetidos. Para além desse arranjo também se consegue dispor as opções de forma crescente de preferências relativamente às referências já posicionadas.

A título de exemplo a Figura 10 exhibe a tabela de julgamentos do nó critério “Utilização de Gás Natural”. Neste é possível visualizar as hipóteses quantitativas elegidas para a sua avaliação, entre “10”, “20”, “30”, “40” e “50” ([m³] de Gás Natural utilizado) e as diferenças de atratividade entre essas mesmas opções. Verifica-se também que a referência superior encontra-se na opção “20” (verde) e a inferior na “50” (azul) sendo que o objetivo deste critério é utilizar o menor volume possível de Gás Natural. A colocação destas referências é prestada com auxílio da literatura apresentada na coluna “Fontes de referência” das Tabelas 14 e 15. Nestas ponderação, quanto maior a diferença de atratividade entre duas opções, mais extrema a sua relação, a seta a laranja ao lado da figura apresenta de forma crescente essa diferença de atratividade. Os julgamentos desta quantificação da atratividade por comparação de níveis quantitativos de performance foram considerados como consistentes.

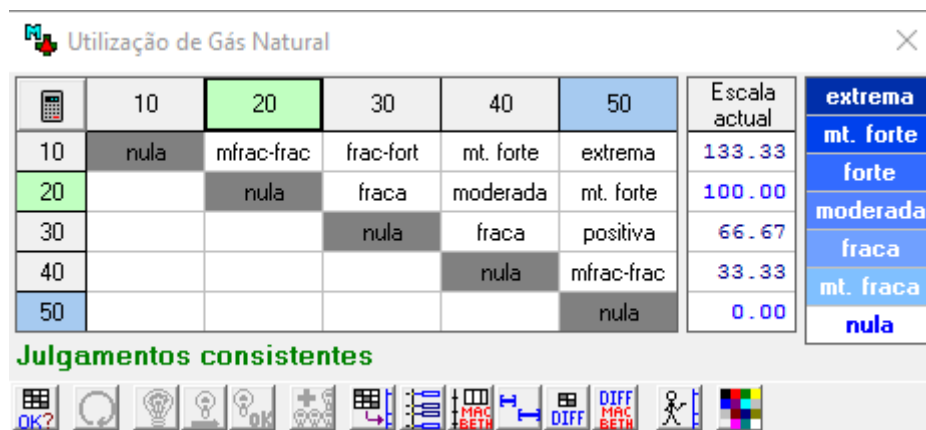


Figura 10 – Matriz de Julgamentos

Estes julgamentos resultam numa escala de pontuação também exposta na Figura 7 na coluna “Escala actual”, a qual define a posição de todas as opções alicerçadas nos dois pontos de referências, representados por 100 na referência superior e 0 na referência inferior. Estas pontuações têm em conta a diferença de atratividade (espaçamento numérico) entre cada uma delas. As posições podem ser alteradas manualmente conforme o objetivo em estudo, pois inicialmente é fornecida uma escala proposta.

Na Figura 11, apresentada na próxima página pode visualizar-se a escala de pontuações, ou função de valor, deste nó critério tomado em exemplo, também designado como termómetro do critério (do lado esquerdo da imagem) com o respetivo gráfico. Os traços lineares permitem o cálculo da pontuação de qualquer opção cuja performance no critério esteja entendida entre níveis quantitativos de performance consecutivos. Todos os critérios apresentaram-se como lineares.

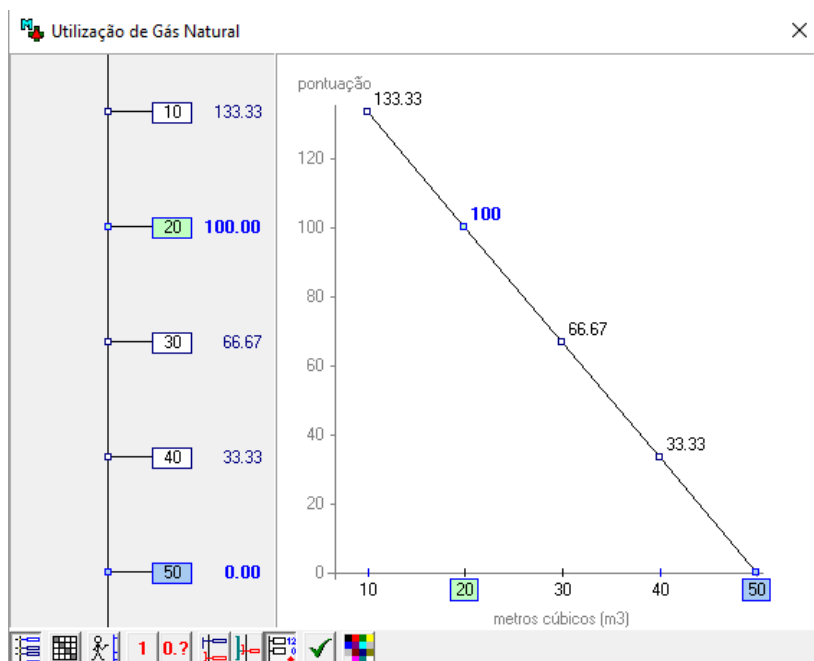


Figura 11 - Escalas de pontuação

Foi completa uma matriz de julgamentos e uma análise da escala para todos os restantes nós critério de forma exclusiva, apresentando sempre um pensamento critico baseado na subjetividade e sensibilidade tomada em conta para situação de Sinaloa. Dessa forma, a subjetividade não foi considerada como arbitrariamente neste estudo.

Em relação à ponderação da matriz de julgamentos, posição das referências superiores e inferiores e produção de uma escala de pontuações expõe-se a seguinte Figura 12 com as referências indicadas com a cor verde e azul. As referências globais estão apresentadas na coluna da esquerda, relação que será abordada mais à frente.

Referências globais	Clima	Gás Natural	Energia equivalente	Energia elétrica	Calor direto	Labor	Necessidades	Rendimentos
[Rendimentos]	0.1	10	75000	500	500	Muito Boa	Biorrefinaria II	40000
[Clima]	0.3	20	70000	1000	1000	Boa	Boa	30000
[Necessidades]	0.5	30	60000	1500	1500	Neutra	Biorrefinaria I	20000
[Energia equivalente]	1	40	50000	2000	2000	Fraca	Biorrefinaria III	10000
[Energia elétrica]	1.5	50	40000	2500			Neutra	5000
[Labor]	2		30000	3000				
[Gás Natural]			20000					
[Calor direto]			10000					
[tudo inf.]								

Figura 12 – Referências de ponderação

Para a ordenação dos pesos dos critérios deve preencher-se primeiramente a matriz de julgamentos entre os nós critério como forma de mensurar a diferença de atratividade entre eles. Nessa matriz só se encontra uma referência, a inferior, [tudo inf.].

Apesar de ter sido considerada a mesma diferença de atratividade entre os diferentes nós critério foi necessário organizá-los de forma crescente de atratividade, sendo que o critério mais afastado da referência inferior era a mais atrativa e assim sucessivamente. Esta sequência e respetivos pesos encontram-se representados na Figura 13 arredondados à unidade, na qual se pode verificar que a diferença entre eles é mesma, mas o critério “Rendimentos” é mais atrativo face ao “Clima”, seguido de “Necessidades”, “Energia Equivalente”, “Energia elétrica”, “Labor”, “Gás Natural” e, por último “Calor direto”.

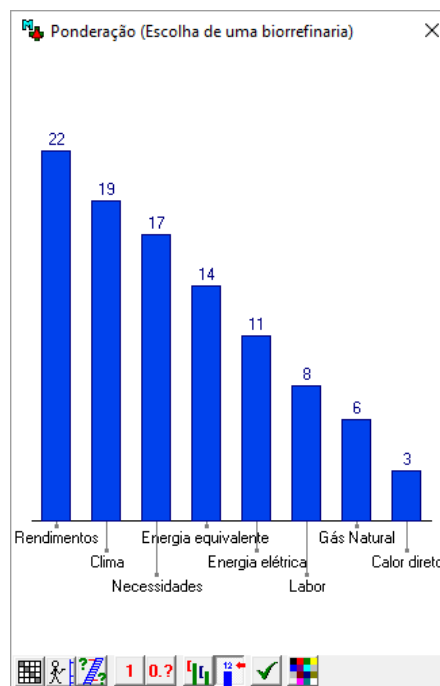


Figura 13 - Ponderação dos julgamentos quantitativos

6.3. Resultado do modelo

Depois de construído o modelo, segue-se a situação de análise dos resultados na tabela de pontuações da Figura 14 criada e fornecida pelo M-Macbeth, que compila as pontuações de cada biorrefinaria em cada um dos critérios. Os “Fatores de escala” representam os valores que são multiplicados pelas pontuações de cada critério de forma a resultar na coluna “Global”. Os valores nas restantes colunas ostentam as classificações de cada critério na respetiva opção de escola. Esta tabela indica que a Biorrefinaria II é a preferível nesta decisão, seguida da Biorrefinaria I e por fim, a Biorrefinaria III.

Opções	Global	Clima	Gás Natural	Energia equivalente	Energia elétrica	Calor direto	Labor	Necessidades	Rendimentos
Biorrefinaria I	54.55	-6.86	21.53	90.16	-16.78	43.36	66.67	66.67	117.69
Biorrefinaria II	65.25	64.28	101.70	-28.89	113.13	92.77	100.00	133.33	24.32
Biorrefinaria III	45.22	21.71	22.36	99.50	41.34	43.36	33.33	33.33	53.11
[tudo sup.]	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
[tudo inf.]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fatores de escala:		0.1944	0.0556	0.1389	0.1111	0.0278	0.0833	0.1667	0.2222

Figura 14 – Tabela de pontuações

É possível verificar também o resultado do modelo através do termómetro global que exhibe as pontuações globais de cada biorrefinaria uma escala com as referências como barreiras. Na Figura 15 encontra-se esse termómetro:

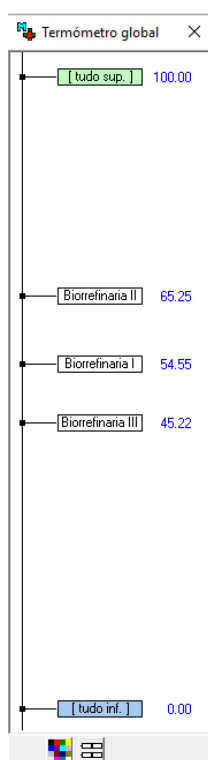


Figura 15 – Termómetro Global

De forma a avaliar mais especificamente cada um dos casos em particular, pode recorrer-se à opção de perfis ponderados, nos quais se exhibe um diagrama com as pontuações da opção no critério pertencente pelo peso desse critério. Consegue dessa forma apresentar um perfil de cada opção relativamente a cada critério estudado Estes encontram-se nas três figuras seguintes, 16, 17 e 18 da Biorrefinaria I, II e III respetivamente:

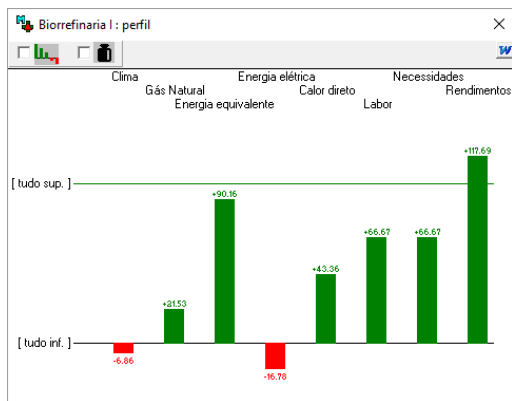


Figura 16 - Perfil Biorrefinaria I

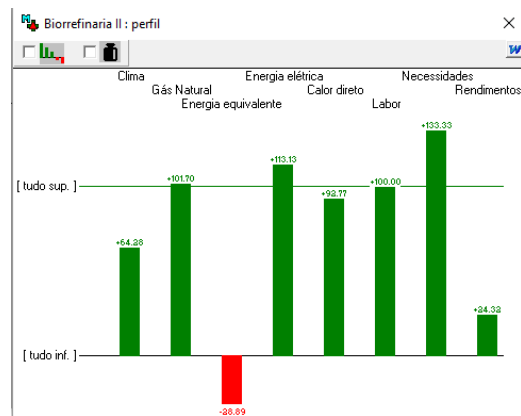


Figura 17 - Perfil Biorrefinaria II

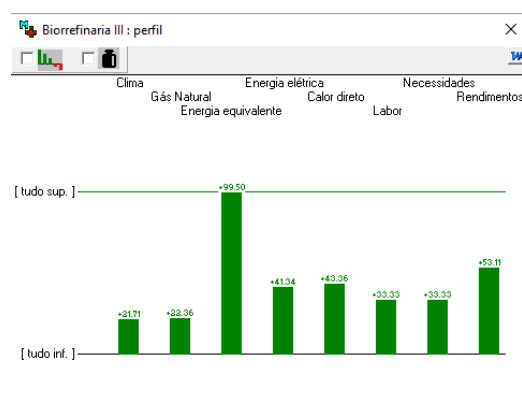


Figura 18 - Perfil Biorrefinaria III

A Figura 17exibe muitos dos seus critérios acima da referência superior, apesar de um deles se encontrar negativo (a vermelho). Por outro lado a Figura 18, que representa a Biorrefinaria III não tem qualquer um dos seus critérios a negativo, contudo são valores muito baixos, o seu mais alto corresponde ao critério com menos peso de decisão.

O *software* M-MacBeth permite analisar os resultados do modelo num gráfico bidimensional e comparar as pontuações das opções entre dois critérios ou um grupo deles, Este instrumento designa-se por Gráfico XY e nesta dissertação foram analisados três gráficos XY. A linha a vermelho representa a fronteira de eficiência, e distingue as opções mais benéficas em cada um dos critérios.

O primeiro gráfico, apresentado na Figura 19 compara os nós critério “Clima” e “Rendimento”, onde a Biorrefinaria I tem melhor aproveitamento no “Rendimento” mas menos bom no critério “Clima”, ao contrário da Biorrefinaria II, no qual, a sua pontuação é bastante mais favorável no “Clima” e menos benéfica no “Rendimento”. A Biorrefinaria III por seu lado mantêm-se no meio das duas opções, numa situação moderada para os dois critérios. A escolha desta base de comparação de critérios prendeu-se pela situação da importância destes dois fatores qualitativos que maior peso têm nesta decisão para a escolha de uma biorrefinaria.

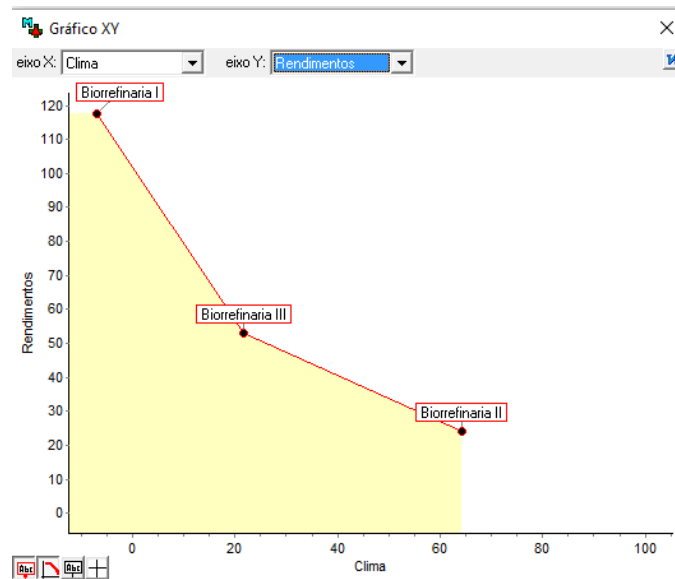


Figura 19 - Gráfico XY Clima e Rendimento

O segundo Gráfico XY, da Figura 20, apresenta a comparação entre os critérios de “Energia equivalente” e “Gás Natural”. Este gráfico tem importância pois, como foi abordado anteriormente, toda a energia térmica utilizada em qualquer das biorrefinarias foi conseguida através de Gás Natural, e uma análise entre esse valor em paralelo com o que se obtém tem especial conveniência. Neste gráfico, apenas a Biorrefinaria II e III encontram-se por cima da fronteira da eficiência mas em lados opostos, a primeira tem uma maior pontuação no critério do “Gás Natural”, representando que utiliza menos desse combustível, porém, também não consegue muita energia equivalente no final. Contudo, a situação da Biorrefinaria III mostra ser o oposto, na qual utiliza muito combustível, mas também consegue uma energia final equivalente significativa.

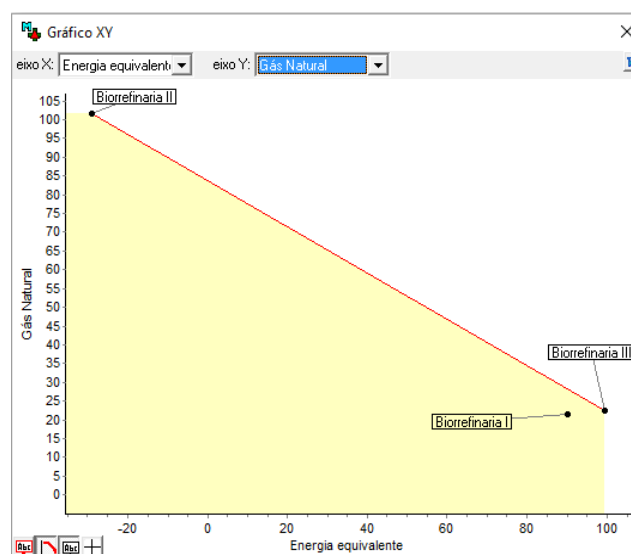


Figura 20 - Gráfico XY Gás Natural e energia equivalente

Como terceira análise de Gráficos XY encontra-se a Figura 21, na qual se compara os nós não-critério “Energia e Recursos” e “Modo de Vida”, compilando entre eles os nós critério devidos. Nesta análise dos dois FCD analisados podemos verificar que as Biorrefinaria I e II são as mais atrativas e encontram-se muito próximas, contudo a Biorrefinaria I têm uma posição mais favorável no critério “Modo de Vida” enquanto a Biorrefinaria II têm maior pontuação na “Energia e Recursos”.

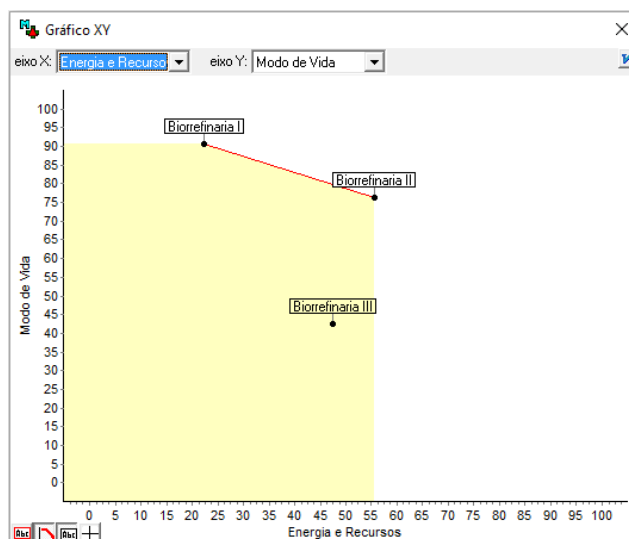


Figura 21 – Gráfico XY Energia e Recursos e Modo de Vida

As Biorrefinarias que se encontram por cima das fronteira de eficiência são as mais competentes nestes dois critérios, enquanto que, para aqueles que não se encontram nessa linha têm menos pontuação nesses dois critérios.

6.4. Análise dos resultados

6.4.1. Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade no peso de um critério permite estudar em que medida as recomendações do modelo se alteram ao variar o peso desse, preservando contudo as relações de proporcionalidade entre os restantes pesos dos critérios.

Fez-se a análise de sensibilidade ao nó critério “Energia equivalente”, exposto na Figura 22. Cada linha a preto do gráfico representa a variação da pontuação global da biorrefinaria correspondente quando o peso do critério varia entre 0 e 100%. A linha vermelha vertical do gráfico, que assinala 14, representa o peso atual do critério em análise e as linhas azuis horizontais indicam as referências superior e inferior. Neste critério, a Biorrefinaria II é considerada a mais atrativa pois a posição da linha

a vermelho intersesta com a linha dessa biorrefinaria. Todavia, esta análise compreende o movimento dessa linha de forma a corresponder a nova interseção.

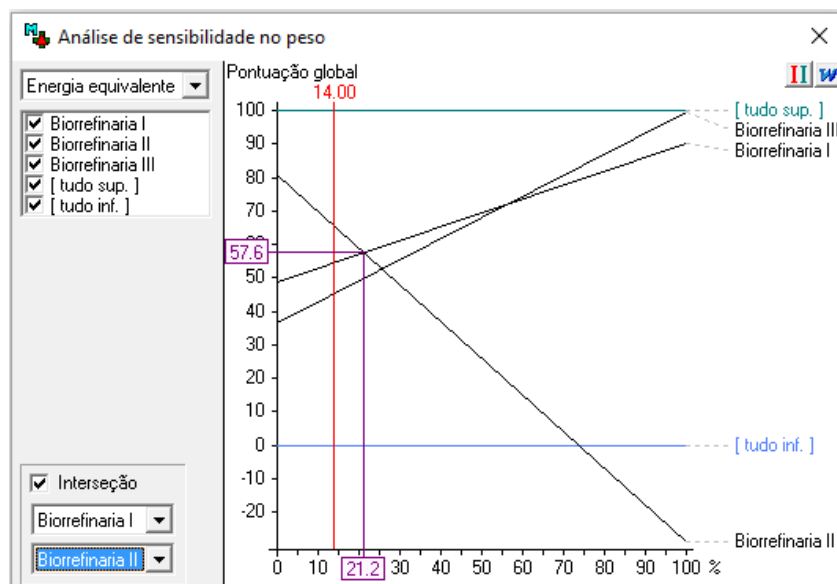


Figura 22 - Análise de sensibilidade no peso do critério "Energia equivalente"

Em análise a este gráfico podemos verificar que há duas interseções, a primeira entre a Biorrefinaria I e II e outra entre a Biorrefinaria I e III, a primeira está evidenciada a cor roxa no gráfico da figura, o outro ponto de interseção não se encontra na figura, mas após análise do programa verificou-se que o valor correspondente é 57,1%. Verifica-se que com a alteração do peso deste critério consegue ter-se qualquer uma das opções como mais atrativa pois se o peso do critério for inferior a 21,2 então a Biorrefinaria II é globalmente mais atrativa, a partir desse valor até 57,2, então a opção que passa a ser recomendada é a Biorrefinaria I. Superior a esse número, a Biorrefinaria III será a predileta.

Na Figura 23 consegue observar-se uma interseção presente no critério "Rendimentos" com valor do critério, 30,1%. Este valor manifesta uma variação de opções atrativas com a alteração do peso do critério. Ora, para um valor inferior a este peso referido, tem-se como opção mais atrativa a Biorrefinaria II e à medida se eleva essa importância, confirma-se a Biorrefinaria I como a solução mais compatível para esse critério.

Os restantes nós critério não foram analisados pois as linhas de duas ou mais opções não se intersectam, denotando assim que uma das opções é sempre mais atrativa independentemente do peso do critério. Denotando que apenas nos critérios "Energia equivalente" e "Rendimentos" as opções

mais atrativas podiam alterar, modificando dessa maneira a pontuação global do critério em relação à opção.

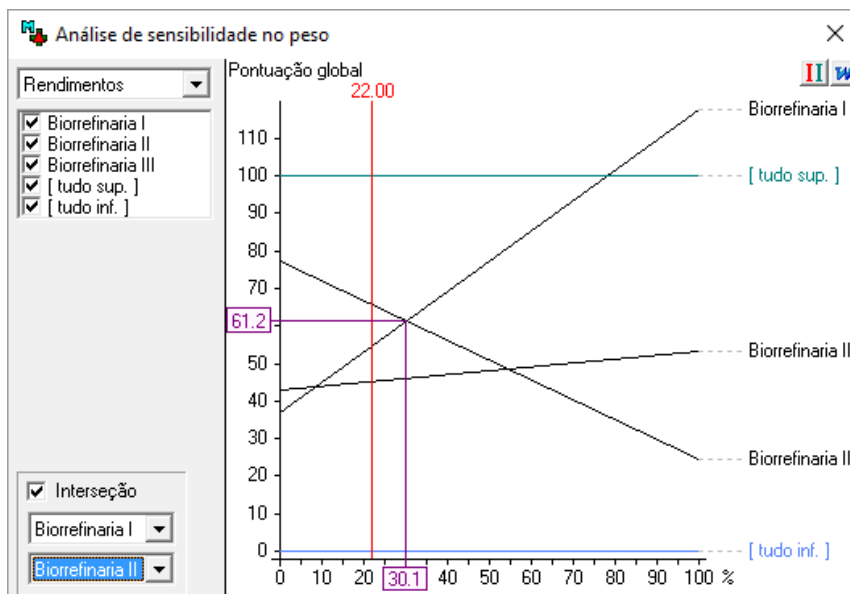


Figura 23 - Análise de sensibilidade no peso do critério "Rendimentos"

6.4.2. Análise de robustez

Esta análise tem como objetivo colmatar as informações escassas e/ou as incertas que constituem a tomada de decisão. Este estudo robusto pretende extrair do modelo algumas conclusões que apaziguem essas indeterminações.

A ferramenta M-Macbeth dispõe os dados em três tipos: "Ordinal", "MACBETH", e "Cardinal". A informação "Ordinal" está relacionada com a ordenação das opções, sem ter em conta a informação de diferenças de atratividade para o decisor. A informação "MACBETH" tem em conta os julgamentos do decisor, introduzidos no modelo, mas exclui os efeitos das escalas de pontuação e de ponderação. Por fim, a informação "Cardinal" traduz a incerteza na informação numa escala específica que é validada pelo decisor.

Noutra vertente, a informação é também dividida em seções "Informação local" e "Informação global": a primeira está relacionada com a informação específica de cada critério usado, enquanto a global refere-se à ponderação dos critérios. Outra informação relevante para facilitar esta análise de robustez deve-se à interpretação da simbologia. Temos duas representações, são elas:

- ▲ Representa uma situação de "dominância", significa que uma opção domina a outra, ou seja, revela que uma das opções é tão atrativa que outra em todos os critérios e que seja mais atrativa em pelo menos um deles.

+ Representa uma situação de “dominância aditiva”. Uma opção domina aditivamente se para um determinado conjunto de restrições na informação resultar sempre mais atrativo que outra opção da aplicação do modelo aditivo.

Admitindo apenas a informação ordinal, referente somente à ordenação, não se conseguem ter conclusões robustas relevantes para esta dissertação. Contudo, se se considerar os três tipos de informação e as duas seções local e global verifica-se que a Biorrefinaria II domina aditivamente a Biorrefinaria I e III e a Biorrefinaria I domina aditivamente a Biorrefinaria III. A Figura 24 representa assim a análise das conclusões robustas que se podem extrair do modelo para níveis variados de incerteza nas pontuações das opções num critério.

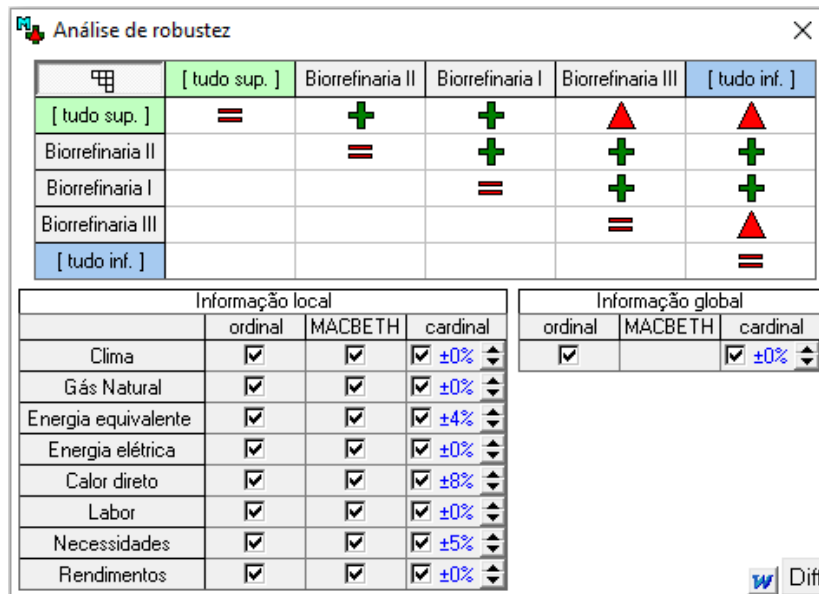


Figura 24 – Análise de robustez do modelo

As margens de incerteza associadas estão representadas pela percentagem da coluna do cardinal na Informação local. Estas representam um intervalo centrado na pontuação precisa de cada opção no critério e foram colocadas $\pm 4\%$ no nó critério “Energia equivalente”, $\pm 8\%$ em “Calor direto” e $\pm 5\%$ em “Necessidades” de forma a ver como poderia variar a análise robusta. Esta não foi conclusiva.

7. Discussão dos Resultados e Conclusões

Tem sido recorrente ao longo desta dissertação uma abordagem relativamente às interpretações dos resultados obtidos em cada um dos capítulos, todavia, esta seção integra uma compilação dos resultados, conclusões e recomendações futuras retiradas ao longo da dissertação que ainda não foram referidos. Muitas das limitações reconhecidas são resultado das considerações impostas ao sistema, enumerados ao longo deste trabalho. Dever-se-á tomar atenção em primeira instância que a escolha dos processos de biorrefinaria de cada cenário, dos produtos e subprodutos, assim como as ferramentas de apoio à decisão utilizadas foram nomeadas de forma consciente e com uma única finalidade, o desenvolvimento sustentável da região de Sinaloa a partir da *Jatropha Curcas Linnus* (JCL) da estirpe não tóxica. Este capítulo será alinhado de acordo com a posição de cada ferramenta de análise à decisão utilizada, Análise do Ciclo de Vida (ACV), Análise Ambiental Estratégica (AAE) e M-Macbeth.

As limitações impostas a nível das duas primeiras análises resultaram de uma conclusão seriamente enviesada pois carece de informações importantes que poderiam alterar o resultado final com uma base mais sustentada.

A ACV foi empregue numa faixa de tempo parcial da planta, sendo que a fronteira do sistema em estudo estendeu-se desde o final do tratamento mecânico até à sua venda e/ou sua utilização (Ver figura em anexo V). Com uma unidade funcional de um hectare de cultivo de JCL num ano foi possível identificar os cenários mais convenientes para cada indicador de performance estudado. A Biorrefinaria II foi a que apresentou menor quantidade de CO₂eq emitido e menos Gás Natural utilizado, no entanto foi o cenário que gerou menor energia a partir dos produtos principais e beneficiou de um menor lucro a partir da sua análise económica. A Biorrefinaria III apenas revelou ser a mais vantajosa na questão da energia obtida a partir dos produtos principais, mantendo-se em segundo lugar nos restantes indicadores. Por fim, a Biorrefinaria I apresentou-se como a mais poluente e a maior consumidora de Gás Natural, contudo, foi o cenário que rentabilizou maior lucro das três. O Capítulo 4.5. foi utilizado para elucidar de forma mais detalhada a importância de cada um destes indicadores para o benefício da escolha de cada biorrefinaria.

As limitações desta análise são descritas seguidamente: os recursos e a energia utilizados no sistema foram considerados ter a mesma disponibilidade, porém não é o que ocorre na realidade; a análise da água empregue no sistema seria bastante essencial para a ACV, assim como as emissões do solo e da água desde à sua produção, exploração até à sua utilização; os impactes ambientais pretendidos estudar através da ACV não foram assim efetuados, mas, conseguiu recolher-se elementos relevantes para este estudo; no que se refere à análise económica, esta não contou com os processos de extração, transporte entre processos, armazenamento, ou mesmo os custos dos equipamentos (compra, limpeza, manutenção, etc.) e mão-de-obra.

Pela AAE foi possível desenvolver um pensamento estratégico e ampliado, conjugando para isso uma vertente ambiental, social e económica e combiná-los de forma sustentável e agregada. Reconheceu-se por isso os principais problemas na região de Sinaloa assim como as próprias limitações do local e os fundamentais impulsos e potencialidades. Este estudo resultou na identificação de dois fatores de critério de decisão. O primeiro é nomeado “Disponibilidade energética e utilização dos recursos” e contempla os seguintes critérios de avaliação: “Alterações Climáticas”, “Gestão de Recursos Energéticos” e “Intensidade energética utilizada”. O segundo identifica-se como “Melhoria do modo de vida” e inclui: “Atividade laboral exercida”, “Necessidades sociais” e “Rendimento da exploração”. Cada um deles incluído com os respetivos indicadores de performance e fontes de referência, resultando numa abordagem metodológica e uma estrutura de avaliação baseada em Fatores Críticos de Decisão (FCD).

Esta ferramenta supramencionada foi utilizada parcialmente, pois esta envolve muito mais processos que visam um processo de planeamento centrado na decisão e feito à medida. Tal como a aplicação de forças motrizes, questões ambientais e de sustentabilidade, quadro de referência estratégico, quadro de governança e uma análise das oportunidades e riscos que potenciavam a priorização dos fatores de sucesso. A análise da mão-de-obra utilizada em cada processo de biorrefinaria aprofundaria substancialmente o estudo sobre a componente social e subsequentemente o impacto da empregabilidade na região para cada uma das hipóteses colocadas em plano.

Em relação ao *software* de apoio à decisão utilizado, M-Macbeth, no qual a sua estrutura essencial foi baseada no estudo anterior do AAE, e utilizados os FCD como alicerce. Os critérios que se restringiam como níveis de performance quantitativos recorreram a valores mais “realistas”, enquanto os restantes consideraram-se mais subjetivos. Assim como a colocação das referências superior e inferior, que após o estudo aprofundado foram posicionadas nos valores apresentados. O Capítulo 6.3. inclui a discussão dos resultados sobre o modelo, apoiando-se em gráficos e figuras que selecionam a opção da Biorrefinaria II em primeira análise como eleita para esta hipótese. O intervalo entre as três biorrefinarias foi muito semelhante, sendo que em segundo lugar depara-se a Biorrefinaria I seguida da Biorrefinaria III.

A partir da análise de sensibilidade fornecida pela mesma ferramenta, entendeu-se com a alteração de apenas dois critérios, as opções das biorrefinarias podiam alterar, contudo, não seria uma alteração muito preponderante na ponderação final, pois apenas o critério de avaliação “Rendimentos”, que sendo o critério com maior peso, poderia fazer diferença, sendo que, com a manipulação de certos elementos era possível que a Biorrefinaria I conseguisse ter melhor pontuação que a Biorrefinaria II. Contudo, a Biorrefinaria III nunca conseguiria ser a eleita. A análise de robustez não foi conclusiva relativamente à dominância de qualquer um dos cenários pois não houve nenhum dos cenários que se encontrasse numa situação de dominância aditiva quer de dominância normal relativamente a outro cenário.

Uma divergência relativamente às ferramentas utilizadas prende-se com a quantificação da escala de ponderação que foi produzida pelo M-Macbeth, pois através desta teve que se submeter uma escala de atratividade entre todos os critérios utilizados. Contudo, era necessário que todos os critérios detivessem o mesmo peso, sendo que são igualmente relevantes para o desenvolvimento sustentável (todos os critérios valem de igual forma), tal como se entende a maior premissa da AAE. O foco essencial foi de certa maneira desviado.

7.1. Conclusão

A partir dos objetivos traçados e do conhecimento adquirido, a Biorrefinaria II apresenta-se como o cenário mais compatível para um desenvolvimento sustentável na região de Sinaloa. Este é o cenário que se distingue por produzir alimento balanceado para animais para a sua utilização no território em estudo e conseqüentemente a venda dos seus subprodutos, óleo vegetal refinado e ácidos húmicos identicamente em território Mexicano.

A Biorrefinaria II apresentou-se ao longo da dissertação a escolha mais completa pois detinha uma certa vantagem comparativamente às necessidades sociais sentidas na região que carece de alimento animal para toda a atividade pecuária emergente e pouca privação de outro tipo de energia para a sua independência funcional. O seu impacte na atmosfera foi também um efeito preponderante para a escolha deste cenário que pode vir a ser empregue na região. Contudo, a Biorrefinaria I mostrou ser adversária suficiente e apresenta que, após alteração por parte das pontuações dos critérios é possível conseguir a melhor pontuação. Contudo, a Biorrefinaria III não conseguiria ser eleita a Biorrefinaria a aplicar na região

Após a investigação das necessidades da planta, na sua produção e desenvolvimento assim como todos os processos definidos, situação da localização em questão e fluxo monetário necessário, pode concluir-se que a ACV, assim como a AAE foram parcialmente exploradas pelas suas diversas utilidades e possibilidades de conhecimento que não foram examinadas. Todavia, a sua aplicação fragmentada foi o suficiente para uma análise inaugural antes da utilização da derradeira ferramenta, o M-Macbeth. Este foi inteiramente explorado e colocado em prática, apresentando apenas a dificuldade da colocação do mesmo peso em todos os critérios e uma complicação subjetiva da avaliação na componente social ao longo do estudo.

7.2. Considerações Futuras

Para investigações posteriores poder-se-á fazer uma Análise do Ciclo de Vida com uma fronteira mais alargada que inclua o *input* e *output* da água utilizada e dos resíduos resultantes, conseguindo dessa maneira mais dados que refutem a escolha da biorrefinaria. Ainda, para esta ferramenta podem utilizar-se *softwares* de apoio como o “SimaPro”, “Gabi” ou “Gemis” para que as emissões, resíduos e

matéria-prima sejam melhor calculadas a partir de estudos da própria planta, pois estes programas facilitam a introdução da vertente dos impactos ambientais atmosféricos, do solo e da água que não foram abordados. Sobretudo no estudo da produção e cultura da planta, assim como a colheita e tratamento mecânico das sementes contaria com uma investigação mais aprofundada para futuras explorações.

Experiências práticas ou demonstrações laboratoriais sobre estas biorrefinarias poderiam ser realizadas de forma a confirmar a veracidade dos resultados, porém o investimento inicial seria manifestamente elevado para a região. Contudo, a implementação apenas da Biorrefinaria II *in situ* poderia vir a ser uma prática útil em Sinaloa, a partir das plantações existentes.

Referências Bibliográficas

Achten, W., Muysa, B., Mathijsb, E., Singhc V.P. & Verchot L. (2007). Life-Cycle Assessment of Bio-Diesel from *Jatropha Curcas* L. Energy Balance, Impact on Global Warming, Land Use Impact. National Renewable Energy Laboratory, 31, 1-8

Achten, W., Slmeida, J., Fobelets, V., Bolle, E., Mathijs, E., Singh, V., Tewari, D., Verchot, L & Muys, B. (2010). Life Cycle Assessment of *Jatropha* Biodiesel as Transportation Fuel in Rural India. Applied Energy, 87, 3652–60.

Achten, W. (2010). Sustainability Evaluation of Biodiesel from *Jatropha Curcas* L . A Life Cycle Oriented Study. Arenberg Doctoral School of Science, Engineering & Technology, 921, 176.

Agarwal, A. (2007). Biofuels (Alcohols and Biodiesel) Applications as Fuels for Internal Combustion Engines. Progress in Energy and Combustion Science, 33, 233–71.

Allen, D. (2002). Life-Cycle Assessment., 1, 1–17. <http://www.utexas.edu/research/ceer/esm282/dfe/LCAoverview.PDF>. (Março, 2016)

Alper, K., Kubilay T., & Karagöz, S. (2014). Pyrolysis of Agricultural Residues for Bio-Oil Production Clean Technologies and Environmental Policy, 17, 211–23.

Antonio, J. C. (2013). Análisis de variables críticas en la Cadena AgroIndustrial de *Jatropha Curcas*. Em L. C. Escoto, Análises de variables críticas en la cadena Agroindustrial de *Jatropha Curcas*. Em G. C. Escoto, Cadena AgroIndustrial de *Jatropha Curcas* (pp. 267-333). Deutschland, Alemanha: PUBLICIA.

Aponte, C. (1978). Estudio de *Jatropha curcas* L. como recurso biotico. PhD Dissertação, Veracruz, Mexico: University Veracruz, Xalapa-Enríquez.

Arvidsson, R., Persson, S., Froling, M. & Svanstrom, M. (2011). Life Cycle Assessment of Hydrotreated Vegetable Oil from Rape, Oil Palm and *Jatropha*. Journal of Cleaner Production, 19, 129–37.

Attia, N. K., El-Enin, S.A., El-Ibiari, N., El-Diwani, G. & El-Khatib, K. (2013). In-Situ Transesterification of Rapeseed and Cost Indicators for Biodiesel Production. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 18, 471–77.

Axelsson, L., Franzén, M., Ostwald, M., Berndes, G., Lakshmi, G. & Ravindranath, N.H. (2012). Perspective: *Jatropha* Cultivation in Southern India: Assessing Farmers' Experiences. Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 6, 246–56.

Bailis, R., & Baka, J. (2010). Greenhouse Gas Emissions and Land Use Change from Jatropha Curcas-Based Jet Fuel in Brazil. *Environmental science & technology*, 44, 8684–91.

Baldini, M., Bulfoni, E. & Ferfua, C. (2014). Seed Processing and Oil Quality of Jatropha Curcas L. on Farm Scale: A Comparison with Other Energy Crops. *Energy for Sustainable Development*, 19, 7–14.

Bana, C., & Chagas, M. (2002). A Career Choice Problem An Example of How to Use MACBETH to Build a Quantitative Value Model Based on Qualitative. *Working Paper LSEOR*, 1, 1–16.

Bana, C., Corte, J.M., & Vansnick, J.C. (2003). Macbeth. *Working Paper LSEOR*, 1, 1–40.

Bana, C., Corte, J.M., & Vansnick, J.C. (2005). 78 Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. *Working Paper LSEOR*, 1, 1–70.

Bash, E. & Calderón, O. (2012). Composición Química De Jatropa (Jatropha Curcas) Tóxica, No Tóxica Y Detoxificada, Y Efecto De Su Consumo Sobre Parámetros Nutricionales Y Tóxicos En Pollos Universidad Autónoma De Querétaro.

Beauchemin, P. & Tampier, M. (2010). Emissions and Air Pollution Controls for the Biomass Pellet Manufacturing Industry. *Environmental Management Services and Technologies*, 4, 12-74

Beerens, P. (2007). Screw-Pressing of Jatropha Seeds for Fuelling Purposes in Less Developed Countries. *Eindhoven University of Technology Department of Sustainable Energy Technology*, 11–37.

Benge, M. (2006). Assessment of the Potential of Jatropha Curcas, (Biodiesel Tree,) for Energy Production and Other Uses in Developing Countries, 1–22.

Berglund, M., & Borjesson, P. (2006). Assessment of Energy Performance in the Life-Cycle of Biogas Production. *Biomass and Bioenergy*, 30, 254–66.

Boateng, A., Mullen, C., Osgood-Jacobs, L., Carlson, P. & Macken, N. (2012). Mass Balance, Energy, and Exergy Analysis of Bio-Oil Production by Fast Pyrolysis. *Journal of Energy Resources Technology*, 134, 420-430.

Bridgwater, T. & Peacocke, G. (2000). Fast Pyrolysis Processes for Biomass. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 4, 1–73.

Brittaine, R. & NeBambi, L. (2010). Jatropha : A Smallholder Bioenergy Crop The Potential for Pro-Poor Development Jatropha : A Smallholder. ed. *Integrated Crop Management Vol.3*

Brownsort, P. (2009). "Biomass Pyrolysis Processes: Review of Scope, Control and Variability. Biomass, 38.

Burdge, J. & Vanclay, F. (1996). Social Impact Assessment: A Contribution to the State of the Art Series. Social Impact Assessment, 14, 59–86.

Cady, E. (2016). 10 Facts about poverty in Mexico. Obtido de Borgen Project: <http://borgenproject.org/poverty-in-mexico-2/> (Janeiro, 2016)

Chandra, R., Vijay, V. K., Subbarao, P. & Khura, T. (2012). Production of Methane from Anaerobic Digestion of Jatropha and Pongamia Oil Cakes. Applied Energy, 93, 148–59.

Cmolík, J. & Pokorný, J. (2000). Physical Refining of Edible Oils. Journal of the American Oil Chemists' Society, 102, 472–86.

Coltro, L. (2007). CETEA/ITAL Avaliação Do Ciclo de Vida Como Instrumento de Gestão. <http://cetea.ital.sp.gov.br/sustentabilidade.php> (Janeiro, 2016)

Consejo para el Desarrollo Económico de Sinaloa. (2015). Obtido de <http://codesin.mx/> (Novembro, 2015)

Correia, M. (2009). Avaliação Do Potencial De Jatropha Curcas L . Para Produção De Biodiesel (Santiago- Cabo Verde). Universidade de Lisboa

Couto, L., Muller, M., Júnios, A. & Conde, L. (2004). Produção De Pellets De Madeira - O Caso Da Bio-Energy No Espírito Santo Wood. Biomassa & Energia, 1, 45–52.

Cvengros, J. (1995). Physical Refining of Edible Oils. Journal of the American Oil Chemists' Society, 72, 1193–96.

Dehgan, B. & Webster, G.L. (1979). Morphology and Infrageneric Relationships of the Genus Jatropha (Euphorbiaceae) - University of California Publications Botany, 74, 1-73

District, B. (2010). Jatropha : Money Doesn't Grow on Trees. Friends of the Earth International, 120, 1-12.

Draft, F. (2006). "Jatropha Handbook First Draft." Fact Foundation, 2, 1–45.

Duke, J. (1985). Elisabetsky, CRC Handbook of Medicinal Herbs, 143-151. Boca Raton, FL: CRC Press Inc.

EIA. (2016). Frequently Asked Questions. Obtido de U.S. Energy Information Administration: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=667&t=8> (Fevereiro, 2016)

Eijck, J., Smeets, E., Romijn, H., Balkema, A. & Jonsdchaap, R. (2010). *Jatropha Assessment: Agronomy, Socio-Economic Issues, and Ecology*. Science NL Agency, 157

Endelevu Energy. (2009). *Jatropha Reality Check - A Field Assessment of the Agronomic and Economic Viability of Jatropha and Other Oilseed Crops in Kenya*. <http://www.worldagroforestry.org/downloads/publications/PDFs/B16599.PDF>. (Março 2016)

Energías Renovables y Estímulos Fiscales en México (2013). *Energías Renovables Y Estímulos Fiscales En México : Caso Empresa Localizada En San Gabriel Chilac Puebla. I. La industrialización y el contenido local: nuevas condiciones para el desarrollo Resumen*.

Euler, H. & Gorriz, D. (2004). *Case Study 'Jatropha Curcas*. http://www.underutilized-species.org/Documents/PUBLICATIONS/jatropha_curcas_india.pdf. (Março 2016)

Fallis, A.G. (2013). *Journal of Chemical Information and Modeling Reutilización De La Pasta Residual Del Piñón (Jatropha Curcas), Resultante De La Extracción Del Aceite, Destinado Para La*

Félix-Bernal, J.A., Estrada-Angulo, A., Heredia, J.B., Muy-Rangel, D., López-Soto, M.A., Barreras, A. & Plascencia A. (2014). *Feeding Value of Nontoxic Jatropha Curcas Seed Cake for Partially Replacing Dry-Rolled Corn and Soybean Meal in Lambs Fed Finishing Diets*. *Animal Feed Science and Technology*, 198, 107–16.

Figueroa, F. (2013). *Propagación in vitro de Jatropha Curcas*. Em L. C. Escoto, *Cadena AgroIndustrial de Jatropha Curcas*, 41-52. Publicia.

Forbes. 2016. *7 datos que muestran la desigualdad extrema en México*. <http://www.forbes.com.mx/7-datos-que-muestran-la-desigualdad-extrema-en-mexico/#gs.JbnY6UQ> (Maio 2016)

Francis, G., Oliver, J. & Sujatha, M. (2013). *Non-Toxic Jatropha Plants as a Potential Multipurpose Multi-Use Oilseed Crop*. *Industrial Crops and Products*, 42, 397–401.

Fukuda, H., Kondo, A. & Noda H. (2001). *Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils*. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92, 405–16.

Garcia, E. (2005). *Avaliação Do Ciclo De Vida (ACV)*” <http://cetea.ital.sp.gov.br/sustentabilidade.php> (Abril 2016)

Gexsi LLP. (2008). *Global Market Study on Jatropha*. World Wide Fund for Nature (WWF), London.

Ghatak, H. (2011). *Biorefineries from the Perspective of Sustainability: Feedstocks, Products, and Processes*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 4042–52.

Ghosh, A. Chaudhary, D.R., Reddy, M., Chikara, J. & Pandya J.B. (2007). Prospects for Jatropha Methyl Ester (Biodiesel) in India. *International Journal of Environmental Studies*, 64, 659–74.

Gibson, R. (2006). Sustainability Assessment and Conflict Resolution: Reaching Agreement to Proceed with the Voisey's Bay Nickel Mine. *Journal of Cleaner Production*, 14, 334–48.

Haas, W. & Mittelbach, M. (2000). Detoxification Experiments with the Seed Oil from *Jatropha Curcas* L. *Industrial Crops and Products*, 12, 111–18.

Hagman, J. & Nerentorp, M. (2011). Life Cycle Assessment of Jatropha Oil as a Biofuel for Transports in Rural Mozambique Department of Energy and Environment Division of Environmental System Analysis Chalmers University of Technology Gothenburg, Sweden, 2011

Heller, J. (1996). *Physic Nut: Jatropha Curcas* L. Bioversity International

Hendroko, R., Wahyudi, A., Wahono, S., Praptiningsih, G., Salundik, S. & Liwang T. (2013). Bio-Refinery Study In The Crude Jatropha Oil Process: Co-Digestion Sludge Of Crude Jatropha Oil And Capsule Husk *Jatropha Curcas* Linn As Biogas Feedstocks. *International Journal of Technology*, 3, 202–8.

Henning, R. (2009). *Jatropha Curcas* L. in Africa. Global Facilitation Unit for Underutilized Species.

Herrera, J., Martinez-Ayala A.L., Makkar, H. & Francis, G. (2010). Agroclimatic Conditions , Chemical and Nutritional Characterization of Different Provenances of *Jatropha Curcas* L. from Mexico, 39, 396–407.

Hischier, R. (2010). Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods Data. Ecoinvent centre
https://www.ecoinvent.org/files/201007_hischier_weidema_implementation_of_lcia_methods.pdf. (Abril 2016)

Hou, J., Peidong Z., Xianzheng Y. & Yonghong Z. (2011). Life Cycle Assessment of Biodiesel from Soybean, *Jatropha* and Microalgae in China Conditions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 5081–91

Hunsberger, C. (2010). The Politics of *Jatropha*-Based Biofuels in Kenya: Convergence and Divergence among NGOs, Donors, Government Officials and Farmers. *Journal of Peasant Studies* 37, 939–62.

Igbinosa, O., Igbinosa, E. & Aiyegoro, O. (2009). Antimicrobial Activity and Phytochemical Screening of Stem Bark Extracts from *Jatropha Curcas* (Linn). *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 3, 58–62.

IISD. (2016). Sustainable Development. Obtido de International Institute for Sustainable Development: <http://www.iisd.org/topic/sustainable-development> (Março 2016)

ILCD Handbook: General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. (2010). Luxembourg: JRC - European Commission. pp.126-134

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. (2010). Guía PROGAN - Para Cumplir Los Compromisos de Los Beneficiarios. Vivir Mejor. pp.23-40

Jongschaap, R. E., Corre, W.J., Bindraban, P.S. & Brandenburg, W. (2007). Claims and Facts on *Jatropha Curcas* L.: Global *Jatropha Curcas* Evaluation, Breeding and Propagation Programme., 1, 1–42.

Sotolongo, J.A., Beaton, P., Diaz, A., Montes de Oca, S., Valle, Y., Pavn, S. & Zanzi, R. (2007). *Jatropha Curcas* L. As a Source for the Production of Biodiesel: A Cuban Experience, 15, 26–33.

Karaj, S. & Müller, J. (2009). Optimization of Mechanical Extraction of *Jatropha Curcas* Seeds. *Landtechnik*, 64, 164–67.

Kasim, F., Harvey, A. & Zakaria, R. (2010). Biodiesel Production by in Situ Transesterification.” *Biofuels*, 1, 355–65.

Kasuya, M. C., Rodrigues da Luz J., Pereira, L., Silva, J., Montavani, H. & Rodrigues M. (2012). Bio-Detoxification of *Jatropha* Seed Cake and Its Use in Animal Feed. *Biodiesel - Feedstocks, Production and Applications*, 1, 39–30.

Krozer, A. & Moreno-Brid, J.C. (2014). *World Economics Association Newsletter. Wetlands*, 4, 4–6.

Kumar, A. & Sharma, S. (2008). An Evaluation of Multipurpose Oil Seed Crop for Industrial Uses (*Jatropha Curcas* L.): A Review. *Industrial Crops and Products*, 28, 1–10.

Kurki, A., Hill, A., Morris, M. & Lowe, A. (2010). Biodiesel: The Sustainability Dimensions. Publication, A National, Attra Agriculture, Sustainable Service, Information, 1, 1–12.

Lee, B. (2016). Mexico's Economy: Rising Poverty, Inequality Undermine Peña Nieto's Economic Agenda. Obtido de International Business Times: <http://www.ibtimes.com/mexicos-economy-rising-poverty-inequality-undermine-pena-nietos-economic-agenda-2080010> (Agosto 2016)

León, S. C. (2013). Producción de ácidos húmicos a partir de testa de *Jatropha Curcas*. Em L. C. Escoto, *Cadena AgroIndustrial de Jatropha Curcas* (pp. 229-248). PUBLICIA.

Liska, A., Frazén, M., Ostwald, M., Berndes, G., Lakshmi, G. & Ravindranath, N. (2007). Perspective: Jatropha Cultivation in Southern India: Assessing Farmers' Experiences. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 6, 246–56.

Löffler, K., King, D., Hagan, A., Gilman, N. (2010). The Future of Industrial Biorefineries. *World Economic Forum. Committed to improving the state of the world.*

Loureiro, M., Teles, C., Colares, C., Araújo, B., Fernandez, L. & Castro R. (2013). Caracterização Morfoanatomica E Fisiológica de Sementes E Plântulas de *Jatropha Curcas* L. (Euphorbiaceae). *Revista Árvore*, 37, 1093–1101.

Lozano, J. C. (2013). Producción de plantas de *Jatropha Curcas* en Viveros. Em L. C. Escoto, *Cadena AgroIndustrial de Jatropha Curcas* (pp. 9-28). Publicia.

Maes, W. H., Trabucco, A., Achten, W. & Muys, B. (2009). Climatic Growing Conditions of *Jatropha Curcas* L. *Biomass and Bioenergy*, 33, 1481–85.

MACBETH. 2016. MACBETH. A multiple criteria decision support system: <http://www.m-macbeth.com/pt/m-home.html> (Abril 2016)

Makkar, H. P., Hoffmann, E.M., Francis, G. & Becker, K. (2007). Quantitative and Qualitative Analyses of Seed Storage Proteins from Toxic and Non-Toxic Varieties of *Jatropha Curcas* L. *Animal Production*, 124, 8–9.

Makkar, H., Vikas K. & Beckr, K. (2012). Biofuel co-products as livestock feed opportunities and challenges Use of Detoxified *Jatropha* Kernel Meal and Protein Isolate in Diets of Farm Animals (pp. 46-87).

Makkar, H., Aderibigbe, P. & Becker, K. (1997). Comparative Evaluation of Nontoxic and Toxic Varieties of *Jatropha Curcas* for Chemical Composition, Digestibility, Protein Degradability and Toxic Factors (pp.10-11).

Makkar, H. & Becker, K. (2009). *Jatropha Curcas*, a Promising Crop for the Generation of Biodiesel and Value-Added Coproducts. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 111, 773–87.

Manurung, R., Wever, D., Wildschut, J., Hidayat, H. (2009). Valorisation of *Jatropha Curcas* L. Plant Parts: Nut Shell Conversion to Fast Pyrolysis Oil. *Food and Bioproducts Processing*, 87, 187–96.

Meher, L. C., Sagar, V. & Naik, S. (2006). Technical Aspects of Biodiesel Production by Transesterification - A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10, 248–68.

Merino, A. & Zavala, Y. (2008). Biocombustibles, *Biotecnología Y Alimentos. Impactos Sociales Para México*. *Argumentos Nueva Epoca*, 21, 55–83.

Mohan, D., Pittman, C. & Steele, P. (2006). Pyrolysis of Wood/biomass for Bio-Oil: A Critical Review. *Energy and Fuels*, 20, 848–89.

Montes, J., Technow, F., Bohlinger, B. & Becker, K. (2013). Seed Quality Diversity, Trait Associations and Grouping of Accessions in *Jatropha Curcas* L. *Industrial Crops and Products*, 51, 178–85.

Monroy, P. (2016). Educación en México, cada vez más pobre y desigual. Obtido de Contralínea: <http://www.contralinea.com.mx/archivo-revista/index.php/2010/02/28/educacion-en-mexico-cada-vez-mas-pobre-y-desigual/> (Março 2016)

Mujumdar, A. M., Upadhye, A. & Misar, A. (2000). Studies on Antidiarrhoeal Activity of *Jatropha Curcus* Root Extract in Albino Mice. *Journal of Ethnopharmacology*, 70, 83–87.

Nahar, K. (2014). *Jatropha Curcas* L: A Sustainable Feedstock for the Production of Bioenergy and by Products. *Journal of Energy and Natural Resources*, 3, 51.

Nahar, K. & Ozores-Hampton, M. (2011). *Jatropha* : An Alternative Substitute to Fossil Fuel. *Institute of Food and Agricultural Sciences*, 1, 1–10.

Naik, S. N., Vaibhav V., Prasant K. & Ajay K. (2010). Production of First and Second Generation Biofuels: A Comprehensive Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 578–97.

Nazir, N., Mangunwidjaja, D., Yarmo, M.A. & Malakul, P. (2012). Life Cycle Assessment Studies of *Jatropha* (*Jatropha Curcas*) Biodiesel Production Processed by In-Situ Transesterification Method, 5, 13–20.

OCDE. 2016. Glossary of Statistical Terms. Obtido de Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico: <https://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=285> (Novembro 2016)

Openshaw, K. (2000). A Review of *Jatropha Curcas*: An Oil Plant of Unfulfilled Promise. *Biomass and Bioenergy*, 19, 1–15.

Ouwens, K. D., Francis, G., Franken, Y., Rijssenbeek, W., Riedacker, A., Foild, N., Jongschaap, R. & Bindraban P. (2007). Position Paper on *Jatropha Curcas* State of the Art , Small and Large Scale Project Development. Position Paper on *Jatropha* and Large Scale Project Development, FACT.

Pandey, V., Singh, K., Singh J., Kumar, A., Singh, B. & Singh R. (2012). *Jatropha Curcas*: A Potential Biofuel Plant for Sustainable Environmental Development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 2870–83.

Partidário, M.R. (2012). Guia de Melhores Práticas Para Avaliação Ambiental Estratégica - Orientações Metodológicas Para Um Pensamento Estratégico Em AAE.

Parveen, B., Shikha R. & Kumar, A. (2007). Traditional Uses of Medicinal Plants among the Rural Communities of Churu District in the Thar Desert, India. *Journal of Ethnopharmacology*, 113, 387–99.

Piwowar, A., Dzikuć, M. & Adamczyk, J. (2016). Agricultural Biogas Plants in Poland – Selected Technological, Market and Environmental Aspects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 69–74.

Portner, B., Ehrensperger, A., Nezir, Z., Breu T. & Hurni H. (2014). “Biofuels for a Greener Economy? Insights from *Jatropha* Production in Northeastern Ethiopia.” *Sustainability*, 6, 6188–6202.

Portugal-Pereira, J., Nakatani, J., Kurisu, K. & Hanaki, K. (2016). Life Cycle Assessment of Conventional and Optimised *Jatropha* Biodiesel Fuels. *Renewable Energy*, 86, 585–93.

Pradhan, A., Shrestha, D., McAloon, A., Yee, W., Haas, M. & Duffield, J. (2011). Energy Life-Cycle Assessment of Soybean Biodiesel Revisited. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 54, 1031–39.

Prasad, D., Izam, A. & Khan, M. (2012). “*Jatropha Curcas*: Plant of Medical Benefits.” *Journal of Medicinal Plants Research*, 6, 2691–99.

Prueksakorn, K. & Gheewala, S. (2006). Energy and Greenhouse Gas Implications of Biodiesel Production from *Jatropha Curcas* L. The 2nd Joint Conference on “Sustainable Energy and Environment (SEE 2006)”, 21-23 November 2006, Bangkok, Thailand

Puello-Cruz, A. (2013). Producción de alimento para tilapia utilizando harina y aceite. Em L. C. Escoto, *Cadena AgroIndustrial de Jatropha Curcas* (pp. 137-144). Deutschland, Alemanha: PUBLICIA.

Raheman, H. & Mondal, S. (2012). Biogas Production Potential of *Jatropha* Seed Cake.” *Biomass and Bioenergy*, 37, 25–30.

Rebeca, L. (2008). Potencial De Produccion De Semilla De *Jatropha Curcas* En Sinaloa. Universidad Nacional Autónoma De México - Centro De Geociencias Posgrado.

Rodrigues, J., Miranda, I., Gominho, J., Vasconcelos, M., Barradas, G., Pereira, H., Bianchi-de-Aguiar, F. & Ferreira-Dias, S. (2013). Variability in Oil Content and Composition and Storage Stability of Seeds from *Jatropha Curcas* L. Grown in Mozambique. *Industrial Crops and Products*, 50, 828–37.

Rodríguez, J. & Monroy-Ortiz, R. (2015). La Competencia Por Los Recursos Energéticos En El Sistema Urbano de México.

Rodriguez-Acosta, M., Sandoval-Ramirez, J. & Zeferino-Diaz, R. (2010). Extraction and Characterization of Oils from Three Mexican *Jatropha* Species. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 54, 88–91.

Romijn, H., Heijen, S., Colthoff, J., Jong, B. & Eijck, J. (2014). Economic and Social Sustainability Performance of Jatropha Projects: Results from Field Surveys in Mozambique, Tanzania and Mali. *Sustainability*, 6, 23–35.

Sacramento-Rivero, J.C., Romero, G., Cortés-Rodríguez, E., Pech, E. & Blanco-Rosete, S. (2010). Diagnostico Del Desarrollo De Biorrefinerias En Mexico A Diagnostic Study On The Development Of Biorefineries in Mexico. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 1, 261–83.

Sánchez-Arreola, E., Martín-Torres, G., Lozada-Ramírez, J., Hernández, L., Bandala-González, E. & Bachc, H. (2015). Biodiesel Production and de-Oiled Seed Cake Nutritional Values of a Mexican Edible Jatropha Curcas. *Renewable Energy*, 76, 43–47.

Schmidt T. (2011). Anaerobic Digestion of Jatropha Curcas L. Press Cake and Effects of an Iron-Additive. *Waste Management & Research*, 29, 71–76.

Schneider, L. & Finkbeiner, M. (2013). Life Cycle Assessment of EU Oilseed Crushing and Vegetable Oil Refining. http://www.fediol.eu/data/Full_FEDIOL_LCA_report_05062013_CR_statement.pdf. (Maio 2016)

Secretaria De Medio Ambiente Y Recursos Naturales. (2007). ¿Y El Medio Ambiente? Problemas En México Y El Mundo. <http://www.publicaciones.inecc.gob.mx/> (Maio 2016)

Seeds Genomics Biofuels. (2013). Growing energy sustainably Jatropha Curcas - Well Positioned to Meet the World's Bioenergy Needs. <https://www.iea.org/topics/renewables/subtopics/bioenergy/> (Abril 2016)

Semedo, É. (2011). Utilização de Sementes de Jatropha Curcas L . Provenientes de Cabo Verde Para a Produção de Biodiesel, 2, 127.

Silva, C., Ferreira, A.F. (2015). Non-Toxic Jatropha Curcas Biorefinery Evaluation: Sinaloa Case Study. *Energy for Sustainability*, 14–15.

Singhofen, A. (1996). Life Cycle Inventory Data. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1, 71–78..

Staubmann, R. (1997). Biogas Production from Jatropha Curcas Press-Cake. *Applied biochemistry and biotechnology*, 1, 63–65.

Stelyus, L., Mabiki, M. & Mabiki, F. (2008). Theoretical and Practical Evaluation of Jatropha as Energy Source Biofuel in Tanzania. *Economic Effects on Biofuel Production*: 181–200.

Tenenbaum, D. (2008). Food vs. Fuel Diversion of Crops Could Cause More Hunger. *Environmental Health Perspectives*, 116, 254–57.

The International Standards Organisation. (2006). Environmental Management — Life Cycle Assessment — Principles and Framework. 1–28.

Thomas, R., Sah, N. & Sharma, P.B. (2008). Therapeutic Biology of *Jatropha Curcas*: A Mini Review. *Current pharmaceutical biotechnology*, 9, 315–24.

UNEP Setac Life Cycle Initiative. (2009). United Nations Environment Programme Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products. http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx1164xPA-guidelines_sLCA.pdf. (Janeiro 2016)

United Nations Climate Change Secretariat. (2016). Obtido de UNFCCC Country Brief 2014:: <http://newsroom.unfccc.int/media/262721/profile-mexico.pdf> (Março 2016)

Valdes-Rodriguez R., Andrea, O., Sanchez-Sanchez, O., Perez-Vazquez, A. & Caplan, J. (2013). The Mexican Non-Toxic *Jatropha Curcas* L., Food Resource or Biofuel? *Ethnobotany Research and Applications*, 11, 1–8.

Villa, E. L. (2013). Produção de pellets energéticos con biomassa residual de *Jatropha Curcas*. Em G. C. Escoto, *Cadena Agroindustrial de Jatropha Curcas* (pp. 221-228). Deutschland, Alemanha: PUBLICIA.

Wen, Y. (2012). Influence of Climatic Factors and Soil Types on Seed Weight and Oil Content of *Jatropha Curcas* in Guangxi, China. *Procedia Environmental Sciences*, 1, 439–44.

Wiesenhütter, J. (2003). Use of the Physic Nut (*Jatropha Curcas* L .) to Combat Desertification and Reduce Poverty. *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)*: 18-20.

Wolf, M. (2012). The International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook. JRC Reference Reports. European Comission (pp.30-33)

Xunmin, O., Xiliang, Z., Shiyan, C. & Qingfang, G. (2009). Energy Consumption and GHG Emissions of Six Biofuel Pathways by LCA in China. *Applied Energy*, 1, 197–208.

Anexos

Anexo I – Pré-Tratamento

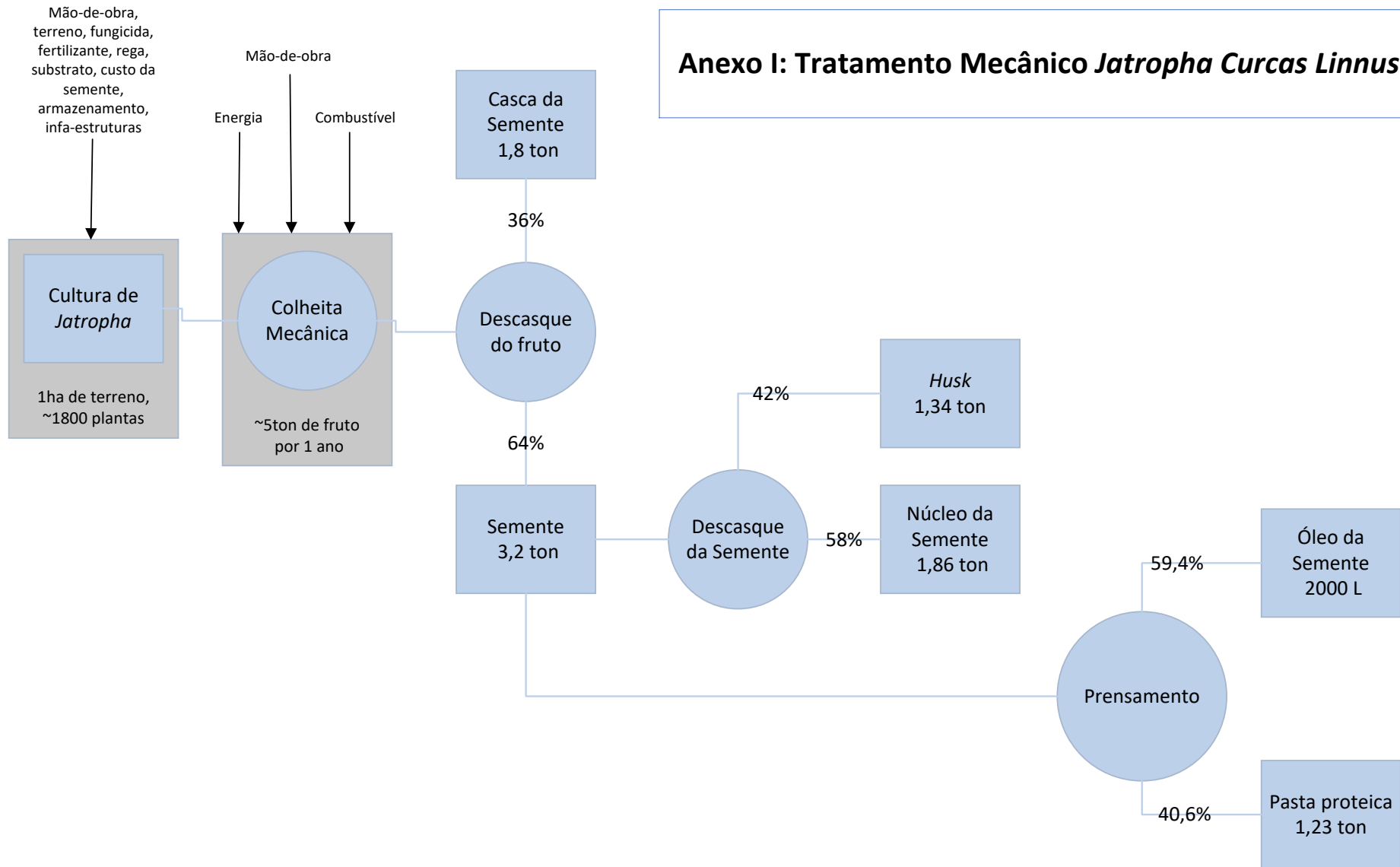
Anexo II – Biorrefinaria I: Energia

Anexo III – Biorrefinaria II: Alimento

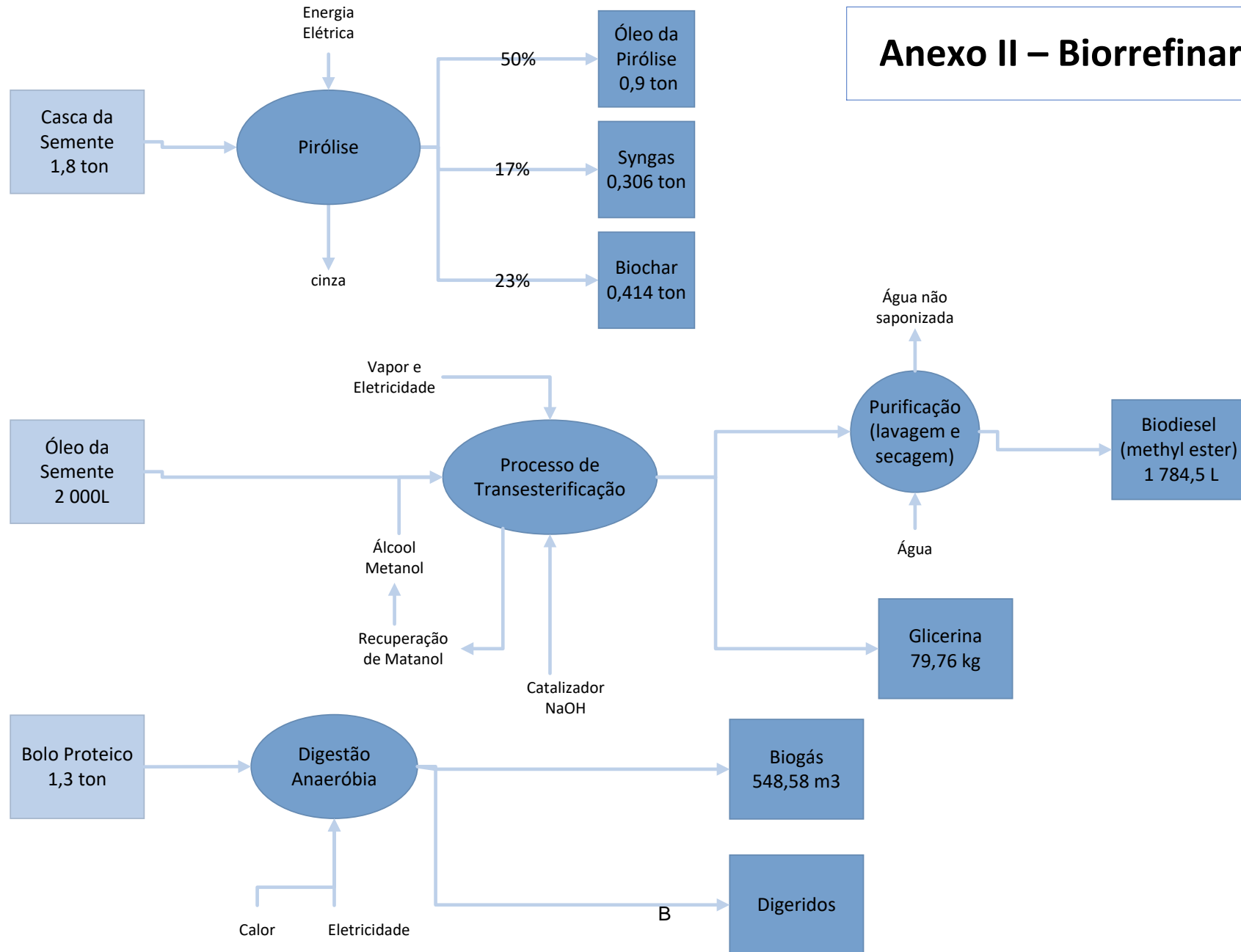
Anexo IV – Biorrefinaria III: Energia e Alimento

Anexo V – Fronteiras do caso de Estudo

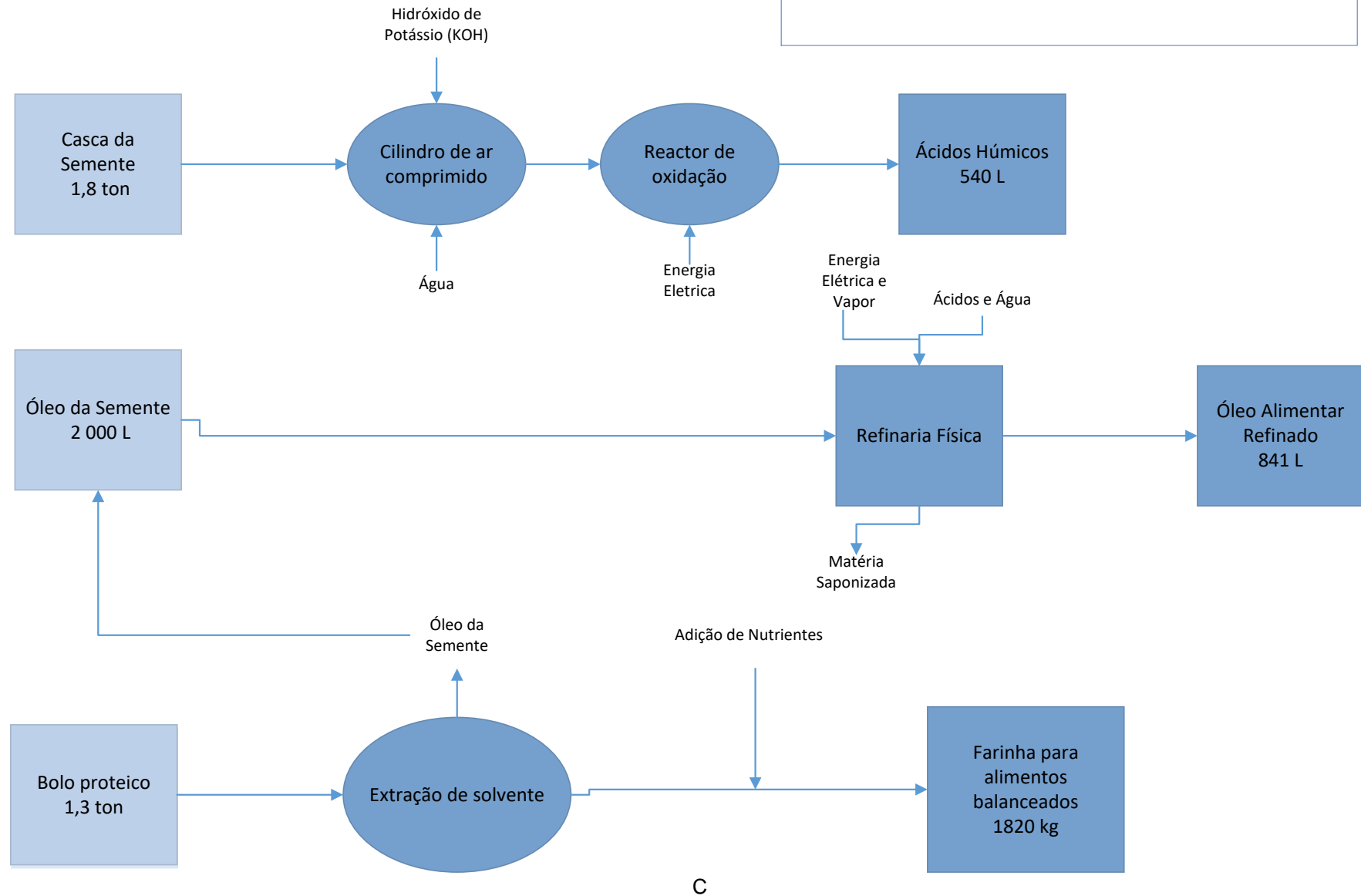
Anexo I: Tratamento Mecânico *Jatropha Curcas* Linnus



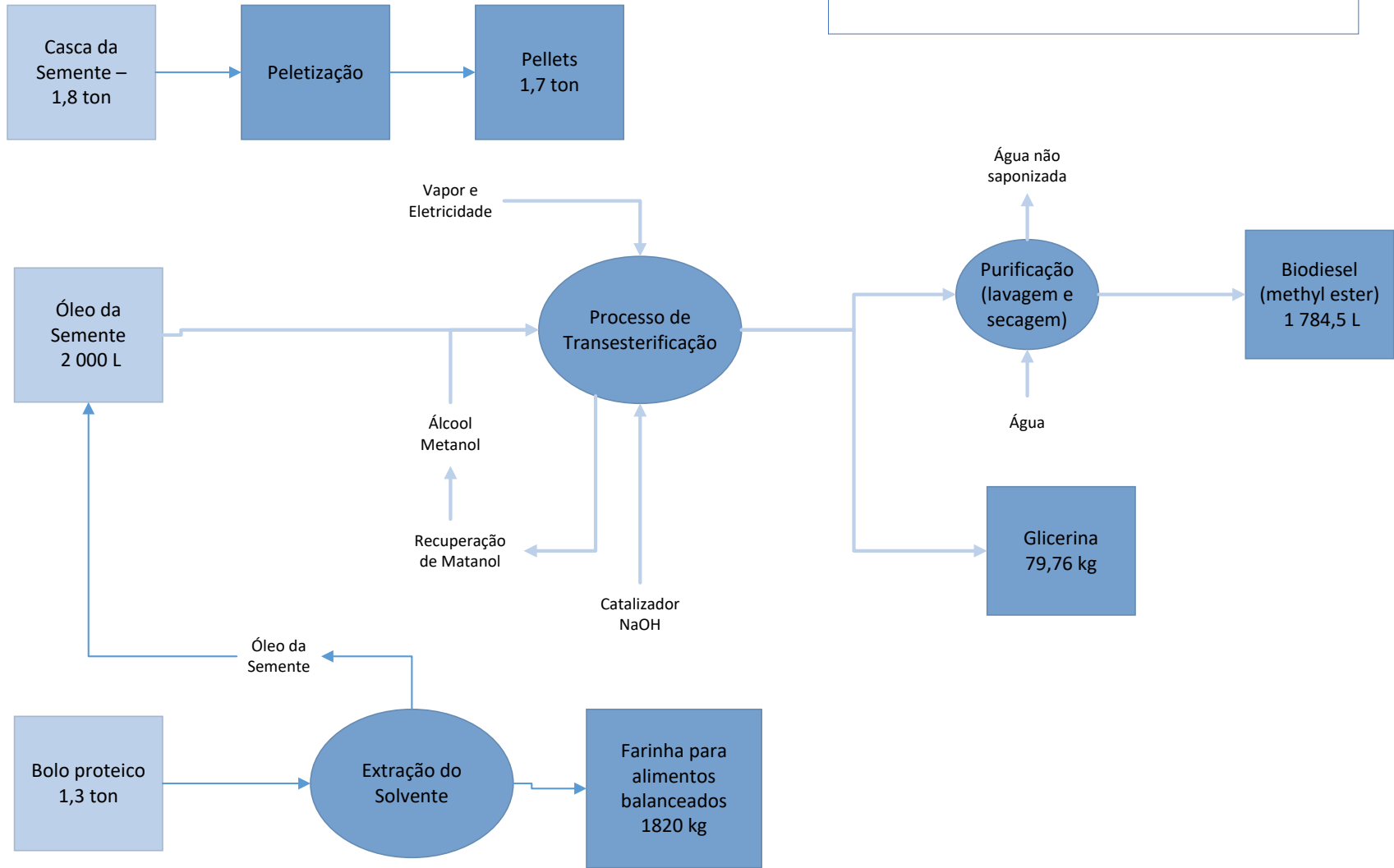
Anexo II – Biorrefinaria I



Anexo III – Biorrefinaria II



Anexo IV – Biorrefinaria III



Anexo V: Fronteiras

