Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Irrigação e tipos de poda no cultivo de pinhão-manso em Piracicaba, SP

Otávio Neto Almeida Santos

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2016

Otávio Neto Almeida Santos
Engenheiro Agrônomo

Irrigação e tipos de poda no cultivo de pinhão-manso em Piracicaba, SP

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **MARCOS VINÍCIUS FOLEGATTI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Santos, Otávio Neto Almeida
Irrigação e tipos de poda no cultivo de pinhão-manso em Piracicaba, SP / Otávio Neto Almeida Santos. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2016.
118 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. *Jatropha curcas* L. 2. Pivô central 3. Óleo vegetal 4. Perfil graxo 5. Análise energética I. Título

CDD 633.85
S237i

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

Dedico,

À memória dos meus avós Otávio, Josefa, Aroaldo e Nadir,

À memória do meu irmão Kaique, o qual teve seus sonhos interrompidos e agora está nos braços do Senhor.

Aos meus amados pais Josevaldo e Dulcinéia,

Aos meus irmãos, Júlio César e Hellen,

À Amanda Laiara (..),

À minha tia Ducilene e demais familiares, amigos e "irmãos".

Ofereço

AGRADECIMENTOS

Como não agradecer a quem sempre me deu força e ouviu as minhas preces? Agradeço a Deus, fonte de todo saber, em quem esperei quando a vida pediu muito de mim, nas angústias, me sustentando com seu amor.

Ao professor Marcos Vinícius Folegatti, meu orientador, pela confiança depositado em mim desde o primeiro contato, atenção constante, sinceridade, transparência, amizade e profissionalismo. Pelas orientações científicas e humanas. Sinto-me honrado em compor sua equipe.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de mestrado.

Às professoras Dra. Patrícia Angélica Alves Marques, Dra. Thais Maria Ferreira de Souza Vieira e ao Dr. Danilton Luiz Flumignan pelas valiosas sugestões, observações e conselhos no exame de qualificação.

Aos meus parceiros e amigos de Equipe, Bruno Lena, João Paulo Francisco, Éder Fanaya Júnior, Irineu Andrade e Jefferson Vieira, pela constante ajuda, ensinamentos, companhia, idas e voltas ao campo experimental. Vocês foram muito importantes nessa pesquisa. Este trabalho também é de vocês.

À professora Dra. Renata Alcarde Sermarini pelo auxílio com as análises estatísticas e pela gentileza com a qual sempre me tratou.

À Universidade Federal do Paraná (UFPR) e aos pesquisadores MSc. Alan Diego da Conceição Santos, MSc. Lívia Macedo Dutra e o professor Dr. Andersson Barison, parceiros nas análises de ressonância magnética nuclear.

Ao Programa de Pós-Graduação da ESALQ/USP pela oportunidade de realização do curso de mestrado, onde estendo minha gratidão aos professores pelo conhecimento partilhado.

À Davilmar Aparecida Colevatti, Ângela Márcia Derigi Silva, Paula Leme Mendes de Oliveira e Luiz Fernando Novello pela prontidão e auxílio na resolução dos processos burocráticos e à Beatriz Regina Duarte Novaes (Bia) pela pessoa que é, atenção, respeito, organização e competência que tem para resolver os mais diversos problemas.

Ao pessoal de apoio do Departamento de Engenharia de Biossistemas dos encontros diários em especial à Seu Antônio, Gilmar Grigolon, Paula Bonassa,

Afonso Costa, Luis Custódio, Yvan Jaoude e Lino Stênico, cuja amizade fica como legado.

Aos amigos que conquistei na Pós-Graduação e futuros colegas, pelas partilhas e troca de experiências. Aos que já passaram, mas que em algum momento nesse período conviveu comigo. A todos vocês minha consideração e respeito pela admirável genialidade de cada um.

Aos amigos Maicon Javorski, Luiz Sobenko, Luanna Rinaldi, Ricardo Feliciano, Élcio Ferreira, Thiago Wendling, Luiza Zazycki, Simone Vieira, Liz Rabelo e Perla Oliveira por vocês serem tão bons amigos, pelas nossas alegrias “de tudo”.

À minha família, namorada, amigos e conterrâneos que torcem por mim. Ao Grupo Sementes de Paz pelas constantes orações, de forma especial a Ivo e Irone e “família”.

Meu muito Obrigado!

"Vós vindes à frente daqueles que procedem bem, e se recordam de suas vias."

Isaías 64, 5

"Porque fostes comprados por um grande preço. Glorificai, pois, a Deus no vosso espírito."

I Coríntios 6, 20

SUMÁRIO

RESUMO....11
ABSTRACT....13
LISTA DE FIGURAS....15
LISTA DE TABELAS....17
LISTA DE ABREVIATURAS....19
LISTA DE SIGLAS....21
LISTA DE SÍMBOLOS....23
1 INTRODUÇÃO....25
1.1 O Pinhão-Manso....26
1.1.1 Origem, descrição e generalidades....26
1.2.2 Aspectos edafoclimáticos para a cultura....30
1.2.3 Irrigação....31
1.2.4 Poda dos ramos....32
1.3 Análise energética....34
Referências....36
2 CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DO PINHÃO-MANSO SOB CONDIÇÕES DIFERENCIADAS DE PODA E IRRIGAÇÃO....45
Resumo....45
Abstract....45
2.1 Introdução....46
2.2 Material e Métodos....48
2.2.1 Caracterização da área e delineamento experimental....48
2.2.2 Condução do experimento....49
2.2.3 Variáveis e avaliações....50
2.2.4 Análise estatística....51
2.3 Resultados e discussão....51
2.3.1 Efeito dos tratamentos no crescimento....52
2.3.3 Rendimento de frutos e sementes....61
2.4 Conclusões....64
Referências....65
3 TEOR DE ÓLEO E PERFIL LIPÍDICO DE SEMENTES DE PINHÃO-MANSO SOB DIFERENTES TIPOS DE PODA E IRRIGAÇÃO USANDO RMN DE ^{1}H....73

Resumo 73
Abstract..... 73
3.1 Introdução..... 74
3.2 Material e Métodos..... 76
3.2.1 Material Vegetal 76
3.2.2 Teor de Óleo..... 76
3.2.3 Composição em ácidos graxos..... 77
3.3.4 Análise Estatística..... 77
3.3 Resultados e Discussão..... 78
3.3.1 Teor de óleo..... 78
3.3.2 Perfil lipídico por RMN HR-MAS de ^{1}H 80
3.3.3 Efeito da irrigação e poda no conteúdo de ácidos graxos 83
3.4 Conclusões..... 84
Referências..... 85
4 ANÁLISE ENERGÉTICA DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DO PINHÃO-MANSO IRRIGADO E SEM IRRIGAÇÃO EM PIRACICABA, SÃO PAULO 93
Resumo 93
Abstract..... 93
4.1 Introdução..... 94
4.2 Material e Métodos 97
4.3 Resultados e Discussão 103
4.3.1 Fluxo de Materiais..... 103
4.3.2 Fluxo de Energia..... 105
4.4 Conclusões..... 112
Referências..... 113

RESUMO

Irrigação e tipos de poda no cultivo de pinhão-manso em Piracicaba, SP

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L) é uma espécie da família da Euforbiácea que tem se destacado por ser uma planta perene, rústica e com elevada produção de óleo. A avaliação dos efeitos da poda e da irrigação no crescimento e produção do pinhão-manso é relevante para o manejo de um cultivo com essa espécie. Este estudo teve como objetivo principal avaliar os efeitos de diferentes tipos de poda e manejos hídricos no cultivo do pinhão-manso em Piracicaba, SP. O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia de Biossistemas (ESALQ/USP), com plantas de quatro anos de idade dispostas em espaçamento 3 x 4 m, totalizando 833 plantas ha^{-1}. Os tratamentos foram arranjados de forma aleatória em blocos compostos de quatro repetições, sendo que os fatores foram constituídos de dois manejos hídricos (irrigado e sem irrigação) e três tipos de poda, sendo P1 (sem poda), P2 (1,5 m de altura x 1,5 m de diâmetro de copa) e P3 (poda a 2 m de altura e 1,5 m de diâmetro da copa). A irrigação teve influência no diâmetro da copa, nas taxas de crescimento absoluto em altura e diâmetro, na taxa de crescimento relativo em diâmetro e nas variáveis produtivas. O fator poda apresentou diferenças em todas as variáveis de crescimento, sendo a poda drástica (P2) a que exibiu as maiores taxas médias de crescimento. As plantas irrigadas apresentaram os maiores rendimentos por planta e por hectare. A análise de ressonância magnética nuclear de hidrogênio (RMN de ^{1}H) revelou que a irrigação e a poda não influenciaram o teor de óleo nas sementes de pinhão-manso. Em relação ao perfil graxo, a irrigação teve influência em plantas submetidas a poda drástica (P2), de modo que a ausência de irrigação favoreceu o maior acúmulo de ácido oleico no óleo. Pela análise energética, observou-se que os fertilizantes foram os insumos com maior participação na demanda energética (42,57 GJ ha^{-1}) para os dois sistemas estudados, seguido dos combustíveis (32,96 GJ ha^{-1}). A área irrigada consumiu 100,4 GJ ha^{-1}, sendo 16% devido ao acionamento do pivô central. A energia bruta dos frutos de pinhão-manso foi de 69,82 e 45,31 GJ ha^{-1} para o sistema irrigado e o sem irrigação, respectivamente. O balanço energético (BE) para as duas áreas foi negativo e a lucratividade energética (EROI) foi de 0,63 para a área irrigada e 0,49 para a área sem irrigação, evidenciando a ineficiência e a não sustentabilidade do cultivo de pinhão-manso nas condições deste estudo para geração de energia.

Palavras-chave: *Jatropha curcas* L.; Pivô central; Óleo vegetal; Perfil graxo; Análise energética

ABSTRACT

Irrigation and types of pruning in jatropha cultivation in Piracicaba, SP

Jatropha (*Jatropha curcas* L) is a species from Euforbiácea family that has been widely studied because of some particular characteristics such as being a perennial plant, its rusticity and the high oil production. The evaluation of pruning and irrigation on growth development and yield of jatropha is very important for the culture management. The objective of this study was to evaluate the effects on jatropha under different types of pruning and water management in Piracicaba, SP. The experiment was conducted in the experimental area of the Department of Biosystems Engineering (ESALQ/USP) during the fourth year crop growing and with 3 x 4 m planting spacing, totalizing 833 plants ha^{-1}. The treatments were randomly arranged in blocks with two water management (irrigation and rainfed) and three pruning types (P1, no pruning; P2, with 1.5 m height x 1.5 m canopy diameter and; P3, with 2.0 height x 1.5 m canopy diameter). In each block, there were three pruning types with 4 blocks in each water management. Irrigation have influenced the canopy diameter values, absolute growth rates for height and canopy diameter, relative growth rate for canopy diameter and yield parameters., pruning management have influenced in all growth parameters, with drastic pruning (P2) representing the highest average growth rates. The irrigation have showed the highest yield per plant and per hectare. The analysis of Nuclear Magnetic Resonance of hydrogen (^{1}H NMR) have shown that the irrigation and pruning have not influenced the oil content on jatropha seeds. Regarding the fatty profile, the irrigation management have influenced only the P2, since that no irrigation have influenced to largest accumulation of oleic acid in the oil. In energy analysis, it was noted that fertilizers were the inputs with the largest participation in energy input (42.57 GJ ha^{-1}) for both water management, followed by fuels (32.96 GJ ha^{-1}). The irrigated area consumed 100.4 GJ ha^{-1} energy, representing 16% due to the central pivot usage. The gross energy of jatropha fruits was 69.82 and 45.31 GJ ha^{-1} for irrigated and rainfed system, respectively. The energy balance for the two areas was negative and the energy return over investment, with 0.63 and 0.49 for irrigated and rainfed, respectively, have showed the inefficiency and unsustainability of jatropha cultivation to generate energy.

Keywords: *Jatropha curcas* L.; Center pivot; Vegetable oil; Lipid profile; Energy analysis

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Diagrama de dispersão e equações de ajuste para altura de plantas de pinhão-manso em função dos dias após a poda. Letras maiúsculas e minúsculas indicam diferenças entre tipo de poda e dias após a poda, respectivamente (p<0,05). Barras verticais indicam o erro padrão da média. Níveis de significância: *0,01< p <0,05; **0,001< p <0,01.....53

Figura 2.2 – Diagrama de dispersão e equações de ajuste para diâmetro de copa de plantas de pinhão-manso em função dos dias após a poda. Letras maiúsculas indicam diferenças entre tipo de poda (A) e entre manejo hídrico (B). Letras minúsculas indicam diferenças entre os dias após a poda, respectivamente (p<0,05). Barras verticais indicam o erro padrão da média. Níveis de significância: *0,01<p<0,05;**0,001<p<0,01.....54

Figura 2.3 – Diagrama de dispersão e equações de ajuste para taxa de crescimento absoluto em altura de plantas (TCA_A) de pinhão-manso em função dos dias após a poda. Letras maiúsculas indicam diferenças entre tipo de poda (A) e entre manejo hídrico (B). Letras minúsculas indicam diferenças entre os dias após a poda, respectivamente (p<0,05). Barras verticais indicam o erro padrão da média. Níveis de significância: *0,01<p<0,05; **0,001<p<0,01.....55

Figura 2.4 – Taxa de crescimento absoluto em diâmetro de copa (TCA_D)de plantas de pinhão-manso em função dos dias após a poda. Letras maiúsculas indicam diferenças entre tipo de poda (A) e entre manejo hídrico (B). Letras minúsculas indicam diferenças entre os dias após a poda, respectivamente (p<0,05). Barras verticais indicam o erro padrão da média. 56

Figura 2.5 – Diagrama de dispersão (A) para taxa de crescimento relativo em altura (TCA_A) e taxa de crescimento relativo diâmetro de copa (TCR_D) de plantas de pinhão-manso em função dos dias após a poda. Letras maiúsculas indicam diferenças entre tipo de poda (A e B), entre manejo hídrico (C). Letras minúsculas indicam diferenças entre os dias após a poda, respectivamente (p<0,05). Barras verticais indicam o erro padrão da média. Níveis de significância: *0,01<p<0,05; **0,001<p<0,01.....57

Figura 2.6 – Valores mensais de temperatura máxima ($T_{máx}$), mínima ($T_{mín}$) e média ($T_{méd}$), umidade relativa do ar média ($UR_{méd}$) e precipitação pluvial (PPT) no período experimental. 58

Figura 2.7 - Diagrama de dispersão e equações de ajuste para índice de área foliar de plantas de pinhão-manso em função dos dias após a poda. Letras maiúsculas indicam diferenças entre tipo de poda (A), entre manejo hídrico (B). Letras minúsculas indicam diferenças entre os dias após a poda, respectivamente (p<0,05). Barras verticais indicam o erro padrão da média. Níveis de significância: *0,01<p<0,05; **0,001<p<0,01. 60

Figura 3.1 - Curvas analíticas de óleo de pinhão manso de acordo com as sequências de pulsos aplicadas. 78

Figura 3.2 - Típico espectro de ^{1}H HR-MAS de pinhão-manso com a respectiva atribuição dos sinais da unidade de glicerol (acima) e os diferentes tipos de ácidos graxos (abaixo). 81

Figura 4.1 - Diagrama do sistema de produção de pinhão-manso. 98

Figura 4.2 - Contribuição percentual dos insumos aplicados na produção de pinhão-manso. 107

Figura 4.3 – Demanda de energia de entrada por ano para o cultivo de pinhão-manso irrigado e sem irrigação em Piracicaba, SP. 110

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Atributos químicos e físicos do solo da área de implantação do experimento. 48

Tabela 2.2 – Valores de F para efeito da irrigação (I), poda (P) e dias de avaliação após a poda (DAP) na altura de plantas, diâmetro da copa (DM), taxa de crescimento absoluto em altura (TCA_A) e diâmetro da copa (TCA_D), taxa de crescimento relativo em altura (TCR_A) e diâmetro da copa (TCR_D) e índice de área foliar (IAF). 52

Tabela 2.3 – Evapotranspiração mensal acumulada (ETc) da cultura de pinhão-manso nos tratamentos irrigados por pivô central e sem irrigação.....57

Tabela 2.4 – Valores de F para efeito da irrigação (I) e poda (P) produção (PrFr), produtividade (PFr) e número de frutos (NFr); produção (PrSe), produtividade (PSe) e número de sementes (NSe).....62

Tabela 2.5 – Médias das variáveis produtivas em função dos manejos hídricos e tipo de poda. 63

Tabela 3.1 – Valores médios (%) e desvios padrão do teor de óleo (%) por spin-eco e CPMG nas sementes de *Jatropha curcas*.estudadas. 79

Tabela 3.2 – Valores médios (%) e desvios padrão do total de ácidos de sementes de pinhão-manso cultivado sob diferentes condições por RMN HR-MAS de ^{1}H. 82

Tabela 4.1 – Fluxo de materiais dos insumos utilizados no sistema de produção estudado. 104

Tabela 4.2 – Fluxo de energia dos insumos utilizados no sistema de produção estudado. 106

Tabela 4.3 – Indicadores de eficiência energética no sistema de produção estudado. 110

LISTA DE ABREVIATURAS

Ab	Abamectin Nortox
A_c	área cultivada
A_i	área irrigada
AQ	Tempo de aquisição
C_b	consumo horário de combustível
Cer	Cercobin 500 SC
DAP	dias após a poda
E_c	energia proveniente do consumo de combustível
EE	energia de entrada
EEp	energia contida no sistema de irrigação por pivô central
Eil	energia contida nos insumos líquidos
Eir	energia consumida pela irrigação com o acionamento elétrico
Eis	energia contida nos insumos sólidos
E_{mi}	energia proveniente de maquinário e implemento
E_{MO}	energia proveniente da mão de obra
EnP	Engeo^{TM} Pleno
ES	energia de saída
ETc	evapotranspiração da cultura
F_{cb}	fator de energia contida no combustível
Fce	fator de consumo específico por potência
Fee	fator de energia contida na energia elétrica
f_{MO}	fator de consumo energético pela mão de obra
Gli	glifosato
H_m	número de horas gastos na operação durante o ano
I_a	concentração do princípio ativo
IE_{mi}	índice energético para máquinas e implementos
Ind_l	índice de energia contida nos insumos líquidos
Ind_s	índice de energia contida nos insumos sólidos
L_i	comprimento da adutora
M.O.	Matéria orgânica
m_i	massa do implemento
M_m	massa da máquina envolvida na operação

Mtep	mega toneladas equivalentes de petróleo
ND	número de dias utilizados durante o ciclo da cultura
NFr	número de frutos
NSe	número de sementes de sementes
PFr	produtividade de frutos
pl	planta
Pot	potência
PrFr	produção de frutos
PrS	produção de sementes
PSe	produtividade de sementes
PX	Priori Xtra®
Q	taxa de aplicação da calda
Q_i	vazão do sistema
Q_t	quantidade de insumos sólidos aplicados
SS	superfosfato simples.
TCA_A	taxa de crescimento absoluto em altura
TCA_D	taxa de crescimento absoluto em diâmetro de copa
TCR_A	taxa de crescimento relativo em altura
TCR_D	taxa de crescimento relativo diâmetro de copa
Th	Theion
TMS	tetrametilsilano
U_d	uso médio diário de energia elétrica
V_a	volume da calda
V_p	volume do produto comercial aplicado no ano
V_u	vida útil do sistema
V_{ui}	vida útil do implemento
V_{um}	vida útil da máquina envolvida na operação

LISTA DE SIGLAS

ASTM	American Society of Testing and Materials
BE	Balanço Energético
CEPAGRI	Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura
CPMG	Carr-Purcell-Meiboom-Gil
DE	Duration Delay
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EROI	Energy Return Over Investment
FID	Free Induction Decay
HR MAS	High-Resolution – Magic Angle Spinning
IAF	Índice de Área Foliar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	International Energy Agency
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NS	Number of Scans
RD	Relaxation Delay
RMN de ^{1}H	Ressonância Magnética Nuclear de Hidrogênio
RMN HR-MAS de ^{1}H	Ressonância Magnética Nuclear de Hidrogênio usando a técnica de HR-MAS
RMN	Ressonância Magnética Nuclear
UNDESA	United Nations Department of Economic and Social Affairs
USDA	United States Department of Agriculture

LISTA DE SÍMBOLOS

τ	duração de eco
µL	microlitro
µs	microssegundo
C	Celsius
Ca^{2+}	cálcio
$CaCl_2$	cloreto de cálcio
$CDCl_3$	clorofórmio deuterado
CH_3	metil
cm	centímetro
dm	decímetro
g	grama
GJ	gigajoule
ha	hectare
Hz	hertz
K^+	potássio
KCl	cloreto de potássio
kg	quilograma
kHz	quilohertz
kW	quilowatt
L	litro
m	metro
m/v	massa/volume
m²	metro quadrado
m³	metro cúbico
mg	miligrama
Mg	megagrama
Mg^{2+}	magnésio
MHz	mega-hertz
MJ	megajoule
mm	milímetro
$mmol_c$	milimol de carga

ms	milissegundo
N	nitrogênio
NC	número de cetano
P	fósforo
pH	potencial hidrogeniônico
S	enxofre
s	segundo
SO_4^{-2}	sulfato
T	tesla
zg	sequência de pulso
δ	deslocamento químico em partes por milhão (ppm)
h	hora

1 INTRODUÇÃO

O mundo está enfrentando uma crise dupla com a exaustão de combustíveis fósseis e degradação ambiental. O uso de combustíveis renováveis, a eficiência energética e proteção ambiental tornaram-se questões importantes nos últimos anos (KUMAR; CHAUBE; JAIN, 2012), intensificando-se a busca por fontes alternativas de energia (POUSA; SANTOS; SUAREZ, 2007; SUAREZ; MENEGHETTI, 2007).

Em 2011, cerca de 8,5 bilhões de toneladas equivalentes de petróleo bruto foi consumida em todo o mundo e há perspectivas de aumento de demanda de energia em 56% até 2040 (INTERNTIONAL ENERGY AGENCY - IEA, 2012). Em 2014, a oferta interna de energia do Brasil (total de energia demandada no país) atingiu 305,6 mega toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), registrando, segundo o último dado divulgado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), uma taxa de crescimento de 3,1% ante a evolução do PIB nacional de 0,1% (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, 2014). Além disso, a participação de renováveis na matriz energética brasileira manteve-se entre as mais elevadas do mundo (39,4%), com pequena redução em relação a 2013 devido à menor oferta de energia hidráulica (EPE, 2014).

Segundo Hooda e Rawat (2005), diversos pesquisadores são a favor da energia produzida através de fontes limpas, partindo do princípio de que a emissão de carbono é neutra, fazendo com que haja uma redução na emissão de gás carbônico em comparação com outras opções. Além do mais, há a ideia de que a produção de biocombustíveis traz benefícios sociais, financeiros e ambientais para as comunidades e países envolvidos. A situação do Brasil com relação ao potencial para produção matérias-primas para biocombustíveis como o biodiesel e álcool é mais confortável com relação à maioria dos países, visto a maior disponibilidade de áreas para cultivo de oleaginosas (SUAREZ et al., 2009).

No Brasil, a principal matéria-prima para a produção de biodiesel se encontra entre as mais de 200 espécies de plantas oleaginosas, tais como a soja (*Glycine max* L.), mamona (*Ricinus communis* L.), palma de óleo (*Elaeais guineensis*), amendoim (*Arachis hypogaea* L), canola (*Brassica napus* L. var. Oleifera Moench), girassol (*Helianthus annuus* L.), algodão (*Gossypium hirsutum* L.), babaçu (*Orrbignya speciosa* Mart.) e pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) (BELTRÃO, 2005; SATURNINO et al., 2005; NUNES, 2007; ARAÚJO; SOUSA, 2008).

O biodiesel é uma mistura de alquilésteres de cadeia linear, obtida da transesterificação dos triglicerídeos de óleos e gorduras com álcoois de cadeia curta, tendo o glicerol como coproduto dessa reação. Esse biocombustível é um exemplo em aplicação do emprego da biomassa para produção de energia, pois apresenta vantagens sobre o diesel de petróleo, não é tóxico e proveniente de fontes renováveis, além da melhor qualidade de emissões durante o processo de combustão (CORRÊA; ARBILLA, 2006; LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009).

Em escala mundial, alguns autores argumentam em favor do uso de terras marginais ou "abandonadas" por cultivos com oleaginosas não comestíveis como o pinhão-manso, com o intuito de evitar a concorrência com culturas alimentares (FIELD; CAMPBELL; LOBELL, 2008; TILMAN et al., 2009). Outros autores propõem a produção em pequena escala em regiões específicas a fim de criar oportunidades de emprego e geração de renda para populações locais (UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS - UNDESA, 2007; CLANCY, 2008).

1.1 O Pinhão-Manso

1.1.1 Origem, descrição e generalidades

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) é uma planta perene pertencente à família *Euphorbiaceae*, que compreende aproximadamente 8000 espécies com cerca de 320 gêneros. O gênero Jatropha contém cerca de 160 espécies de plantas onde várias apresentam valor medicinal, ornamental e outras produzem óleo (SUJATHA; DHINGRA, 1993). O pinhão-manso recebeu o nome botânico de *Jatropha curcas* em 1753 por Karl von Linne (BECKER; MAKKAR, 2008). Essa oleaginosa apresenta muitos atributos, usos múltiplos e potencial considerável, pois pode ser usado para controlar a erosão, recuperar terras, ser usada como cerca viva (KAUSHIK; KUMAR, 2006 apud TIKKOO; YADAV; KAUSHIK, 2013). Além do mais, suas sementes são usadas como matéria-prima para a produção de biodiesel devido aos teores de óleo que variam de 32 a 50% conforme o procedimento de extração, possuindo outras características desejáveis como os altos rendimentos de grãos e óleo de qualidade para a produção de biodiesel, adaptabilidade a diferentes regiões,

precocidade e longevidade. (ARRUDA et al., 2004; SATURNINO et al., 2005; SLUSZZ; MACHADO, 2011).

Além de pinhão-manso, também é conhecido como pinhão do Paraguai, purgueira, pinha-de-purga, grão-de-maluco, pinhão-de-cerca, turba, tartago, medicineira, tapete, siclité, pinhão-do-inferno, pinhão bravo, figo-do-inferno, pião, pinhão-das-barbadas, sassi, dentre outros, com provável origem no Brasil, tendo sido introduzida por navegadores portugueses nas Ilhas do Arquipélago Cabo Verde e Guiné, de onde foi disseminada pelo continente Africano (ARRUDA et al., 2004). Na verdade, o real centro de origem desta planta ainda é incerto, porém alguns autores apontam o pinhão-manso como nativa da América tropical com a área original de distribuição no México, América Central continental (Belize, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicarágua e Panamá) e nas Caatingas do Nordeste brasileiro, apresentando distribuição pantropical com sementes de diferentes procedências, vegetando espontaneamente em diversas regiões do Brasil (LAVIOLA; DIAS, 2008; MAES et al., 2009; NUNES et al., 2009).

A espécie *Jatropha curcas* L. ainda se encontra em processo de domesticação e, segundo Saturnino et al. (2005), somente nos últimos 40 anos é que esta começou a ter seus aspectos agronômicos pesquisados. Apesar da grande rusticidade do pinhão-manso, alguns aspectos agronômicos precisam de maior investigação, como a grande variabilidade genética e o pequeno número de cultivares definidos (BELTRÃO, 2005). Segundo Becker e Makkar (2008) e Henning (2009), há dois genótipos de *Jatropha curcas*, um tóxico e um não tóxico (sem a presença de ésteres de forbol), sendo este último encontrado no estado mexicano de Vera Cruz.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), por meio da Instrução Normativa nº 4, de 14 de janeiro de 2008, autorizou a inscrição, no Registro Nacional de Cultivares, da espécie *Jatropha curcas* L., abrindo caminho para sua exploração comercial no Brasil (ROSCOE, 2008).

O pinhão-manso é uma árvore pequena de crescimento rápido, podendo atingir até 3 m de altura com diâmetro de tronco de aproximadamente 20 cm, mais em condições especiais de cultivo pode atingir até 5 m de altura e diâmetro variando de 20 a 30 cm. (SATURNINO et al., 2005; HENNING, 2009). O tronco, que contém látex, é dividido desde a base, em ramos que são revestidos por uma camada grossa, com cicatrizes produzidas pela queda das folhas na estação seca (DIAS et

al., 2003; HENNING, 2009). Com relação ao sistema radicular, o pinhão-manso apresenta raízes bem desenvolvidas, com uma raiz principal longa e proeminente (pivotante) além de raízes periféricas, quando a planta é proveniente de plantio por semente, sendo que quando propagada de forma vegetativa, há normalmente a ausência da raiz pivotante. Em solos com baixa densidade a raiz pode chegar ao dobro do comprimento da parte aérea (HELLER, 1996; NUNES et al, 2009; YE et al., 2009).

O pinhão-manso é uma planta caracterizada como monoica, com flores unissexuais e produzidas na mesma inflorescência. Ocasionalmente, ocorrem flores hermafroditas, sendo que a polinização de suas flores é entomófila e seus polinizadores, são: formigas, abelhas, moscas e tripes (HELLER, 1996; SOLOMON; EZRADANAM, 2002). A abertura antecipada das flores pistiladas, em relação as estaminadas favorece a polinização cruzada do pinhão-manso (HELLER, 1996). Possui folhas alternadas e de pecíolo longo na forma de coração, as inflorescências são em forma de panícula cimeira definida com flores pequenas na cor amarelo-esverdeada. Em um mesmo ramo pode ocorrer flores masculinas, flores femininas e flores hermafroditas. Possuem também uma floração descontínua com frutos da mesma inflorescência de idades diferentes. Os frutos são cápsulas triloculares medindo em média de 2,5 a 4,0 cm de comprimento por 1,5 a 3,0 cm de diâmetro, sendo inicialmente verdes, chegando à cor marrom escuro quando maduros; constituído por um pericarpo duro e lenhoso indeiscente (COELHO et al, 2005; DOURADO, 2009).

A semente é endospérmica e apresenta forma ovalada, dorso convexo, envoltório liso, coloração preta, marcada por suaves estrias. Apresenta rafe pouco evidente e presença de carúncula, situada próxima à micrópila, presa na parte ventral. Quando a semente está seca, a carúncula tem a extremidade cônica, com dois lóculos pouco visíveis (NUNES et al., 2009). A semente é capaz de fornecer de 50 a 52% de óleo quando extraído com solvente e de 32 a 35% quando extraído por prensagem das amêndoas além de ter 33,7 a 45% de casca, restando a torta como subproduto rico em N, P, K que pode ser utilizado na adubação tanto da lavoura de pinhão-manso como em outras culturas (MARTINS et al., 2008). Diferentes métodos podem ser utilizados para a extração de óleos vegetais como a prensagem mecânica, a extração com solvente e a extração com fluído supercrítico. Pelo método de extração com solvente de Soxhlet obtém-se maior quantidade de óleo em

relação a outros métodos, pois a amostra permanece em contato com o solvente pela evaporação e condensação do mesmo sobre a amostra (BRUM; ARRUDA; REGITANO-D'ARCE, 2009).

Um método alternativo de determinar o teor de óleo de sementes é a Ressonância Magnética Nuclear de Hidrogênio (RMN de ^{1}H) de baixo campo, que pode fornecer o teor de forma rápida, sem destruir a amostra (CONSTANTINO et al., 2014). Segundo estes mesmos autores, existe uma alta correlação entre os métodos de extração por solvente e RMN de ^{1}H de baixo campo, confirmando eficiência dessas análises na determinação dos teores de lipídeos das sementes de matrizes oleaginosas. Já a RMN de alta resolução tem sido utilizada como ferramenta na determinação do perfil lipídico de sementes de pinhão-manso (ANNARAO et al., 2008; MAZUMDAR et al., 2012). No Brasil, pesquisas envolvendo RMN para fins quantitativos são bastante escassos quando comparados a produção internacional, sendo, portanto, uma abordagem que ainda necessita ser explorada no âmbito local.

O óleo é o produto de maior valor agregado da cultura do pinhão-manso e apresenta propriedades como: maior estabilidade oxidativa que o óleo de soja, menor viscosidade quando comparado ao da mamona e melhores propriedades a frio que o óleo de palma (TAPANES et al., 2008). O óleo possui cerca de 20% de ácidos graxos saturados e 80% de ácidos insaturados, sendo o ácido oleico o mais abundante, seguido pelo linoleico, palmítico e esteárico (SHAH; GUPTA, 2007). Segundo Spinelli et al. (2010) o volume de óleo produzido pela planta depende da associação das características produtivas e vegetativas em um determinado ambiente.

Segundo Alves et al. (2008), o desenvolvimento das plântulas originadas de sementes ou de estacas é diferenciado. Por propagação vegetativa, utilizando-se estacas, obtém-se maior precocidade de produção e reproduzem-se com maior fidelidade as características da planta mãe de origem, verifica-se, portanto, menor desenvolvimento vegetativo inicial. Por outro lado, plantas estabelecidas a partir de sementes apresentam maior variabilidade em relação à planta mãe, são mais vigorosas ainda que iniciem a produção mais tarde.

Uma característica muito peculiar, perante as culturas tradicionalmente cultivadas, é o fato de ser uma planta perene e caducifólia, ou seja, perde praticamente todas as suas folhas no final da época seca ou durante a estação mais fria (MAES et al., 2009). Esta característica não deve ser negligenciada no

planejamento de tratos culturais como poda, controle de doenças, pragas e até mesmo no manejo da irrigação.

1.2.2 Aspectos edafoclimáticos para a cultura

O cultivo de pinhão-manso é encontrado desde o nível do mar até altitudes de aproximadamente 1000 m, porém observa-se que a planta se desenvolve melhor entre 200 e 800 metros, em temperaturas médias variando entre 18 e 25°C (SATURNINO et al., 2005). Entretanto, para Makkar e Becker (2009), a faixa de temperatura ótima está entre 25 e 35°C, sendo que a planta pode ser encontrada em regiões do Egito onde as temperaturas excedem os 40°C durante boa parte do ano. Segundo Arruda et al. (2004), o pinhão-manso é exigente de insolação e muito tolerante a seca e a baixa fertilidade dos solos, apresentando grande aptidão para seu cultivo em regiões tropicais e subtropicais de condições áridas e semi-áridas.

Uma série de características no sistema produtivo do pinhão-manso como colheita, espaçamento de plantio, tratos culturais, controle de pragas e doenças e necessidades hídricas ainda não são totalmente compreendidas. As informações com relação ao requerimento de água são divergentes, sendo que em condições irrigadas, a planta pode receber 1500 mm ano^{-1} e sem irrigação, o pinhão-manso tem boa resposta a uma precipitação de 1200 mm ano^{-1} combinado com altas temperaturas podendo sobreviver com apenas 200 mm ano^{-1} (KHEIRA; ATTA, 2009; OPENSHAW, 2000).

Segundo Saturnino et al. (2005), a planta tolera precipitações pluviométricas de 480 a 2380 mm anuais, entretanto seu bom rendimento é observado com chuvas anuais bem distribuídas entre 600 e 800 mm. Para Maes et al. (2009), o pinhão-manso não é comum em regiões de clima árido e semi-árido e também não ocorre nas regiões onde a precipitação média é inferior a 944 mm ano^{-1} o que para esses autores essa informação é bastante contrastante com os valores de necessidade hídrica da cultura comumente citados da ordem de 200 a 300 mm anuais. Além disso, Li et al. (2010), destacam que os cultivos realizados em regiões áridas e semi-áridas estarão condicionados a apresentarem baixas produtividades, exceto se receberem irrigação.

1.2.3 Irrigação

O pinhão-manso tem gerado colocações contraditórias com relação a sua dependência ou não de irrigação, evidenciando a necessidade de estudos nas diversas regiões do Brasil com objetivo de avaliar a resposta do pinhão-manso sob diferentes manejos de irrigação, visto que existe uma grande variabilidade de climas e solos no país. Segundo alguns autores, o aumento na produção de biodiesel irá aumentar a pressão pelo uso da água em todo o mundo (FRAITURE; GIORDANO; LIAO, 2008; RAJAGOPAL, 2008). Fairless (2007) e Achten et al. (2008), destacam que embora o pinhão-manso possa ser caracterizado como uma planta tolerante a seca, ainda não se sabe qual a real resposta dessa cultura quando irrigada e qual o comportamento do consumo hídrico quando submetida a diferentes sistemas de produção. A literatura relata que a planta precisa de água principalmente durante o primeiro ano se as chuvas forem irregulares, indicando que a irrigação é necessária apenas para a sobrevivência inicial (PARAMATHMA et al., 2007 apud ARIZA-MONTOBBIO; LELE, 2010).

Segundo Everson, Mengistu e Gush (2013) culturas que não requerem irrigação, consomem pouca água e fornecem proteção contra a erosão como o pinhão-manso, devem receber preferência quando se seleciona culturas com potencial para biocombustíveis. No entanto, trabalhos têm relatado ganhos de produtividade em condições irrigadas, bem como no teor e rendimento de óleo de sementes (RAJAGOPAL, 2008; KHEIRA; ATTA, 2009; SINGH et al., 2013; TIKKOO; YADAV; KAUSHIK, 2013). Há relatos de produtividades variando de 330 kg ha^{-1} em condições de sequeiro, a 1200 kg ha^{-1} em área irrigada já no primeiro ano de cultivo em Petrolina, no nordeste brasileiro (DRUMOND et al., 2007). Em condições de cultivos intensivos, destacando-se uma boa disponibilidade hídrica, acredita-se que a produtividade possa atingir cerca de 5 Mg ha^{-1} ano^{-1} (TEWARI, 2009).

Quando o déficit hídrico é caracterizado em cultivos, há o desencadeamento de reações que comprometem o pleno desenvolvimento de uma cultura. A queda da atividade fotossintética e o fechamento dos estômatos são alguns dos efeitos causados pelo déficit hídrico (TABAEIZADEH, 1998 apud VALLIYODAN; NGUYEN, 2006; YORDANOV; VELIKOVA; TSONEV, 2003). Consequentemente, a redução da atividade das plantas refletirá em queda na produtividade. Em geral, a produtividade

da planta está condicionada ao número de frutos, número de sementes por fruto e massa de sementes, variando muito, dependendo da região, dos métodos de cultivo e tratos culturais, idade da cultura, bem como da regularidade pluviométrica, ação prolongada de ventos na época da estiagem ou mesmo pela fertilidade do solo (FERNANDES et al., 2013).

Além disso, os esforços em melhoramento genético do pinhão-manso tem potencial de transformar os tipos de plantas atuais dessa oleaginosa em tipos biologicamente eficientes que possam ser produzidos sob sistemas mais intensivos, podendo necessitar de irrigação durante períodos de estresse hídrico (JINGURA, 2011)

1.2.4 Poda dos ramos

O manejo da poda do pinhão-manso também é pouco conhecido devido ao fato do cultivo de pinhão-manso ser relativamente recente. Considerando-se a densidade de plantio, que geralmente varia de 1100 para 3300 plantas ha^{-1} (OPENSHAW, 2000), a poda é uma prática de manejo visando um melhor arranjo espacial de ramos e a dinâmica espaço-temporal da área foliar (RAJAONA; BRUECK; ASCH, 2011).

A poda, no conceito fitotécnico, é considerada uma técnica cultural utilizada para alterar o desenvolvimento natural da planta, sendo uma das práticas culturais mais antigas realizada em fruticultura, sendo que para produzir os resultados esperados, é importante que seja executada levando-se em consideração a fisiologia e a biologia da planta e seja aplicada com moderação e oportunidade (VIEIRA JÚNIOR; MELO, 2006; SCARPARE FILHO; MEDINA; SILVA, 2011). Um dos princípios fisiológicos fundamentais é que o excesso de crescimento vegetativo reduz a quantidade de frutos e o excesso de frutos reduz a qualidade dos mesmos, ou seja, existe uma relação inversa entre vigor e produtividade (SCARPARE FILHO; MEDINA; SILVA, 2011).

Na literatura, alguns trabalhos têm mostrado que a poda pode ser benéfica à cultura do pinhão-manso, contribuindo para a formação da planta com arquitetura adequada, controle fitossanitário e, quando associada à irrigação, aumentar o número de ramos produtivos, inflorescência saudável para proporcionar uma boa frutificação, rendimento de frutos e concentração da produção no tempo, quanto pela

manutenção da arquitetura da planta (BEHERA et al., 2010; GOUR, 2006; MELO et al., 2008; OLIVEIRA; BELTRÃO, 2010; SINGH; BARGALI; SWAMY, 2006).

De acordo com Saturnino et al. (2005), a poda dos ramos no pinhão-manso pode aumentar a intensidade de brotação em virtude da eliminação da dominância apical e consequentemente, concentrar a produção, o que também facilita a operação de colheita. Em cultivos irrigados por pivô central, a poda se torna imprescindível, pois a cultura fica limitada a altura do sistema de irrigação. Além disso, o manejo da poda visa melhorar a circulação de ar, diminuir a incidência de doenças pela maior penetração da radiação solar, além de manter os ramos mais grossos e vigorosos, tornando-os assim mais produtivos (YARBOROUGH, 2006; PESCIE et al., 2011).

A poda proporciona redução da altura das plantas, facilitando a colheita e estimulando a emissão de um maior número de ramos secundários produtivos, uma vez que as inflorescências se localizam nas extremidades apicais desses ramos além de que impede o tombamento de arbustos maiores e pesados, especialmente em áreas propensas a ventos fortes e solos rasos (DEVIDE; CASTRO; RODRIGUES JÚNIOR, 2010; GHOSH; CHIKARA; CHAUDHARY, 2011). Esta é de grande importância na exploração da cultura, influenciando no fenômeno da diferenciação floral, de maneira a permitir que a produção seja contínua ao longo do ano, inclusive no período de entressafra (DIAS et al., 2003).

Alves et al. (2008) afirmam que o pinhão-manso é uma planta que aceita muito bem a poda; sendo que as podas de manutenção devem ser feitas no início da estação chuvosa, visando conduzir a planta, ocupando possíveis espaços que possam vir a existir entre as plantas e para manter a planta em uma altura que favoreça a colheita sem necessidade de usar escadas, ou seja, em torno de dois metros de altura mesmo quando adultas. A poda deve ser feita quando ocorre a queda das folhas e a planta entra em um período de dormência que geralmente coincide com a estação seca (KAUSHIK et al., 2007). Rajaona, Brueck e Asch (2011) sugerem que a poda deve ser considerada uma ferramenta de manejo para otimizar a produção de sementes e biomassa, além de apontarem a necessidade de estudos a longo prazo sobre os efeitos da poda no crescimento e atributos produtivos de pinhão-manso.

1.3 Análise energética

O manejo das culturas e todas as atividades que visam aumentar a produção ou potencial produtivo devem ser avaliados quanto a sua viabilidade em diversos aspectos. No caso do pinhão-manso, pouco se sabe sobre a sua viabilidade econômica, social e energética. Em atividades agrícolas, é de grande importância que as culturas apresentem além de viabilidade econômica, viabilidade energética (HÜLSBERGEN et al., 2001), a qual segundo Albuquerque et al. (2008), pode ser determinada através de uma análise energética, fundamentada como instrumento complementar de avaliação do processo produtivo, principalmente no tocante ao item sustentabilidade (JASPER, 2009).

Determinar a melhor estratégia de manejo dos sistemas agrícolas depende da análise das condições ambientais específicas, bem como das informações de balanços energéticos e econômicos (ASSENHEIMER; CAMPOS; GONCALVES JÚNIOR, 2009). Comitre (1993) expôs a importância da análise e do balanço energético para fornecer parâmetros com a finalidade de mensurar, interpretar e subsidiar a tomada de decisões no direcionamento das políticas tecnológicas.

Nos sistemas de produção agrícola a energia de origem fóssil, da qual o modelo econômico brasileiro é dependente, desempenha papel vital, pois seu preço afeta todos os custos da cadeia produtiva (FLUCK, 1979). A agricultura, como um meio de converter energia solar em alimentos, necessita de outras fontes de energia, sobressaindo-se os fertilizantes e os defensivos agrícolas, insumos, geralmente derivados do petróleo (ULBANERE; FERREIRA, 1989).

A análise energética de um sistema de produção é realizada a partir de dois indicadores muito utilizados, tais como o Balanço Energético (BE) e o EROI (*Energy Return Over Investment)*.

O BE em sistemas agrícolas é calculado a partir da diferença entre toda a energia utilizada para se produzir uma determinada matéria-prima e a energia proveniente da queima dessa matéria-prima. Esse indicador é o mais indicado para definir a viabilidade energética de um sistema de produção (URQUIAGA; ALVES; BOODEY, 2005), podendo gerar um resultado positivo, nulo ou negativo. Um resultado positivo indica que a energia utilizada para se produzir uma matéria prima foi menor do que a energia da matéria-prima produzida. Essa relação tende a ser positiva quando há um menor consumo de fertilizantes, principalmente o

nitrogenado, e um rendimento elevado da cultura (GAZZONI; FELICI; CORONATO, 2007). A partir dos resultados de BE é possível mensurar, interpretar e subsidiar a tomada de decisões relativas à adoção de novas técnicas, direcionamento de políticas tecnológicas e manejos agropecuários, com potencial para economizar energia e aumentar a eficiência dos insumos, reduzindo custos em sistemas de produção (CAMPOS; CAMPOS, 2004; COMITRE, 1993). Também é usado como um indicador para comparar a eficiência energética entre dois biocombustíveis (SHAPOURI; WANG; DUFFIELD, 2006).

O EROI é determinado pela razão entre a energia de saída (*output)* e a energia de entrada (*input*). Segundo Prueksakorn et al. (2010), dependendo do resultado observados, há a possibilidade de compreender a relação entre o investimento da energia e aquela energia produzida. Enquanto valores superiores a 1 indicam um ganho líquido positivo de energia, valores menores que 1 indicam um ganho líquido negativo, ou seja, o investimento de energia está maior do que a energia produzida no sistema de produção. O EROI é uma ferramenta complementar na análise energética e somente o seu uso não seria critério para tomada de decisões, porém, a comparação entre valores de EROI é considerada útil, sendo que através dela é possível tornar mais completa a comparação entre a viabilidade de duas fontes de energia distintas (HALL; BALOGH; MURPHY, 2009). Segundo Andrea (2013), por meio do cálculo do EROI e da mensuração de sua variação com o tempo, obtém-se um bom indicativo de como a rentabilidade energética de um sistema ou processo está mudando.

Dessa forma, o objetivo principal desse trabalho foi avaliar os efeitos de diferentes tipos de poda e manejos hídricos no cultivo do pinhão-manso em Piracicaba, SP. Como objetivos específicos foram propostos avaliar o crescimento e produtividade do pinhão-manso; as mudanças no teor e na composição do óleo de sementes de pinhão-manso; avaliar o balanço energético dessa cultura manejada com irrigação por pivô central e sem irrigação desde a sua implantação até o quarto ano de cultivo.

Referências

ACHTEN, W.M.J.; VERCHOT, L.; FRANKEN, Y.J.; MATHIJS, E.; SINGH, V.P.; AERTS, R.; MUYS, B. Jatropha bio-diesel production and use. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 32, n. 12, p. 1063–1084, 2008.

ALBUQUERQUE, F.A.; BELTRÃO, N.E.M.; LIMA, N.N.C.; ANDRADE, J.R.; MELO, E.B.S. Análise energética do consórcio mamona com amendoim. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 6., 2008, Salvador. **Anais...** Salvador: SEAGRI; Embrapa Algodão, 2008. 1 CD-ROM.

ALVES, J.M.A; SOUSA, A.A.; SILVA, S.R.G.; LOPES, G.N.; SMIDERLE, O.J.; UCHÔA, S.C.P. Pinhão-manso: uma alternativa para a produção de biodiesel na agricultura familiar da Amazônia brasileira. **Agroambiente On-line**, Boa Vista, v. 2, p. 57–68, 2008.

ANDREA, M.C.S. **Fluxos de energia em sistemas de produção de forragens**. 2013. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

ANNARAO, S., SIDHU, O.P.; ROY, R.; TULI, R.; KHETRAPAL, C.L. Lipid profiling of developing *Jatropha curcas* L. seeds using ^{1}H NMR spectroscopy. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, n. 18, p. 9032–9035, 2008.

ARAÚJO, L.G. de.; SOUSA, K.C.I. Pinhão-manso para produção de biodiesel. **Revista Anhangüera**, Goiânia, v. 9, n. 1, p. 95–119, jan./dez. 2008.

ARIZA-MONTOBBIO, P.; LELE, S. Jatropha plantations for biodiesel in Tamil Nadu, India: viability, livelihood trade-offs, and latent conflict. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 70, p. 189–195, 2010.

ARRUDA, F.P.; BELTRÃO, N.E.M.; ANDRADE, A. P.;PEREIRA, W. E.; SEVERINO, L. S. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 789–799, 2004.

ASSENHEIMER, A.; CAMPOS, A.T.; GONÇALVES JÚNIOR, A.F.C. Análise energética de sistemas de produção de soja convencional e orgânica. **Ambiência**, Guarapuava, v. 5, p. 443–455, 2009.

BECKER, K.; MAKKAR, H.P.S. *Jatropha curcas*: a potential source tomorrow's oil and biodiesel. **Lipid Technology**, High Wycombe, v. 20, p. 104–107, 2008.

BEHERA, S.K.; SRIVASTAVA, P.; TRIPATHI, R.; SINGH, J.P.; SINGH, N. Evaluation of plant performance of *Jatropha curcas* L. under different agro-practice for optimizing biomassea case study. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 32, p. 30–41, 2010.

BELTRÃO, N.E.M. Agronegócio das oleaginosas no Brasil. **Informe Agropecuário,** Belo Horizonte, v. 26, p. 44–78, 2005.

_____. **Considerações gerais sobre o pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) e a necessidade urgente de pesquisas, desenvolvimento e inovações tecnológicas para esta planta nas condições brasileiras**. 2006. Disponível em: <http://www.mda.gov.br>. Acesso em: 12 set. 2015.

BRUM, A.A.S.; ARRUDA, L.F.; REGITANO-D´ARCE, M.A.B. Métodos de extração e qualidade da ração lipídica de matérias-primas de origem vegetal e animal. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 849–854, 2009.

CAMPOS, A.T.; CAMPOS, A.T. Balanços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agrosistemas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1977–1985, 2004.

CLANCY, J.S. Are biofuels pro-poor? Assessing the evidence. **The European Journal of Development Research**. London, v. 20, p. 416–431, 2008.

COMITRE, V. **Avaliação energética e aspectos econômicos da filiêre soja na região de Ribeirão Preto – SP**. 1993. 152 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Planejamento Agropecuário) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

CONSTANTINO, A.F.; LACERDA JÚNIOR, V.; SANTOS, R.B.; GRECO, S.J.; SILVA, R.C.; BARBOSA, L.L.; CASTRO, E.V.R.; FREITAS, J.C.C. Análise do teor e da qualidade dos lipídeos presentes em sementes de oleaginosas por RMN de baixo campo. **Química Nova**, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 10–17, 2014.

CORRÊA, S.M.; ARBILLA, G. Aromatic hydrocarbons emissions in diesel and biodiesel exhaust. **Atmospheric Environment,** Oxford, v. 40, p. 6821–6826, 2006.

DEVIDE, A.C.P.; CASTRO, C.M.; RODRIGUES JÚNIOR, C. Efeito de culturas de cobertura e da poda na produtividade do pinhão-manso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA E I SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 4., 2010, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa. Embrapa Algodão, 2010. p. 1326–1332.

DIAS, N.O.; MATSUMOTO, S.N.; REBOUÇAS, T.N.H.; VIANA, A.E.S.; JOSE, A. R.S.; SOUZA, I.V.B. Influencia da poda de produção em ramos de diferente diâmetros de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da pinheira (*Annona squamosa* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 100–103, 2003.

DOURADO, F.W.N. **Avaliação da qualidade de sementes e plântulas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.)**. 2009. 102 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2009.

DRUMOND, M.A.; ANJOS, J.B.; PAIVA, L.E.; MORGADO, L.B.; REIS, E.M. Produção de pinhão-manso no Semiárido Brasileiro. In: CONGRESSO

INTERNACIONAL DE AGROENERGIA E BIOCOMBUSTÍVEIS, 1., 2007, Teresina. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio Norte, 2007. 1 CD-ROM.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço energético nacional:** relatório final; 2015 ano base 2014. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf>. Acesso em: 16 out. 2015.

EVERSON, C.S.; MENGISTU, M.G.; GUSH, M.B. A field assessment of the agronomic performance and water use of *Jatropha curcas* in South Africa. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 59, p. 59–69, 2013.

FAIRLESS, D. The little shrub that could-maybe. **Nature**, London, v. 449, n. 11, p. 652–655, 2007.

FERNANDES, J.D.; CHAVES, L.H.G.; DANTAS, J.P.; SILVA, J.R.P. Fenologia e produção do pinhão-manso cultivado com diferentes fontes de adubação**. Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 2, p. 339–346, abr./jun. 2013.

FIELD, C.B.; CAMPBELL, J.E.; LOBELL, D.B. Biomass energy: the scale of the potential resource. **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdam, v. 23, p. 65–72, 2008.

FLUCK, R.C. Energy productivity: a measure of energy utilization in agricultural systems. **Agricultural Systems**, Essex, v.4, n.1, p. 29-37, 1979.

FRAITURE, C.; GIORDANO, M.; LIAO, Y. Biofuels and implications for agricultural water use: blue impacts of green energy. **Water Policy**, London, v. 10, suppl. 1, p. 67–81, 2008.

GAZZONI, D.L.; FELICI, P.H.N.; CORONATO, R.M.S. Balanço energético das culturas de soja e girassol para produção de biodiesel. **Revista Biodiesel**, Monte Alto, v. 2, n. 16, p. 26–28, 2007.

GHOSH, A.; CHIKARA, J.; CHAUDHARY, D.R. Diminution of economic yield as affected by pruning and chemical manipulation of *Jatropha curcas* L. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 35, p. 1021–1029, 2011.

GOUR V.K. Production practices including post-harvest management of *Jatropha curcas*. In: SINGH, B.; SWAMINATHAN, R.; PONRAJ, V. **Proceedings of the biodiesel conference toward energy independence – focus on Jatropha**. New Delhi: Rashtrapati Bhawan, 2006. p. 223–251.

HALL, C.A.S.; BALOGH, S.; MURPHY, D.J.R. What is the minimum EROI that a sustainable society must have? **Energies**, Paris, v. 2, p. 25–47, 2009.

HELLER, J. **Physic nut: *Jatropha curcas* L.:** promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Rome: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, 1996. 66 p.

HENNING, R.K. **The Jatropha system:** an integrated approach of rural development. Gruebels: Weissemberg, 2009. 106 p.

HOODA, N.; RAWAT, V.R.S. Role of bio-energy plantations for carbon-dioxide mitigation with special reference to India. **Mitigation and adaptation Strategies for Global Change,** Heidelberg, v. 11, p. 446–467, Oct. 2005.

HÜLSBERGEN, K.J.; FEIL, B.; BIERMANN, S.; RATHKE, G.W.; KALK, W.D.; DIEPENBROCK, W. A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 86, n. 3, p. 303–321, 2001.

INTERNTIONAL ENERGY AGENCY. **Annual energy outlook 2012 with projections to 2035.** Washington: U.S. Energy Information Administration; U.S. Department of Energy, 2012. Disponível em: <http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383(2012).pdf>. Acessado em: 17 set. 2015.

JASPER, S.P. **Cultura do crambe (Crambe abyssinica Hochst):** avaliação energética, de custo de produção e produtividade em sistema de plantio direto. 2009 103 p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2009.

JINGURA, R.M. Technical options for optimization of production of *Jatropha curcas* as a biofuel feedstock in arid and semi-arid areas of Zimbabwe. **Biomass and Bioenergy**. Oxford, v. 35, p. 2127–2132, 2011.

KAUSHIK, N.; KUMAR, K.; KUMAR, S.; ROY, S. Genetic variability and divergence studies in seed traits and oil content of Jatropha (*Jatropha curcas* L.) accessions. **Biomass and bioenergy**, Oxford, v. 31, n. 7, p. 497–502, 2007.

KHEIRA, A.A.A.; ATTA, N.M.M. Response of *Jatropha curcas* L. to water deficit: Yield, water use efficiency and oilseed characteristics. **Biomass and Bionergy**, Oxford, v. 33, p. 1–8, 2009.

KUMAR, S.; CHAUBE, A.; JAIN, K.S. Sustainability issues for promotion of Jatropha biodiesel in Indian scenario: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Amsterdam, v. 16, p. 1089–1098, 2012.

LAVIOLA, B.G.; DIAS, L.A.S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1969–1975, set./out. 2008.

LI, Z.; LIN, B.L.; ZHAO, X.; SAGISAKA, M.; SHIBAZAKI, R. System approach for evaluating the potential yield and plantation of *Jatropha curcas* L. on a global scale. **Environmental Science and Technology**, Easton, v. 44, n. 6, p. 2204–2209, 2010.

LÔBO, I.P.; FERREIRA, S.L.C.; CRUZ, R.S. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 6, p.1596–1608, 2009.

MAES, W.H.; TRABUCCO, A.; ACHTEN, W.M.J.; MUYS, B. Climatic growing conditions of *Jatropha curcas* L. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 33, p. 481–1485, 2009.

MAKKAR, H.P.S.; BECKER, K. *Jatropha curcas*, a promising crop for the generation of biodiesel and value-added coproducts. **European Journal of Lipid Science and Technology**, Weinheim, v. 111, p. 773–787, Mar. 2009.

MARTINS, C.C.; MACHADO, C.G.; CAVASINI, R. Temperaturas e substrato para o teste de germinação de sementes de pinhão-manso; **Ciência Agrotecnica,** Lavras, v.32, n. 3, p. 863–868, maio/jun. 2008.

MAZUMDAR, P.; BORUGADDA, V.B.; GOUD, V.V.; SAHOO, L. Physico-chemical characteristics of *Jatropha curcas* L. of North East India for exploration of biodiesel. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 46, p. 546–554, 2012.

MELO, R.D.; LEE, G.T.S.; MASSARO, R.I. Influência da poda na produção de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16., 2008, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2008. v. 4, p. 381.

NUNES, C.F. **Caracterização de frutos, sementes e plântulas e cultivo de embriões de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.)**. 2007. 78 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

NUNES, C.F.; SANTOS, D.N.; PASQUAL, M.; VALENTE, T.C.T. Morfologia externa de frutos, sementes e plântulas de pinhão-manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 2, p. 207–210, 2009.

OLIVEIRA, S.J.C.; BELTRÃO, N.E.M. Crescimento do pinhão-manso (*Jatropha curcas*) em função da poda e da adubação química. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 14, p. 9–17, 2010.

OPENSHAW, K. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 19, n. 1, p. 1–15, 2000.

PESCIE, M.; BORDA, M.; FEDYSZAK, P.; LÓPEZ, C. Effect of time and intensity of pruning on the yield and fruit quality of southern highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum*) var. O'neal in Buenos Aires province. **Revista de Investigaciones Agropecuarias**. Buenos Aires, v. 37, p. 268–274, 2011.

POUSA, G.P.A.G.; SANTOS, A.L.F.; SUAREZ, P.A.Z. History and policy of biodiesel in Brazil. **Energy Policy**, Surrey, v. 35 p. 5393–5398, 2007.

PRUEKSAKORN, K.; GHEEWALA, S.H.; MALAKUL, P. BONNET, S. Energy analysis of Jatropha plantation systems for biodiesel production in Thailand. **Energy for Sustainable Development,** Bangalore, v. 14, p. 1–5, 2010.

RAJAGOPAL, D. Implications of India's biofuel policies for food, water and the poor. **Water Policy**, London, v. 10, suppl. 1, p. 95–106, 2008.

RAJAONA, A.M.; BRUECK, B.; ASCH, F. Effect of pruning history on growth and dry mass partitioning of Jatropha on a plantation site in Madagascar. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 35, p. 4892–4900, 2011.

ROSCOE, R. **O que muda com a liberação do plantio de pinhão-manso no Brasil?** Catálogo da Indústria do Biodiesel. 2008. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/noticias/colunistas/convidado/muda-liberacao-plantio-pinhao-manso-brasil-07-02-08.htm>. Acesso em: 19 maio 2015.

SATURNINO, H.M.; PACHECO, D.D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N.P. Cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 44–78, 2005.

SCARPARE FILHO, J.A.; MEDINA, R.B.; SILVA, S.R. **Poda de árvores frutíferas**. Piracicaba: USP, ESALQ, Casa do Produtor Rural, 2011. 54 p.

SHAH, S.; GUPTA, M.N. Lipase catalyzed preparation of biodiesel from Jatropha oil in a solvent free system. **Process Biochemistry**, London, v. 42, p. 409–414, 2007.

SHAPOURI, H.; WANG, M.; DUFFIELD, J. A. Net energy balancing and fuel-cycle analysis. In: WULF, J. de.; LANGENHOVE, H. van (Ed.). **Renewables-based technology:** sustainability assessment. London: John Wiley, 2006. p. 73-86.

SINGH, L.; BARGALI, S.S.; SWAMY, S.L. Production practices and postharvest management. In: SINGH, B.; SWAMINATHAN, R.; PONRAJ, V. (Ed.). **Proceedings of the biodiesel conference toward energy independence:** focus on Jatropha. New Delhi: Rashtrapati Bhawan; 2006. p. 252–267.

SINGH, B.; SINGH, K.; RAO, R.G.; CHIKARA, J.; KUMAR, D.; MISHRA, D.K.; SAIKIA, S.P.; PATHRE, U.V.; RAGHUVANSHI, N.; RAHI, T.S.; TULI, R. Agrotechnology of *Jatropha curcas* for diverse environmental conditions in India. **Biomass and Bioenergy,** Oxford, v. 48, p. 191–202, 2013.

SLUSZZ, T.; MACHADO, J.A.D. Culturas matérias-primas para biodiesel e o potencial de adoção pela agricultura familiar nas diferentes regiões brasileiras. In: PICHLER, N.A.; PADILHA, A.C.M.; ROCHA, J.M. (Org.). **Biodiesel**. Jaguarão: UNIPAMPA, 2011. p. 161–182.

SOLOMON, R.A.J.; EZRADANAM, V. Pollination ecology and fruiting behaviour in a monoecious species, *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). **Current Science**, Bangalore, v. 83, n. 11, p. 1395–1398, Dec. 2002.

SPINELLI, V.M.; ROCHA, R.B.; RAMALHO, A.R.; MARCOLAN, A.L.; VIEIRA JUNIOR, J.R.; FERNANDES, C. F.; MILITÃO, J.S.T.; DIAS, L.A.S. Componentes primários e secundários do rendimento de óleo de pinhão-manso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 8, p. 1752–1758, 2010.

SUAREZ, P.A.Z.; MENEGHETTI, S.M. P. 70° aniversário do biodiesel em 2007: evolução histórica e situação atual no Brasil. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, p. 2068–2071, 2007.

SUAREZ, P.A.Z.; SANTOS, A.L.F.; RODRIGUES, J.P.; ALVES, M.B. Biocombustíveis a partir de óleos e gorduras: desafios tecnológicos para viabilizá-los. **Quimica Nova,** São Paulo, v. 32, p. 768–775, 2009.

SUJATHA, M.; DHINGRA, M. Rapid plant regeneration from various explants of *Jatropha integerrima*: hypocotyl culture, shoot culture, leaf culture and peduncule culture medium optimization for oilseed ornamental plant propagation. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Dordrecht, v. 35, n. 3, p. 293–296, Dec. 1993.
TAPANES, N.C.O.; ARANDA, D.A.G.; CARNEIRO, J.W.M.; ANTUNES, A.C.A. Transesterification of *Jatropha curcas* oil glycerides: theoretical and experimental studies of biodiesel reaction. **Fuel**, London, v. 87, p. 2286–2295, 2008.

TEWARI, D.N. **Jatropha and bio-diesel**. New Delhi: Ocean Books, 2009. 228 p.

TIKKOO, A.; YADAV, S.S.; KAUSHIK, N. Effect of irrigation, nitrogen and potassium on seed yield and oil content of *Jatropha curcas* in coarse textured soils of northwest India. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 134, p. 142–146, 2013.

TILMAN, D.; SOCOLOW, R.; FOLEY, J.A.; HILL, J.; LARSON, E.; LYND, L.; PACALA, S.; REILLY, J.; SEARCHINGER, T.; SOMERVILLE, C.; WILLIAMS, R. Beneficial biofuels: the food, energy, and environment trilemma. **Science**, Washington**,** v. 325, p. 270–271, 2009.

ULBANERE, R.C.; FERREIRA, W.A. Análise do balanço energético para a produção de milho no estado de São Paulo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 4, n. 1, p. 35–42, 1989.

URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BOODEY, R.M. Produção de biocombustíveis: a questão do balanço energético. **Revista Política Agrícola**, Brasília, n. 1, p. 42-46, 2005.

UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS **Small-Scale production and use of liquid biofuels in Sub-Saharan Africa:** perspectives for sustainable development. 2007. (Background Paper, 2). Disponível em: http://www.un.org/esa/sustdev/csd/csd15/documents/csd15_bp2.pdf>. Acesso em: 06 set. 2015.

VALLIYODAN, B.; NGUYEN, H.T. Understanding regulatory networks and engineering for enhanced drought tolerance in plants. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 9, p. 189–195, 2006

VIEIRA JÚNIOR, H.C.; MELO, H. B. **Poda das fruteiras**. <http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/poda.html>. Acesso em: 04 ago. 2015.

YARBOROUGH, D.E. Blueberry pruning and pollination. In: CHILDERS, N.F. (Ed.). **Blueberries for growers, gardeners, promoters**. Gainesville: Norman F. Childers Horticultural Publ., 2006. p. 75-83.

YE, M.; CAIYAN, L.; FRANCIS, G; MAKKAR, H.P.S. Current situation and prospects of *Jatropha curcas* as a multipurpose tree in China. **Agroforest System**, Dordrecht, v. 76, p. 487–497, Apr. 2009.

YORDANOV, I.; VELIKOVA V.; TSONEV T. Plant responses to drought and stress tolerance. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, Varna, sp. issue, p. 187–206, 2003.

2 CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DO PINHÃO-MANSO SOB CONDIÇÕES DIFERENCIADAS DE PODA E IRRIGAÇÃO

Resumo

O pinhão-manso é uma oleaginosa que tem despertado interesse com relação ao seu conhecimento agronômico. Além disso, esta planta tem importância para a produção de biodiesel devido ao elevado teor de óleo em suas sementes. O efeito da irrigação combinado a diferentes intensidades de poda no crescimento e produtividade do pinhão-manso foi investigado neste estudo. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da ESALQ/USP, em blocos aleatorizados com quatro repetições, em que os fatores foram constituídos de três tipos de poda e dois manejos hídricos. Cada parcela foi constituída de 16 plantas, sendo as quatro plantas centrais consideradas úteis. As variáveis altura de plantas, diâmetro de copa, taxas de crescimento absoluto e relativo em altura e diâmetro de copa e índice de área foliar foram avaliados mensalmente (30; 60; 90; 120; 150; 180 e 210 dias após poda) e as variáveis de produção ao final do experimento. A irrigação influenciou o diâmetro da copa, taxas de crescimento absoluto em altura e diâmetro de copa, na taxa de crescimento relativo em diâmetro de copa e nas variáveis produtivas. Por outro lado, o fator poda apresentou diferenças em todas as variáveis de crescimento, sendo a poda drástica a que exibiu as maiores taxas médias de crescimento. As plantas irrigadas apresentaram os maiores rendimentos por planta e por hectare.

Palavras-chave: *Jatropha curcas* L.; Oleaginosa; Pivô central

Abstract

Jatropha is an oilseed culture that has been highlighted because some agronomic aspects. In addition, this plant is important for biodiesel production due to the high oil content in its seeds. The combined effect of irrigation to different pruning intensities on growth and productivity of jatropha was study in this work. The experiment was conducted at the Experimental Farm of ESALQ/USP, in randomized blocks with four replicates, where the factors were three types of pruning and two water conditions. Each prune of each block had 16 plants, considering only the central plants (four plants) to collect the data. The data regarding the plant height, canopy diameter, absolute and relative growth rates in height and canopy diameter, and leaf area index were evaluated monthly (30; 60; 90; 120; 150; 180 and 210 days after pruning), plus the production parameters. Irrigation have influenced canopy diameter, absolute growth rates in height and canopy diameter, the relative growth rate in canopy diameter and productive parameters. On the other hand, the pruning have showed differences in all growth variables, being the drastic pruning that have presented the highest average on growth rates. The plants under irrigated conditions have showed the highest yield per plant and per hectare.

Keywords: *Jatropha curcas* L.; Oilseeds; Center pivot

2.1 Introdução

A exploração da bioenergia representada pela produção de biocombustíveis tornou-se parte da agenda de desenvolvimento sustentável global, assim como tem chamado atenção científica e comercial como meio de abordar uma possível crise energética. O bioetanol e o biodiesel são considerados os mais importantes biocombustíveis líquidos utilizados nos últimos anos. Os biocombustíveis são derivados principalmente a partir de culturas agrícolas, como cana e milho (bioetanol) e sementes oleaginosas (biodiesel) (YE et al., 2009; JINGURA, 2011).

Uma das alternativas para a produção de biodiesel é o pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), uma cultura com potencial promissor no que se refere ao fornecimento de matéria-prima para geração de energia. Esta oleaginosa é uma planta da família Euphorbiaceae, nativa do México e América Central, com cultivos em muitos outros países latino-americanos, asiáticos e africanos, adaptando-se a diversidade de ambientes tropicais e subtropicais (MISHRA, 2009). O pinhão-manso apresenta diversos atributos, tais como rápido crescimento, capacidade de crescer em áreas marginais, fácil propagação, ser uma planta perene, podendo ser cultivada em área de baixa e alta precipitação e suas sementes produzem óleo viscoso que serve de matéria prima para a produção de sabão e velas, na indústria de cosméticos e, de forma mais importante, na produção de biodiesel (JONGSCHAAP et al., 2007; KUMAR; SHARMA, 2008; SUJATHA; REDDY; MAHASI, 2008).

O pinhão-manso apresenta prematuridade quanto ao aparecimento de gemas, o que favorece o aumento na quantidade de ramos e, consequentemente na produção de frutos (OLIVEIRA; BELTRÃO, 2010). Além disso, dados científicos confiáveis estão em falta, apesar do seu âmbito considerável para aperfeiçoar a produção em uma ampla gama de práticas agrícolas (SINGH et al., 2013).

Mesmo sendo conhecida como uma planta tolerante a falta de água, o pinhão-manso não cresce bem em áreas propensas à seca, requerendo irrigação pelo menos modesta (mensal) durante o período de seca (SINGH et al., 2013). Para Behera et al. (2010) e Srivastava et al. (2011) a frequência da irrigação não afeta significativamente o crescimento do pinhão-manso, porém segundo Openshaw (2000) a cultura do pinhão manso responde bem à irrigação, interferindo diretamente na produção, possibilitando de três a quatro colheitas por ano. No entanto, o fornecimento de água para a cultura de forma eficiente interfere diretamente no

processo de produção agrícola, considerando que são cada vez mais frequentes os problemas climáticos como estiagens que atingem severamente culturas não irrigadas, mesmo em regiões climaticamente aptas para a maioria das culturas (EVANGELISTA et al., 2011).

Segundo Rajaona, Brueck e Asch (2011) pouco se sabe sobre o comportamento do pinhão-manso submetido a técnicas de manejo da cultura em campo, tais como aplicação de fertilizantes, irrigação ou poda, uma vez que os estudos com esta planta tem sido iniciado recentemente. De forma contrária, são intensas as investigações sobre os aspectos técnicos de processamento de óleo de sementes de pinhão-manso. Para alguns autores, a poda é uma intervenção fitotécnica que pode contribuir para a formação da planta com arquitetura adequada, reduzir a incidência de pragas e doenças, melhora a circulação do ar no dossel foliar e, quando associada à irrigação, aumentar o número de ramos produtivos (YARBOROUGH, 2006; OLIVEIRA; BELTRÃO, 2010; PESCIE et al., 2011). Além do mais, permitir que as plantas cresçam até alcançarem grandes portes, pode gerar problemas na colheita, como aumento nos custos com mão-de-obra, considerando o florescimento e de maturação dos frutos do pinhão-manso desuniformes (ALAM; ABDULLAH; ABDULLAH, 2011; BRASILEIRO et al., 2012; EVERSON; MENGISTU; GUSH, 2013).

A análise de crescimento clássica baseia-se em intervalos de tempo fixados por duas amostras sucessivas ao longo do ciclo biológico da cultura e requer informações que podem ser obtidas sem necessidade de equipamentos sofisticados (SILVA; BELTRÃO; AMORIM NETO, 2000). Seu fundamento, segundo Benincasa (2003), baseia-se no fato de que, em média, 90% da matéria orgânica acumulada ao longo do crescimento da planta são provenientes da atividade fotossintética e o restante, da absorção mineral do solo. Essa análise tem sido utilizada para a investigação do efeito de fenômenos ocorridos, desde as influências ecológicas naturais até efeitos de tratamentos aplicados sobre o crescimento de diversas culturas (PAULINO et al., 2011).

Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o crescimento e produtividade do pinhão-manso em resposta a irrigação e diferentes tipos de poda para a região de Piracicaba, SP.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Caracterização da área e delineamento experimental

O experimento foi realizado no município de Piracicaba, SP (latitude 22°41'58" S, longitude 47°38'42" e altitude de 511 m), na Fazenda Areão, pertencente ao Departamento de Engenharia de Biossistemas, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (ESALQ–USP). O clima da região é considerado do tipo Cwa no sistema Köppen, denominado subtropical úmido, e caracterizado por estiagem no inverno, temperatura média anual em torno de 22 °C e precipitação acumulada média de 1328 mm ano^{-1} (CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA - CEPAGRI, 2013). O solo é classificado como Nitossolo Vermelho (EMBRAPA, 2006), apresentando textura argilosa e densidade média variando de 1,4 a 1,46 g cm^{-3} (FLUMIGNAN, 2011) na camada de 0 a 1 m de profundidade. Na Tabela 2.1 estão apresentados os parâmetros físicos e a caracterização química do solo determinados a partir de amostras compostas coletadas aleatoriamente na área em que o experimento foi implantado.

Tabela 2.1 - Características químicas e físicas do solo da área de implantação do experimento

Químicos										
Área de manejo	Camada	pH ($CaCl_2$)	M.O.*	N	P	S (SO_4^{-2})	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	H+Al
	m		g dm^{-3}	mg kg^{-1}	--mg dm^{-3}--		----------mmol$_c$ dm^{-3}----------			
Pivô Central	0-0,2	6,0	18	1120	10	26	2,5	55	18	20
	0,2-0,4	5,8	9	840	2	32	1,2	47	21	20
Sequeiro	0-0,2	5,5	18	1120	18	22	1,3	49	13	25
	0,2-0,4	5,5	11	980	4	26	1,0	44	12	25

Físicos					
		Argila	Silte	Areia	Classe Textural
		----------g kg^{-1}----------			
Pivô Central	0-0,2	486	259	255	Argilosa
	0,2-0,4	644	162	195	Muito Argilosa
Sequeiro	0-0,2	541	209	250	Argilosa
	0,2-0,4	614	206	180	Muito Argilosa

*Matéria Orgânica

O monitoramento dos dados meteorológicos foi realizado por uma estação meteorológica equipada com sensores de temperatura e umidade relativa do ar (Termohigrômetro modelo HMP45C da Vaisala®) e chuva (Pluviômetro modelo

TE525MM da Texas Electronics®). A leitura e armazenamento dos dados climáticos foi realizada por um *datalogger* (CR23X, Campbell Scientific®), o quais foram fornecidos a cada 15 minutos e nas escalas horária e diária.

As mudas de pinhão-manso foram cultivadas em casa de vegetação e transplantadas em dezembro de 2011 sendo dispostas em espaçamento de 3 x 4 m (12 m^2 de área por planta) entre plantas e linhas, respetivamente, totalizando 833 plantas ha^{-1}. As podas correspondentes aos tratamentos foram realizadas em setembro de 2014 por ocasião do início do quarto ano de cultivo da cultura (2014/2015), quando as plantas estavam em período de dormência, período em que, segundo Behera et al. (2010) a poda parece ser uma técnica eficiente para produzir novos ramos. O delineamento experimental utilizado foi em blocos aleatorizados, segundo um esquema fatorial 3 x 2, com quatro repetições. Os fatores foram constituídos de três tipos de poda e dois manejos hídricos (com e sem irrigação). Cada parcela foi constituída de 16 plantas, sendo as quatro plantas centrais consideradas úteis. Foram utilizadas duas áreas, sendo uma irrigada (I) e outra sem irrigação (SI). Em ambas as áreas foram realizadas os seguintes tipos de poda: sem poda (P1); poda a 1,5 m de altura e 1,5 m de diâmetro (P2); e poda a 2 m de altura e 1,5 m de diâmetro de copa (P3). As podas foram realizadas com auxílio de facão e gabarito confeccionado com tubos de polietileno nas dimensões especificadas na descrição dos tratamentos.

2.2.2 Condução do experimento

A irrigação no tratamento irrigado foi realizada através do pivô central, sendo o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) de 82 e 81% avaliado nos anos de 2014 e 2015, respectivamente. Estes valores podem sem considerados ótimos nas escalas propostas por Bernardo, Soares e Mantovani (2006). O manejo da irrigação foi realizado com base nos dados de evapotranspiração da cultura determinados por dois lisímetros de pesagem circular, sendo os mesmos instalados, calibrados e testados na área experimental por Flumignan (2011). A partir da leitura dos lisímetros de pesagem, foi determinada a quantidade de água necessária para reposição conforme o consumo periódico da planta. A evapotranspiração foi calculada semanalmente com base na variação de massa do lisímetro (LENA, 2013),

sendo que a lâmina a ser aplicada foi controlada mediante o ajuste da velocidade do pivô (regulagem do porcentímetro).

A adubação para satisfazer a demanda nutricional da cultura foi realizada de acordo com as recomendações propostas por FACT (2010), em quatro aplicações ao longo de cada ciclo produtivo, utilizando ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio como fontes de NPK (12-6-12), respectivamente, sendo distribuídos 200 g da formulação por planta. Durante toda a execução do experimento, foram realizadas práticas de manejo cultural, englobando o controle fitossanitário de pragas, doenças e plantas infestantes como cigarrinha verde (*Empoasca* spp.) ácaro branco (*Polyphagotarsonemus latus* Banks) e vermelho (*Tetranychus desertorum*), percevejo (*Pachoycoris* sp.); Oídio (*Oidium* sp.), ferrugem (*Phakospsora arthuriana* Buriticá & Hennen) e buva (*Conyza bonariensis*). Para o controle das plantas invasoras no cultivo, foi utilizada roçadeira acoplada a um trator na entrelinha e roçadeira manual entre plantas. Após cada roçagem manual, foi realizada a aplicação localizada de herbicida sistêmico não seletivo.

2.2.3 Variáveis e avaliações

Os frutos foram colhidos ao atingirem o estádio de maturação fisiológica, determinado pela coloração amarela (PESSOA et al., 2012). No total foram realizadas cinco colheitas que ocorreram entre janeiro e maio de 2015. Após a colheita os frutos foram colocados para secar na sombra em temperatura ambiente, sendo pesados ao atingirem umidade em torno de 8% para a determinação do rendimento de frutos e sementes para cada tratamento avaliado. As variáveis de produção avaliadas foram: produção de frutos e sementes (kg planta^{-1}); produtividade de frutos e de sementes (kg ha^{-1}) e número de frutos e sementes por planta.

Aos 30, 60, 90, 120, 150, 180 e 210 dias após a poda (DAP) foram analisadas as seguintes variáveis de crescimento: altura da planta (cm), diâmetro da projeção da copa (cm) e Índice de Área Foliar (IAF, adimensional). A altura foi determinada através da medição da região compreendida entre o nível do solo e o meristema apical da haste principal com trena. O diâmetro da projeção da copa das plantas foi obtido pela média do comprimento do diâmetro coletado no sentido perpendicular e paralelo à linha de cultivo. A partir dos valores médios mensais de altura de planta e

diâmetro de copa, foram calculadas suas respectivas taxas de crescimento absoluto (TCA_A e TCA_D) em cm dia^{-1} e taxas de crescimento relativo (TCR_A e TCR_D) em cm cm^{-1} dia^{-1} (BENINCASA, 2003). O IAF foi estimado usando o equipamento LAI 2200 (LI-COR®)

2.2.4 Análise estatística

Os dados experimentais foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk (SHAPIRO-WILK, 1965) (p>0,01) e de Levene (BOX, 1953) (p>0,01) para verificação básica da normalidade e homocedasticidade residuais, seguido de transformações caso fossem necessárias. Os fatores de variação foram analisados estatisticamente por meio da análise de variância utilizando a linguagem e ambiente R, versão 2.15.1. (R. DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013) e o programa estatístico Statistical Analysis System (SAS INSTITUTE, 2009). Os fatores qualitativos foram analisados pelo teste de média, com base no teste de média de Tukey a 5 e 1%. Os fatores quantitativos (DAP) foram analisados por meio da análise de regressão polinomial.

2.3 Resultados e discussão

O ano de 2014 foi um ano atípico e apresentou índices pluviométricos relativamente baixos em grande parte do território brasileiro, especialmente na região sudeste. Esse quadro negativo de precipitação afetou a capacidade de armazenamento de água do reservatório utilizado para alimentação do sistema de irrigação do experimento, o que afetou diretamente a condução do experimento de campo e as irrigações durante o quarto ano de cultivo do pinhão-manso. Entretanto, deve-se considerar que as plantas do experimento irrigado foram irrigadas regularmente desde a sua implantação em 2011 até o final do terceiro ano de cultivo em agosto de 2014 (LENA, 2013). Segundo este autor, os valores de evapotranspiração (ETc) diárias das plantas irrigadas foram cerca de 35% maiores em relação as plantas não irrigadas, em estudo realizado durante os dois primeiros anos de cultivo do pinhão-manso. Nesse sentindo, é provável que essa diferença possa ser a mantida nos anos seguintes, visto que, a maior disponibilidade de água no solo devido à irrigação venha a favorecer o maior crescimento das plantas irrigadas.

2.3.1 Efeito dos tratamentos no crescimento

As médias de todas as variáveis foram significativamente diferentes pelo teste F entre os tipos de poda (P) e período de avaliação após o início do experimento (DAP), porém não houve influência da irrigação (I) (Tabela 2.2). Pela ANOVA, identificou-se que houve interação significativa entre poda x DAP em todas as variáveis de crescimento analisadas, bem como interação entre irrigação x DAP para diâmetro da copa, taxa de crescimento em altura (TCA_A) e diâmetro da copa (TCA_D) e taxa de crescimento relativo em diâmetro da copa (TCR_D).

Tabela 2.2 – Valores de F para efeito da irrigação (I), poda (P) e dias de avaliação após a poda (DAP) na altura de plantas, diâmetro da copa, taxa de crescimento absoluto em altura (TCA_A) e diâmetro da copa (TCA_D), taxa de crescimento relativo em altura (TCR_A) e diâmetro da copa (TCR_D) e índice de área foliar (IAF)

Fonte de Variação	GL	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	TCA_A (cm dia^{-1})	TCA_D (cm dia^{-1})	TCR_A (cm $cm^{-1}dia^{-1}$)	TCR_D (cm $cm^{-1}dia^{-1}$)	IAF
I	1	$1,03^{ns}$	$3,73^{ns}$	$1,04^{ns}$	$3,84^{ns}$	$0,33^{ns}$	$1,23^{ns}$	$1,61^{ns}$
P	2	$21,95^{***}$	$15,14^{**}$	$58,79^{***}$	$8,35^{**}$	$132,46^{***}$	$13,48^{**}$	$5,89^{*}$
DAP	6	$363,97^{***}$	$556,56^{***}$	$194,88^{***}$	$172,86^{***}$	$113,42^{***}$	$147,85^{***}$	$541,19^{***}$
I x P	2	$1,06^{ns}$	$0,38^{ns}$	$1,59^{ns}$	$1,26^{ns}$	$2,12^{ns}$	$0,33^{ns}$	$1,30^{ns}$
I x DAP	6	$0,51^{ns}$	$3,85^{*}$	$3,23^{**}$	$2,63^{*}$	$0,79^{ns}$	$2,94^{*}$	$2,02^{ns}$
DAP x P	12	$16,2^{***}$	$5,45^{***}$	$18,66^{***}$	$8,77^{***}$	$26,01^{***}$	$10,04^{***}$	$3,04^{***}$
I x P x DAP	12	$1,81^{ns}$	$1,61^{ns}$	$1,45^{ns}$	$1,21^{ns}$	$1,88^{*}$	$0,94^{ns}$	$2,08^{*}$
Média geral		262,03	283,36	0,5	0,85	0,002	0,004	1,76
CV (%)		7,67	6,46	39,78	33,43	40,87	36,03	15,87

Níveis de significância: *0,01<*p*<0,05; **0,001<*p*<0,01; ***p<0,001; ns. - diferença não significativa; GL – Graus de liberdade; CV – Coeficiente de variação

O aumento nas alturas das plantas ocorreu de forma diferenciada entre os tipos de poda, em que se observaram incrementos de 73, 142,7 e 102 cm em P1, P2 e P3 respectivamente, representando acréscimos de 29,7, 95,1 e 51% em relação às alturas no início do experimento (Figura 2.1). O modelo de regressão linear apresentou o melhor ajuste para os dados de altura nos tratamentos P1 (R^2=0,98), P2 (R^2=0,93) e P3 (R^2=0,94). Essa tendência também foi observada por Carvalho et al. (2013), os quais estudaram o efeito do aumento nas lâminas de irrigação e sua resposta no crescimento do pinhão-manso. Faria et al. (2011) observaram que a irrigação favoreceu o aumento no crescimento em altura de plantas de pinhão-manso em estudo da resposta dessa planta a irrigação e a formas de aplicação de fertilizante organo-mineral-marinho.

Durante todo o período de realização do estudo, as alturas variaram com o tempo de forma significativa, sendo que entre os tipos de poda apenas aos 150 DAP

as alturas foram iguais (p>0,05). Em cada tratamento, as alturas diferiram com o tempo, porém não houve diferenças aos 180 e 210 DAP para esta variável nos tratamentos podados (P2 e P3, respectivamente).

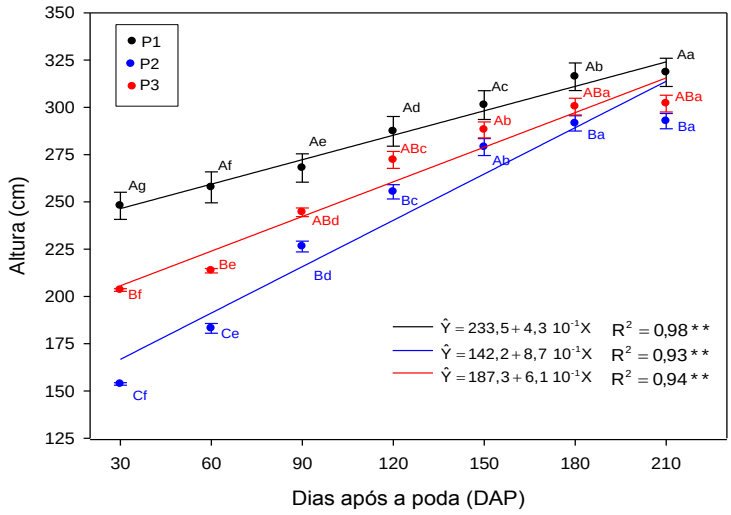

Figura 2.1 - Diagrama de dispersão e equações de ajuste para altura de plantas de pinhão-manso em função dos dias após a poda. Letras maiúsculas e minúsculas indicam diferenças entre tipo de poda e dias após a poda, respectivamente (p <0,05). Barras verticais indicam o erro padrão da média. Níveis de significância: *0,01< p <0,05; **0,001< p <0,01

O diâmetro da copa seguiu a mesma tendência observada para altura com acréscimos de 77,8, 127,8 e 125,2% em P1, P2 e P3, respectivamente, em relação as médias no início do estudo. O melhor modelo de regressão para esta variável também foi o linear com coeficientes de determinação (R^2) de 0,87 para P1, 0,9 para P2 e 0,87 para P3 (Figura 2.2A). A partir dos 150 DAP os diâmetros não apresentaram diferenças entre os tipos de poda. A interação entre irrigação x dias após a poda foi bem ajustada pelo modelo linear, sendo que para a irrigação o coeficiente de determinação foi de 0,89 e 0,88 sem irrigação (Figura 2.2B). Ao mesmo tempo, observou-se que a irrigação teve efeito significativo sobre o diâmetro da copa aos 120, 150 a 180 DAP, em que plantas irrigadas apresentaram as maiores médias. Faria et al. (2011), estudando a influência de diferentes manejos hídricos e aplicações de fertilizantes também encontrou efeito positivo da irrigação no diâmetro da copa do pinhão-manso, mostrando a forte influência desses fatores no desenvolvimento da planta.

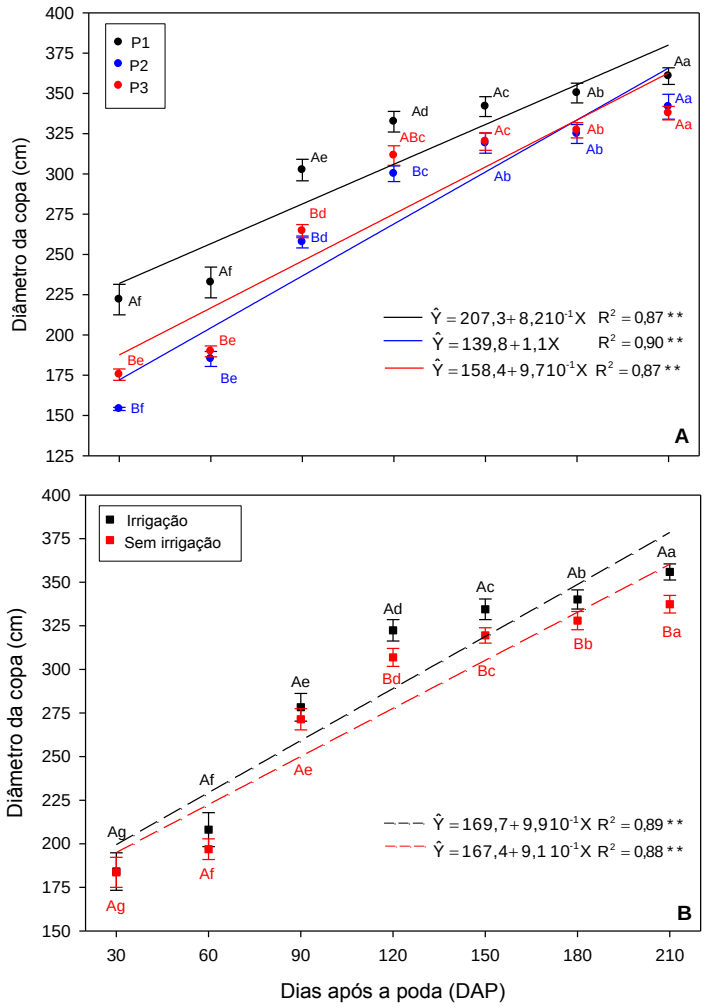

Figura 2.2 – Diagramas de dispersão e equações de ajuste para diâmetro de copa de plantas de pinhão-manso em função dos dias após a poda. Letras maiúsculas indicam diferenças entre tipo de poda (A) e entre manejo hídrico (B). Letras minúsculas indicam diferenças entre os dias após a poda, respectivamente (p <0,05). Barras verticais indicam o erro padrão da média. Níveis de significância: *0,01< p <0,05; **0,001< p <0,01

Os acréscimos em altura e diâmetro da copa ao longo do tempo podem ser relacionados com o fato do pinhão-manso ser uma planta de crescimento rápido, cuja altura média é de dois a três metros, podendo chegar a cinco metros em condições especiais de clima, solo e irrigação (OPENSHAW, 2000; ARRUDA et al., 2004).

As taxas de crescimento absoluto em altura foram de forma geral, maiores nas plantas submetidas à poda drástica (P2), apresentando diferenças significativas em relação aos demais tratamentos apenas aos 60 e 90 DAP. Isto indica que nesses períodos, plantas podadas a 1,5 m de altura e 1,5 m de diâmetro da copa foram mais eficientes na formação de novos tecidos (Figura 2.3A). Plantas submetidas à poda drástica apresentam maior vigor e crescimento vegetativo quando esta é feita no inverno (SCARPARE FILHO; MEDINA; SILVA, 2011; RUFATO et al., 2012),

corroborando o comportamento observado neste trabalho. Contudo, o crescimento vigoroso do pinhão-manso não é conveniente, considerando a possibilidade de redução na produtividade em decorrência da demanda por nutrientes pelas estruturas vegetativas da planta, autossombreamento, bem como dificuldade no manejo filotécnico e fitossanitário e na operação de colheita (LAVIOLA; DIAS, 2008).

Entre os manejos hídricos, somente foi observada diferença aos 30 DAP, sendo que as plantas irrigadas apresentaram maiores taxas aos 90 e 120 DAP, e as plantas sem irrigação aos 90 DAP (Figura 2.3B). Behera et al. (2010) reporta que o pinhão-manso necessita de irrigação frequente para otimizar o desenvolvimento do dossel e produtividade. Segundo Singh et al. (2013), o pinhão-manso tem seu desenvolvimento vegetativo afetado em áreas propensas à seca, requerendo que seja realizada a reposição de água por irrigação nos períodos mais secos do ano.

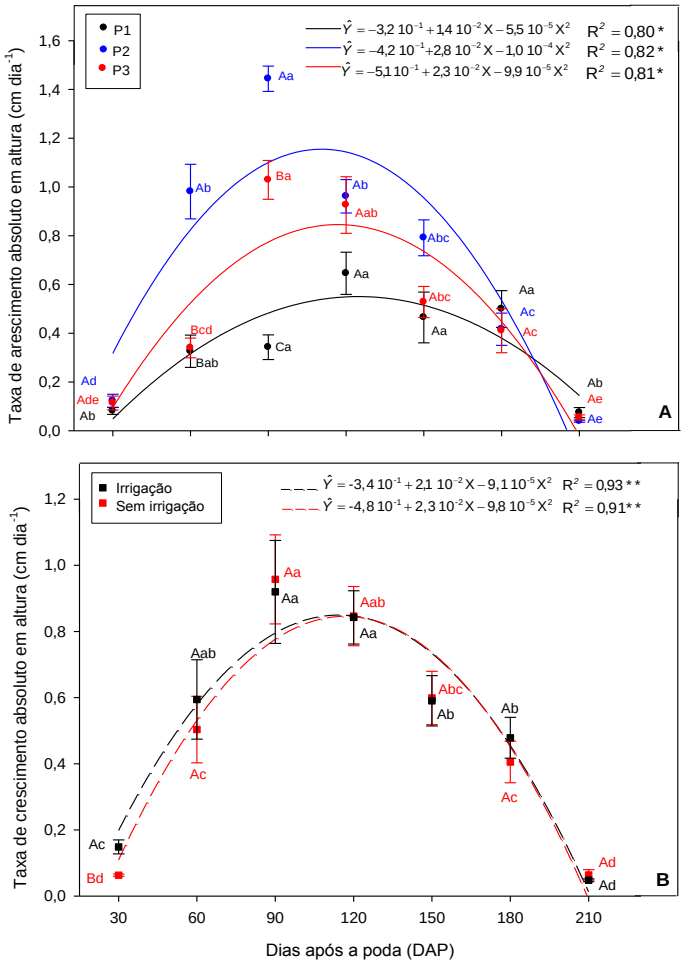

Figura 2.3 – Diagrama de dispersão e equações de ajuste para taxa de crescimento absoluto em altura de plantas (TCA_A) de pinhão-manso em função dos dias após a poda. Letras maiúsculas indicam diferenças entre tipo de poda (A) e entre manejo hídrico (B). Letras minúsculas indicam diferenças entre os dias após a poda, respectivamente (p <0,05). Barras verticais indicam o erro padrão da média. Níveis de significância: *0,01< p <0,05; **0,001< p <0,01

Em relação às taxas de crescimento absoluto em diâmetro da copa, os valores não diferiram entre as podas na maioria dos períodos de avaliação, sendo que quando houve diferença, o tratamento P1 e P2 foram os menores aos 120 e 30 DAP, respectivamente (Figura 2.4A). Na interação entre irrigação x dias após a poda, as diferenças entre manejos da água foram notadas aos 60, 120 e 210 DAP, sendo que as taxas de crescimento em plantas irrigadas foram maiores (Figura 2.4B). Para cada manejo, as maiores taxas foram observadas aos 90 DAP, independentemente do tipo de poda que foram submetidas.

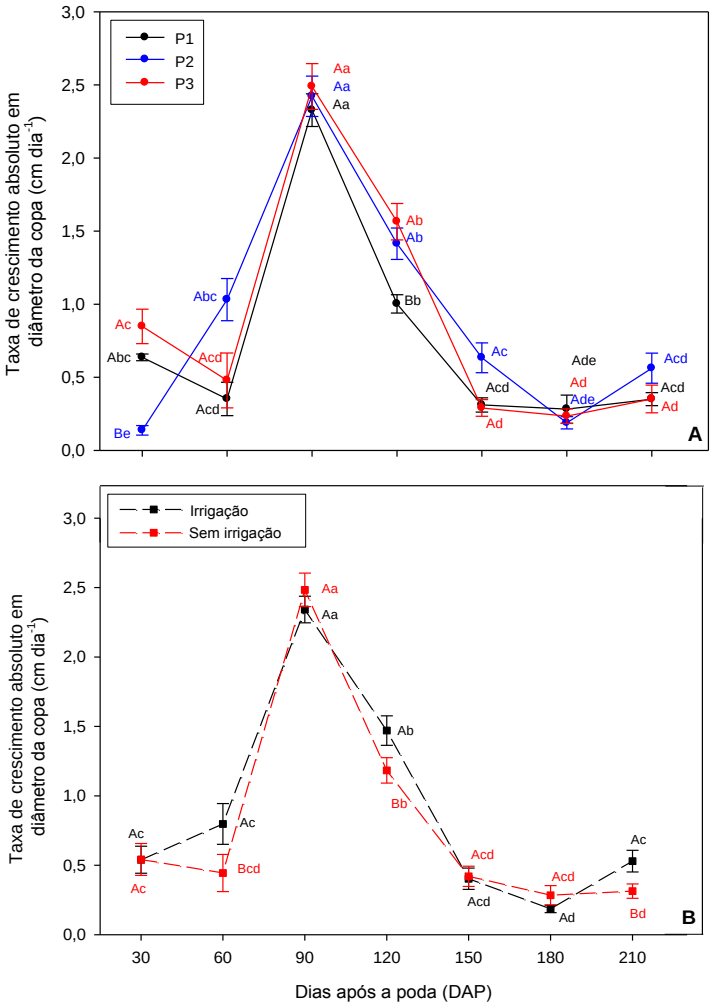

Figura 2.4 – Taxa de crescimento absoluto em diâmetro de copa (TCA_D)de plantas de pinhão-manso em função dos dias após a poda. Letras maiúsculas indicam diferenças entre tipo de poda (A) e entre manejo hídrico (B). Letras minúsculas indicam diferenças entre os dias após a poda, respectivamente (p <0,05). Barras verticais indicam o erro padrão da média

Analogamente às taxas de crescimento absoluto em altura (TCA_A) e diâmetro da copa (TCA_D), suas respectivas taxas de crescimento relativo (TCR_A e TCR_D) seguiram a mesma tendência já descrita acima (Figura 2.5). Ressalta-se apenas que

a poda drástica apresentou diferenças na TCR_A (Figura 2.5A) em relação aos demais tratamentos apenas aos 90 e 120 DAP e que as TCR_D entre os dois manejos hídrico foram diferentes aos 120 e 210 (Figura 2.5C). A taxa de crescimento relativo é uma medida da eficiência da produção de nova matéria seca sobre a já existente e é, também, chamada de taxa de crescimento específico (SILVA; BELTRÃO; AMORIM NETO, 2000), sendo um indicativo de grande importância na avaliação de materiais genéticos sob diferentes condições de estresse (BENINCASA, 2003).

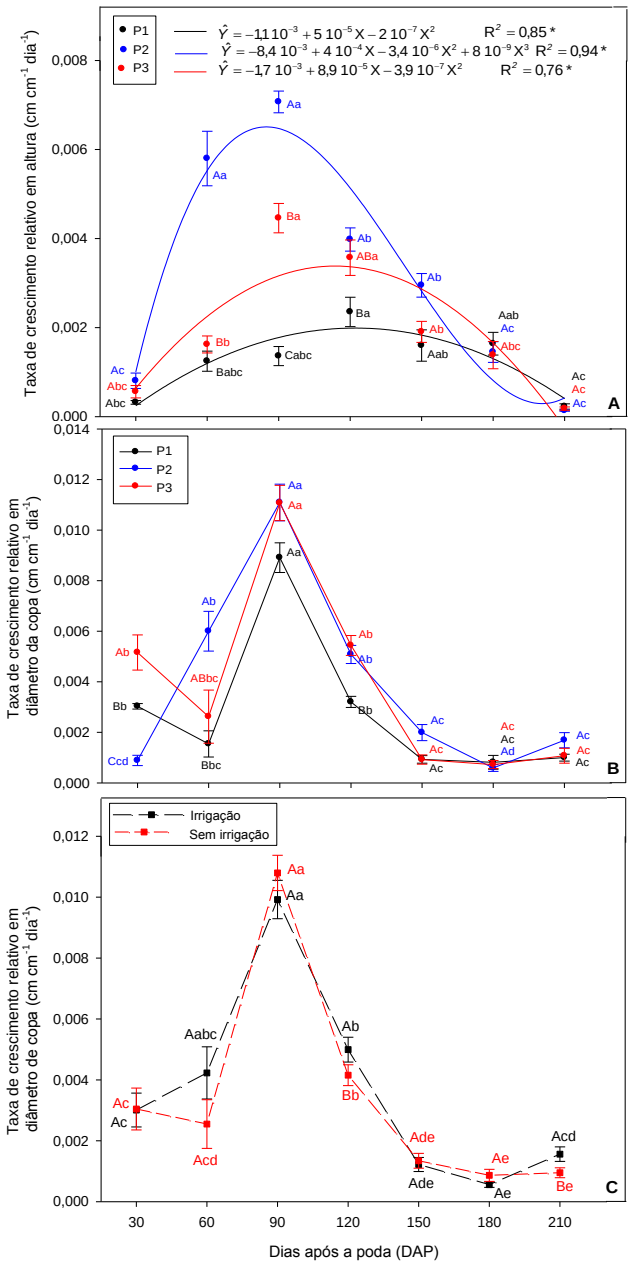

Figura 2.5 – Diagrama de dispersão (A) para taxa de crescimento relativo em altura TCA_A) e taxa de crescimento relativo diâmetro de copa (TCR_D) de plantas de pinhão-manso em função dos dias após a poda. Letras maiúsculas indicam diferenças entre tipo de poda (A e B), entre manejo hídrico (C). Letras minúsculas indicam diferenças entre os dias após a poda, respectivamente (p <0,05). Barras verticais indicam o erro padrão da média. Níveis de significância: *0,01< p <0,05; **0,001< p <0,01

De forma geral, os padrões temporais das taxas de crescimento em altura e diâmetro da copa foram similares, evidenciando aumentos mais acentuados em altura da planta e diâmetro da copa dos 60 aos 120 DAP, partindo do final do mês de outubro, caracterizado pelo início da emergência das folhas, conforme já relatado por Ghezehei, Everson e Annandale (2015). Este aumento também pode estar associado aos fatores climáticos ao longo desses períodos de avaliação, os quais apresentaram as mais altas precipitações (Figura 2.6).

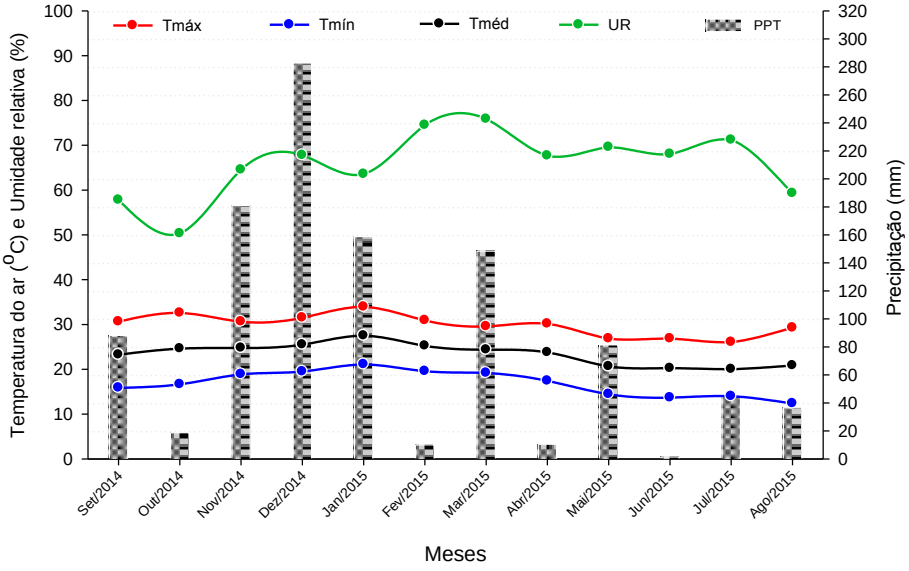

Figura 2.6 – Valores mensais de temperatura máxima ($T_{máx}$), mínima ($T_{mín}$) e média ($T_{méd}$), umidade relativa do ar média ($UR_{méd}$) e precipitação pluvial (PPT) no período experimental

Conforme já relatado, embora não tenha sido possível realizar irrigação no período de execução desse estudo, é provável que o efeito das irrigações nos anos anteriores favoreceu o maior crescimento das plantas. A maior disponibilidade de água no solo, principalmente com a irrigação, gerou maiores taxas de crescimento, (NERY et al., 2009; CARVALHO et al., 2011; GHEZEHEI; EVERSON; ANNANDALE, 2015), evidenciando que o pinhão-manso tem taxa de crescimento relativo superior quando submetido a condições de disponibilidade hídrica adequada. Os valores de ETc registrados durante o quarto ano de cultivo estão apresentados na Tabela 2.3, os quais foram, de forma geral, cerca de 20% maiores no tratamento irrigado em relação ao sem irrigação. Esse aumento na ETc pode estar relacionado ao maior tamanho das plantas, bem como ao maior índice de área foliar, conforme também observado por Lena (2013). Assim, apesar de ser relativamente tolerante a seca, a disponibilidade hídrica é um fator limitante ao crescimento do pinhão-manso.

Segundo Saturnino et al. (2005) e Bianchini, Pimenta e Santos (2006), fatores ambientais como temperatura e fotoperíodo também influenciam no crescimento dos vegetais. Além disso, quando a poda é realizada em plantas dormentes, estas apresentam maior vigor, quando comparadas às podadas no verão, que têm seus vigores reduzidos (FAUST, 1989).

Tabela 2.3 – Evapotranspiração mensal acumulada (ETc) da cultura de pinhão-manso nos tratamentos irrigados por pivô central e sem irrigação

	ETc (mm)	
Data	Irrigação	Sem irrigação
Set/2014	61,6	64,5
Out/2014	74,7	65,7
Nov/2014	140,4	99,6
Dez/2014	181,2	120,9
Jan/2015	152,4	135
Fev/2015	206,7	147
Mar/2015	130,6	123
Abr/2015	92,7	74,1
Mai/2015	29,7	37,2
Jun/2015	30,1	22,8
Jul/2015	29,6	27
Ago/2015	28,5	25,5

Ao longo da condução do experimento, observou-se que as plantas apresentaram tendência de redução nas taxas de crescimento a partir dos 90 DAP, período que coincidiu com a floração e frutificação, conforme relatado por Carvalho et al. (2013), de modo que as suspensões no crescimento vegetativo decorrentes do desenvolvimento de estruturas produtivas ocorrem pelo maior encaminhamento de energia e assimilados à floração e frutificação (LARCHER, 2000). Além disso, as diminuições nas taxas de crescimento também podem ser relacionadas com o aumento da proximidade ao período de inverno, onde há redução das temperaturas e nos índices pluviométricos, bem como queda total das folhas. Apesar de não possuírem folhas, o crescimento não é cessado integralmente, devido aos processos fotossintéticos que acontecem no tronco, especialmente no período de abscisão foliar (NIELSEN, 1995), os quais proporcionam índices de produtividade consideráveis, sendo importante no balanço de carbono das árvores (DAMESIN, 2003; PFANZ; ASCHAN, 2001). Segundo Carvalho e Nakagawa (2000), a taxa de crescimento das plantas é controlada geneticamente, de modo que fatores que determinem diferentes taxas iniciais de crescimento terão efeito apenas durante a

fase de crescimento exponencial das plantas, diminuindo de intensidade à medida que elas crescem.

A variação do IAF entre as podas seguiu a mesma tendência ao longo dos dias após a poda, com médias que variaram de 0,5 a 2,9 em P1; 0,6 a 3,4 em P2; e 0,5 a 2,9 em P3 (Figura 2.7A), sendo que os maiores valores foram verificados aos 120 DAP. As diferenças entre as podas foram significativas apenas aos 90 DAP período em que o tratamento com poda drástica apresentou a maior média. De forma geral, os maiores índices de área foliar foram verificados entre os 90 e 150 DAP, sendo que o tratamento P2 apresentou a maior média (1,8) em relação aos demais tratamentos (p<0,001). Esse comportamento pode ser consequência das maiores taxas pluviométricas observadas nesse período, principalmente nos meses de dezembro de 2014 (90 DAP) e janeiro de 2015 (120 DAP), conforme também relatado por Schio (2010). Assim, os valores de IAF seguiram a mesma tendência já relatada para as taxas de crescimento, ou seja, com o crescimento vegetativo, houve também aumento na área foliar. Tjeuw, Slingerland e Giller (2015), observaram que o IAF, bem como o volume do dossel diminuiu cerca de 40% com a poda a 75 cm de altura. De acordo com esses autores, há uma dificuldade em comparar os efeitos da poda com outras pesquisas, visto que nem todas incluíram um tratamento não podado (Controle) (EVERSON; MENGISTU; GUSH, 2013; SURIHARN et al., 2011).

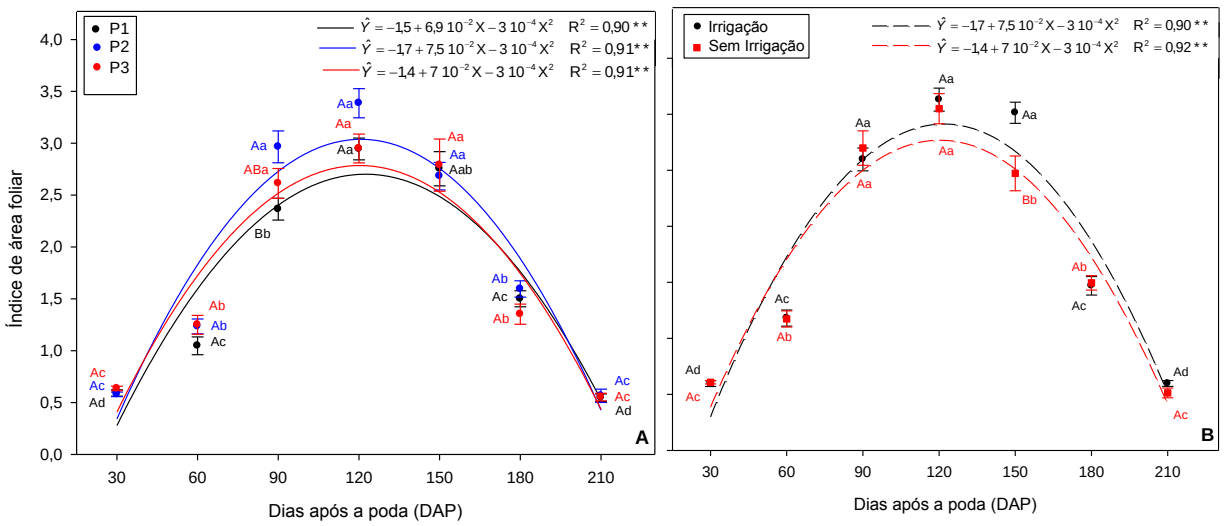

Figura 2.7 - Diagrama de dispersão e equações de ajuste para índice de área foliar de plantas de pinhão-manso em função dos dias após a poda. Letras maiúsculas indicam diferenças entre tipo de poda (A), entre manejo hídrico (B). Letras minúsculas indicam diferenças entre os dias após a poda, respectivamente (p <0,05). Barras verticais indicam o erro padrão da média. Níveis de significância: *0,01< p <0,05; **0,001< p <0,01

Na literatura, pesquisadores observaram reduções no IAF devido ao déficit hídrico (MOFOKENG et al., 2015; GHANBARI et al., 2013; PETROPOULOS et al., 2008), mostrando a forte influência do fator água no desenvolvimento da planta. Considerando que à medida que a área foliar aumenta, há também aumento no IAF (FRANDOLOSO, 2012), alguns estudos relatam que a redução do conteúdo de água no solo provocou redução da área foliar em pinhão-manso (SILVA et al., 2011; HORSCHUTZ et al., 2012), mamona (BARROS JÚNIOR et al., 2008) e cana-de-açúcar (FARIAS et al., 2008). Entretanto, no presente trabalho, não foram observadas diferenças no IAF entre plantas irrigadas e sem irrigação, ou seja, o manejo hídrico não provocou efeitos nessa variável de crescimento (Figura 2.7B). Isso pode ser explicado pela notável tolerância do pinhão-manso ao estresse hídrico. Segundo Maes et al. (2009), o metabolismo do pinhão-manso merece mais atenção, visto que há possibilidade de que esta planta não possua um metabolismo C3 puro, mas sim apresente um metabolismo CAM em seu tronco suculento com folhas mudando de metabolismo C3 para CAM em condições de seca (TING; STERNBERG; DENIRO, 1983; LUTTGE, 2008), como em *Frerea indica,* outra planta com tronco suculento (LANGE; ZUBER, 1977).

Segundo Hokmalipour e Dabrbandi (2011), a área foliar influencia a interceptação e utilização da radiação no dossel das culturas, bem como desempenha papel importante no uso da água (LIU; STÜTZEL, 2002). O índice de área foliar, definido como a razão área total do tecido fotossintético por unidade de área de superfície do solo disponível à planta (WATSON, 1947) é uma característica fundamental para predizer a atividade fotossintética em plantas (KARA; MUJDECI, 2010), bem como um importante dado de entrada em modelos de predição de crescimento e produção primária (LIZASO; BATCHELOR; WESTGATE, 2003; XIAO; JANSSENS; YUSTE, 2006).

2.3.2 Rendimento de frutos e sementes

As variáveis de produção analisadas foram influenciadas apenas pelos manejos hídricos, em nível de 0,1% de probabilidade (Tabela 2.4). Entretanto, somente houve efeito significativo da interação irrigação x poda para produção e produtividade de sementes.

Tabela 2.4 – Valores de F para efeito da irrigação (I) e poda (P) na produção (PrFr), produtividade (PFr) e número de frutos (NFr); produção (PrS), produtividade (PSe) e número de sementes (NSe)

Fonte de Variação	G.L.	PrFr (kg pl^{-1})	PFr (kg ha^{-1})	NFr	PrSe (kg pl^{-1})	PSe (kg ha^{-1})	NSe
I	1	30,06***	30,06***	33,11***	39,39***	39,39***	36,62***
P	2	$0,85^{ns}$	$0,85^{ns}$	$0,90^{ns}$	$0,92^{ns}$	$0,92^{ns}$	$0,84^{ns}$
Bloco [I]	6	3,57*	3,57*	4,11*	3,68*	3,68*	3,25*
I x P	2	$3,33^{ns}$	$3,33^{ns}$	$3,25^{ns}$	4,12*	4,12*	$3,53^{ns}$
Média geral		2,69	2238,43	3195,04	1,77	1474,74	8883,23
CV (%)		16,60	16,48	15,80	14,90	15,16	15,22

Níveis de significância: *0.01< *p* <0.05; **0.001< *p* <0.01; *** *p* <0.001; n.s. - diferença não significativa; G.L – Graus de liberdade; CV – Coeficiente de variação. I - Irrigação; SI - Sem irrigação

Pelo teste de média de Tukey constatou-se que o tratamento irrigado foi superior ao não irrigado em todas as características produtivas avaliadas (Tabela 2.5). Em relação ao rendimento de frutos, plantas irrigadas produziram ao longo de cinco colheitas cerca de 950 frutos pl^{-1}; 3,2 kg pl^{-1}e produtividade média de 2651,3 kg ha^{-1}, representando acréscimos de 31,3; 31,2 e 31,1%, respectivamente, em relação às que não receberam irrigação (Tabela 2.5). No que diz respeito ao rendimento de sementes, foram obtidas cerca de 2640 sementes pl^{-1}, produção de 2,1 kg pl^{-1} e produtividade de 1761,1 kg ha^{-1}. Nota-se que, de maneira similar aos frutos, os rendimentos de sementes sofreram aumentos expressivos com a irrigação, sendo que esta favoreceu uma produção 31,6% maior de sementes, bem como acréscimos de 33,3 e 32,5% na produção em quilos por planta e por hectare, respectivamente. Trabalhos na Índia reportam que em condições de irrigação houve aumento no número de frutos colhidos (DANIEL, 2008), com relatos de produção por planta duas vezes maior em relação a plantas que não foram irrigadas (ARIZA-MONTOBBIO; LELE, 2010). Kheira e Atta (2009), Singh et al. (2013) e Tikkoo, Yadav e Kaushik (2013) também encontraram que o rendimento de sementes aumentou com o aumento na disponibilidade de água. Oliveira et al. (2012), estudando a resposta do pinhão-manso a níveis de irrigação e doses de adubação potássica no sudeste do Brasil, observaram que o aumento nas lâminas de irrigação aplicadas apresentaram impacto positivo sobre a produtividade. Nessa mesma região, mais precisamente no estado de Minas Gerais, a irrigação produziu efeitos significativos sobre o crescimento e produtividade de sementes de pinhão-manso (EVANGELISTA et al., 2011; FARIA et al., 2011).

Tabela 2.5 - Médias das variáveis produtivas em função dos manejos hídricos e tipo de poda

Manejo hídrico	Poda			Médias
	P1	P2	P3	
	Número de frutos			
I	952	907	982,25	947,1 A
SI	632,5	781,5	537,25	650,4 B
Médias	792,25	844,25	759,75	
	Produção de frutos (kg pl^{-1})			
I	3,2	3,0	3,3	3,2 A
SI	2,1	2,6	1,8	2,2 B
Médias	2,7	2,8	2,5	
	Produtividade de frutos (kg ha^{-1})			
I	2685,7	2518,3	2750	2651,3 A
SI	1780,9	2203,6	1492	1825,5 B
Médias	2233,3	2360,9	2121	
	Número de sementes			
I	2607,5	2534	2773,5	2638,3 A
SI	1760,7	2154,2	1495	1803,3 B
Médias	2184,1	2344,1	2134,2	
	Produção de sementes (kg pl^{-1})			
I	2,1 Aa	2,0 Aa	2,2 Aa	2,1 A
SI	1,4 Bb	1,7 Aa	1,2 Bb	1,4 B
Médias	1,7	1,9	1,7	
	Produtividade de sementes (kg ha^{-1})			
I	1744,9 Aa	1682,1 Aa	1856,3 Aa	1761,1 A
SI	1159,1 Bb	1436,5 Aa	969,5 Bb	1188,4 B
Médias	1452	1559,3	1412,9	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula entre linhas e minúscula entre colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 0,05 de probabilidade. I - Irrigação; SI - Sem irrigação; P1 - sem poda; P2 - poda a 1,5 m de altura e 1,5 m de diâmetro de copa; P3 - poda a 2 m de altura e 1,5 m de diâmetro de copa.

Na literatura alguns trabalhos expõem que a produção anual do pinhão-manso pode variar de 0,2 a pouco mais de 2 kg de sementes por planta, ou de 2 a 5 Mg ha^{-1} a depender das condições climáticas e de manejo da cultura (FOIDL et al., 1996; HELLER, 1996; TEWARI, 2007; FRANCIS; EDINGER; BECKER, 2005). Os resultados desse trabalho indicam uma proximidade com os relatados por Prajapati e Prajapati (2005) e Tomomatsu e Brent (2007), segundo os quais o pinhão-manso com cinco anos de idade produziu 1200 kg ha^{-1}, podendo apresentar produtividades 60% maiores com a irrigação. Segundo Daniel (2008), a mais alta produtividade registrada na Índia em cultivo de seis anos de idade sem irrigação foi de cerca de 500 kg ha^{-1} no quinto ano de cultivo, sendo que depois que a irrigação foi introduzida no sexto ano, a produtividade foi de cerca de 1200 kg ha^{-1}. Também na Índia, a mais alta produtividade do pinhão-manso com três anos de idade sob condições de sequeiro foi de apenas 450 kg ha^{-1}, comparado a 750 kg ha^{-1} quando irrigada.

O desdobramento da interação irrigação x poda na Tabela 2.4, verifica-se que em condições de irrigação não foram detectadas diferenças entre as podas

(*p*=0,5527), as quais foram constatadas na ausência de irrigação (*p*=0,0365). Nos tratamentos sem irrigação, a poda drástica (P2) apresentou a maior média tanto para produção (1,7 kg pl^{-1}) quanto para produtividade (1436,6 kg ha^{-1}) de sementes. As plantas que receberam irrigação, foram as que apresentaram em média, a maior produção de sementes por planta (2,1 kg), assim como a maior produtividade (1761,1 kg ha^{-1}). Schio (2010) indica que o rendimento de sementes de árvores de pinhão-manso não podadas, em consórcio com amendoim forrageiro (*Arachis pintoii*) foi mais elevado do que as podadas em experimento conduzido em Belize. Ghosh, Chikara e Chaudhary (2011), relataram que plantas não podadas produziram mais frutos e consequentemente mais sementes em relação as plantas que receberam poda. Além disso, Tjeuw, Slingerland e Giller (2015), verificaram que a poda provocou uma redução de 75% na produtividade de sementes em relação a plantas de pinhão-manso não podadas. Em contrapartida, Singh et al. (2013), buscando uma padronização de técnicas agronômicas para o cultivo de pinhão-manso em diferentes localidades na Índia, não observaram efeitos significativos dos tratamentos de poda na produtividade na maioria das localidades estudadas.

Alterações na arquitetura da planta, como poda apical e dos ramos, são ações que podem ser adotadas visando modificações na relação fonte/dreno de tal forma a obter maior produção de frutos (GUIMARÃES et al., 2007). O efeito da poda do tratamento P2 na produção e produtividade de sementes observado nesse trabalho pode ser devido à intensidade da poda, bem como com os níveis hormonais da planta. Como observado por Raven (2001), com a remoção de parte da copa, reduziu-se o número de gemas apicais e, dessa maneira, o fluxo de auxina pode ter diminuído, além da redução significativa da dominância apical, tendo provável contribuição no estímulo de brotações laterais abaixo da região do corte. Segundo Taiz e Zeiger (2004), a auxina é o hormônio vegetal que promove o crescimento de regiões apicais e sua biossíntese ocorre principalmente em tecidos com rápida divisão celular e crescimento, especialmente nas partes aéreas.

2.4 Conclusões

A avaliação dos efeitos da poda e da irrigação no crescimento e produção do pinhão-manso é relevante para o manejo de um cultivo com essa espécie. Nesse sentido observou-se que a irrigação teve influência significativa ao longo dos dias

após a poda no diâmetro da copa, nas taxas de crescimento absoluto em altura e diâmetro e na taxa de crescimento relativo em diâmetro. Os tipos de poda influenciaram significativamente todas as variáveis de crescimento avaliadas, sendo que a poda drástica apresentou as maiores taxas médias de crescimento ao longo de período de estudo. Em contrapartida, a irrigação teve efeito positivo sobre as variáveis produtivas avaliadas, porém as podas influenciaram apenas na produção de sementes por planta e produtividade média de sementes. As plantas irrigadas apresentaram os maiores rendimentos por planta e por hectare.

Referências

ALAM, N.C.N.; ABDULLAH, T.L.; ABDULLAH, N.A. Flowering and fruit set under malaysian climate of *Jatropha curcas* L. **American Journal of Agricultural and Biological Science**, New York, v. 6, p. 142–147, 2011.

ARIZA-MONTOBBIO, P.; LELE, S. Jatropha plantations for biodiesel in Tamil Nadu, India: viability, livelihood trade-offs, and latent conflict. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 70, p. 189–195, 2010.

ARRUDA, F.P.; BELTRÃO, N.E.M.; ANDRADE, A.P.; PEREIRA, W.E.; SEVERINO, L.S. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 789–799, jan./abr. 2004.

BARROS JÚNIOR, G.; GUERRA, H.O.C.; CAVALCANTI, M.L.F.; LACERDA, R.D. de. Consumo de água e eficiência do uso para duas cultivares de mamona submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, p. 350–355, 2008.

BEHERA, S.K.; SRIVASTAVA, P.; TRIPATHI, R.; SINGH, J.P.; SINGH, N. Evaluation of plant performance of *Jatropha curcas* L. under different agro-practice for optimizing biomass - a case study. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 32, p. 30–41, 2010.

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

BIANCHINI, E.; PIMENTA, J.A.; SANTOS, F.A.M. Fenologia de *Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler) Engl.(Sapotaceae) em floresta semidecídua do Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 29, n. 4, p. 595–602, 2006.

BOX, G.E.P. Non-normality and tests on variance. **Biometrika**, London, v. 40, n. 4, p. 318–335, 1953.

BRASILEIRO, B. G.; DIAS, D. C. F.; BHERING, M. C.; DIAS, L. A. S. Floral biology characterization of seed germination in physic nut (*Jatropha curcas*L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 34, p. 556–562, 2012.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588 p.

CARVALHO, C.M.; VIANA, T.V.A.; MARINHO, A.B.; LIMA JÚNIOR, L.A.; AZEVEDO, B.M. de; VALNIR JÚNIOR, M. influência de diferentes lâminas de irrigação no crescimento inicial do pinhão-manso. **Revista Brasileira de Agricultura** Irrigada, Fortaleza, v. 5, n. 1, p. 75–81, 2011.

CARVALHO, C.M.; VIANA, T.V.A.; MARINHO, A.B.; LIMA JÚNIOR, L.A.; VALNIR JÚNIOR, M. Pinhão-manso: Crescimento sob condições diferenciadas de irrigação e de adubação no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 5, p. 487–496, 2013.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA – CEPAGRI. **Clima dos municípios paulistas**. 2013. Disponível em: < http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_436.html>, Acesso em: 07 ago. 2014.

da SCHIO, B. ***Jatropha curcas* L., a potential bioenergy crop. On field research in Belize**. 2010. 112p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Ciência Agrícola) - Research centre, Plant Research International, Wageningen University, Padua University, 2010.

DAMESIN, C. Respiration and photosynthesis characteristics of current-year stems of *Fagus sylvatica*: from the seasonal pattern to an annual balance. **New Phytologist**, Cambridge, v. 158, p. 465–475, 2003.

DANIEL, J.N. **Jatropha Oilseed Production**: A Realistic Approach. BAIF Development Research Foundation. 2008. Disponível em: <http://www.baif.org.in/doc/Agri_Horti.../MEDA.doc>. Acesso em: 06 de set. 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. 2006. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 306p.

EVANGELISTA, A.W.P.; MELO, P.C. de; OLIVEIRA, E.L. de; FARIA, M.A. de. Produtividade e rendimento de sementes de pinhão-manso submetido à irrigação e adubação com OMM-Tech. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 32, p. 315–323, mar./abr. 2011.

EVERSON, C.S.; MENGISTU, M.G.; GUSH, M.B. A field assessment of the agronomic performance and water use of *Jatropha curcas* in South Africa. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 59, p. 59–69, 2013.

FACT FOUNDATION. **The jatropha handbook**: From cultivation to application. 174 p. 2010.

FARIA, M.A.; EVANGELISTA, A.W.P.; MELO, P.C.; ALVES JÚNIOR, J. Resposta da cultura de pinhão manso à irrigação e à adubação com OMM-Tech®. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 1, p. 70-81, 2011.

FARIAS, C.H.A.; FERNANDES, P.D.; AZEVEDO, H.M.; DANTAS NETO, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 356–362, 2008.

FAUST, M. **Physiology of temperate zone fruit trees**. New York: John Wiley & Sons., 1989. 338p.

FLUMIGNAN, D.L. **Lisímetros de pesagem direta para o estudo do consumo hídrico do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.)**. 2011. 200p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

FOIDL, N.; FOIDL, G.; SANCHEZ, M.; MITTELBACH, M.; HACKEL, S. *Jatropha curcas* L. as a source for the production of biofuel in Nicaragua. **Bioresource Technology**, Essex, v. 58, p. 77–82, 1996.

FRANCIS, G.; EDINGER, R.; BECKER, K. A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socioeconomic development in degraded areas in India: need, potential and perspectives of Jatropha plantations. **Natural Resources Forum**, New York, v. 29, p. 12–24, 2005.

FRANDOLOSO, J.F. **Acúmulo de nutrientes e crescimento do pinhão-manso no oeste do Paraná**. 2012. 79p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2012.

GHANBARI, A.A.; SHAKIBA, M.R.; TOORCHI, M.; RAJAB, C. Morpho-physiological responses of common bean leaf to water deficit stress. **European Journal of Experimental Biology**, Udaipur, v. 3, p. 487–492, 2013.

GHEZEHEI, S.B.; EVERSON, C.S.; ANNANDALE, J.G. Can productivity and post-pruning growth of *Jatropha curcas* in silvopastoral systems be regulated by manipulating tree spacing/ arrangement without changing tree density? **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 74, p. 233–243, 2015.

GUIMARÃES, M.A.; SILVA, D.J.H.; FONTES, P.C.R.; CALIMAN, F.R.B.; LOOS, R.A.; STRINGHETA, P.C. Produção e sabor dos frutos de tomateiro submetidos à poda apical e de cachos florais. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, p. 265-269, 2007

HELLER, J. **Physic nut: *Jatropha curcas* L**.: **Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops**. Rome: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, 1996. 66 p.

HOKMALIPOUR, S.; DARBANDI, M.H. Effects of nitrogen fertilizer on chlorophyll content and other leaf indicate in three cultivars of maize (*Zea mays* L.). **World Applied Sciences Journal**, Dubai, v. 15, p. 1806–1811, 2011.

HORSCHUTZ, A.C.O.; TEIXEIRA, M.B.; ALVES, J.M.; SILVA, F.G.; SILVA, N.F. da. Crescimento e produtividade do pinhão-manso em função do espaçamento e irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 10, p. 1093–1099, 2012.

JINGURA, R.M.: Technical options for optimization of production of *Jatropha curcas* as a biofuel feedstock in arid and semi-arid areas of Zimbabwe. **Biomass and Bioenergy**. Oxford, v. 35, p. 2127–2132, 2011.

JONGSCHAAP, R.E.E.; CORRÉ, W.J.; BINDRABAN, P.S, BRANDENBURG, W.A. **Claims and Facts of *Jatropha curcas* L.** Wageningen: Plant Research International BV, n.158, 2007. 66 p.

KARA, B.; MUJDECI, M. Influence of late-season nitrogen application on chlorophyll content and leaf area index in wheat. **Scientific Research and Essays**, Amsterdam, v. 5, n. 16, p. 2299–2303, 2010.

KHEIRA, A.A.A., ATTA, N.M.M. Response of *Jatropha curcas* L. to water deficits: yield, water use efficiency and oil seed characteristics. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 33, p. 1343–1350, 2009.

KUMAR, A. SHARMA, S. An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): a review. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v.28, p.1–10, 2008.

LANGE, O.L.; ZUBER, M. *Frerea indica*, a stem succulent CAM plant with deciduous C3 leaves. **Oecologia**, Berlin, v. 31, p. 67–72, 1977.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Tradução: Prado, C. H. B. A. São Carlos: RIMA, 2000. 531p.

LAVIOLA, B.G.; DIAS, L.A.S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p.1969-1975, 2008.

LENA, B.P. **Consumo hídrico do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) irrigado e sem irrigação na fase de formação**. 2013. 61p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

LIU, F.; STÜTZEL, H. Leaf expansion, stomatal conductance and transpiration of vegetable amaranth (*Amaranthus* sp.) in response to soil drying. **Journal of American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v. 127, p. 878–883, 2002.

LIZASO, J.I.; BATCHELOR, W.D.; WESTGATE, M.E. A leaf area model to simulate cultivar-specific expansion and senescence of maize leaves. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 80, n. 1, p. 1–17, 2003.

LUTTGE, U. Stem CAM in arborescent succulents. **Trees – Structure and Function**, Berlin, v. 22, p. 139–148, 2008.

MAES, W.H., TRABUCCO, A., ACHTEN, W.M.J., MUYS, B. Climatic growing conditions of *Jatropha curcas* L. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v.33, p. 481–1485, 2009.

MISHRA, D.K. Selection of candidate plus phenotypes of *Jatropha curcas* L. using method of paired comparisons. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 33, p. 542–545, 2009.

MOFOKENG, M.M.; STEYN, J.M.; DU PLOOY, C.P.; PRINSLOO, G.; ARAYA, H.T. Growth of *Pelargonium sidoides* DC. in response to water and nitrogen level. **South African Journal of Botany**, Pretoria, v. 100, p. 183–189, 2015.

NERY, A.R.; RODRIGUES, L.N.; SILVA, M.B.R.; FERNANDES, P.D.; CHAVES, L.H.G.; DANTAS NETO, J.; GHEYI, H.R. Crescimento do pinhão-manso irrigado com águas salinas em ambiente protegido**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 5, p. 551–558, 2009.

NIELSEN, E.T. Stem photosynthesis: extent, patterns, and role in plant carbon economy. In: Gartner BC, editor. **Plant stems: physiology and functional morphology**. San Diego: Academic Press; 1995, 223–240.

OLIVEIRA, S.J.C.; BELTRÃO, N.E.M. Crescimento do pinhão-manso (*Jatropha curcas*) em função da poda e da adubação química. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v.14, p. 9–17, 2010.

OLVIVEIRA, E.L.; FARIA, M.A.; EVANGELISTA, A.W.P.; MELO, P.C. Resposta do pinhão-manso à aplicação de níveis de irrigação e doses de adubação potássica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande,v.16, n.6, p.593–598, 2012.

OPENSHAW, K. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 19, n. 1, p. 1–15, 2000.

PAULINO, J.; FOLEGATTI, M.V.; FLUMIGNAN, D.L.; ZOLIN, C.A.; BARBOZA JÚNIOR, C.R.A.; PIEDADE, S.M.S. Crescimento e qualidade de mudas de pinhão-manso produzidas em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.1, p.37–46, 2011.

PESSOA, A.M.S.; MANN, R.S.; SANTOS, A.G.; RIBEIRO, M.F.L. Influência da maturação de frutos na germinação, vigor e teor de óleo de sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Scientia Plena**, São Cristóvão, v. 8, n. 7, 2012.

PESCIE, M.; BORDA, M.; FEDYSZAK, P.; LÓPEZ, C. Effect of time and intensity of pruning on the yield and fruit quality of southern highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum*) var. O'neal in Buenos Aires province. **Revista de Investigaciones Agropecuarias**. Buenos Aires, v. 37, p. 268–274, 2011.

PETROPOULOS, S.A.; DAFERERA, D.; POLISSIOU, M.G.; PASSAM, H.C. a.The effect of water deficit on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 115, p. 393–397, 2008.

PFANZ, H.; ASCHAN, G. The existence of bark and stem photosynthesis in woody plants and its significance for the overall carbon gain: an ecophysiological and ecological approach. **Progress in Botany**, Berlin, v. 62, p. 477–510, 2001.

PRAJAPATI, N.D.; PRAJAPATI, T. **A handbook of *Jatropha curcas* Linn. (Physic nut)**. Jodhpur: Asian Medical Plants and Health Care Trust, 2005. 98 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R:** a language and environment for statistical computing. Vienna, 2013.

RAJAONA, A.M.; BRUECK, B.; ASCH, F. Effect of pruning history on growth and dry mass partitioning of Jatropha on a plantation site in Madagascar. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 35, p. 4892–4900, 2011.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. **Biologia vegetal**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. 906 p.

RUFATO, L.; MARCON FILHO, J.L.; MARODIN, G.A.B.; KRETZSCHMAR, A.A.; MIQUELUTI, D.J. Intensidade e épocas de poda verde em pereira 'Abate Fetel' sobre dois porta-enxertos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 475–481, 2012.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT® user's guide:** statistics; version 9.2. Cary, 2009. 7869 p.

SATURNINO, H.M.; PACHECO, D.D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N.P. Cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 44–78, 2005.

SCARPARE FILHO, J.A.; MEDINA, R.B.; SILVA, S.R. **Poda de árvores frutíferas**. Piracicaba: USP, ESALQ, Casa do Produtor Rural, 2011. 54 p.

SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, London, v. 52, n. 4, p. 591–611, 1965.

SILVA, L.C.; BELTRÃO, N.E.M.; AMORIM NETO, M.S. **Análise do crescimento de comunidades vegetais**. Campina Grande: EMBRAPA, 2000. 18 p. (Circular Técnica, 34).

SILVA, M.B.R.; FERNANDES, P.D.; DANTAS NETO, J.; NERY, A.R.; RODRIGUES, L.N.; VIÉGAS, R.A. Crescimento e produção do pinhão-manso irrigado com água

residuária sob condições de estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 621–629, 2011.

SINGH, B. SINGH, K. RAO, R G.; CHIKARA, J.; KUMAR, D.; MISHRA, D.K.; SAIKIA, S.P.; PATHRE, U.V.; RAGHUVANSHI, N.; RAHI, T.S.; TULI, R. Agro-technology of *Jatropha curcas* for diverse environmental conditions in India. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 48, p. 191–202, 2013.

SRIVASTAVA, P.; BEHERA, S.K.; GUPTA, J.; JAMIL, S.; SINGH, N.; SHARMA, Y.K. Growth performance variability in yield traits and oil content of selected accessions of *Jatropha curas* L. growing in a large scale plantation site. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 35, n. 9, p. 3936–3942, 2011.

SUJATHA, M.; REDDY, T.P.; MAHASI, M.J. Role of biotechnological interventions in the improvement of castor (*Ricinus communis* L.) and *Jatropha curcas* L. **Biotechnology Advances**, New York, v. 26, p. 424–435, 2008.

SURIHARN, B.; SANITCHON, J.; SONGSRI, P.; KESMALA, T. Effects of pruning levels and fertilizer rates on yield of physic nut (*Jatropha curcas* L.). **Asian Journal of Plant Sciences**, Lucknow, v. 10, n. 1, p. 52–59, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução de E.R. Santarém. et al. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TEWARI, D.N. **Jatropha and biodiesel**. New Delhi: Ocean Books, 2007. 227 p.

TIKKOO, A.; YADAV, S.S.; KAUSHIK, N. Effect of irrigation, nitrogen and potassium on seed yield and oil content of *Jatropha curcas* in coarse textured soils of northwest India. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 134, p. 142–146, 2013.

TING, I.P.; STERNBERG, L.O.; DENIRO, M.J. Variable photosynthetic metabolism in leaves and stems of *Cissus quadrangularis* L. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 71, p. 677–679, 1983.

TJEUW, J.; SLINGERLAND, M.; GILLER, K. Relationships among *Jatropha curcas* seed yield and vegetative plant components under different management and cropping systems in Indonesia. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 80, p. 128–139, 2015.

TOMOMATSU, Y.; BRENT S. ***Jatropha curcas* biodiesel production in Africa:** economics and potential value chain development for smallholder farmers. Nairobi: World Agroforestry Centre, 2007. 33 p.

WATSON, D.J. Comparative physiological studies in the growth of field crops. I: Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, London, v. 11, p. 41–76, 1947.

YARBOROUGH, D.E. Blueberry pruning and pollination. In: CHILDERS, N.F. (Ed.). **Blueberries for growers, gardeners, promoters**. Gainesville: Norman F. Childers Horticultural Publ., 2006. p. 75–83.

YE, M.; CAIYAN, L.; FRANCIS, G; MAKKAR, H.P.S. Current situation and prospects of *Jatropha curcas* as a multipurpose tree in China. **Agroforest System**, Dordrecht, v. 76, p. 487–497, Apr. 2009.

3 TEOR DE ÓLEO E PERFIL LIPÍDICO DE SEMENTES DE PINHÃO-MANSO SOB DIFERENTES TIPOS DE PODA E IRRIGAÇÃO USANDO RMN DE ^{1}H

Resumo

O pinhão-manso é uma espécie conhecida por ser fonte de óleo para produção de biodiesel. Assim, torna-se necessária a avaliação de diferentes técnicas agronômicas na produção de óleo vegetal bem como na sua composição em ácidos graxos. Este estudo teve como objetivo avaliar as mudanças no teor e na composição do óleo de sementes de pinhão-manso oriundas de plantas manejadas sob diferentes tipos de poda e manejos hídricos por meio de RMN de ^{1}H. Não foram observadas diferenças espectrais entre os tratamentos, ou seja, a irrigação e a poda não influenciaram o teor de óleo nas sementes de pinhão-manso. O perfil lipídico das sementes de pinhão-manso adquirido pela RMN HR-MAS manifestou a presença de sinais típicos de triacilgliceróis com predominância de ácidos insaturados esterificados a unidade de glicerol. A análise quantitativa do óleo revelou que o manejo hídrico teve influência em plantas submetidas a poda drástica (P2), sendo que a ausência de irrigação provocou a diminuição nos teores de ácido linoleico e de ácidos saturados, mas favoreceu aumentos nas fração de ácido oleico. Portanto, a partir de sua composição de ácidos graxos, óleo de pinhão-manso nas condições deste estudo mostra-se como matéria-prima útil para a produção de biodiesel.

Palavras-chave: Oleaginosa; Óleo vegetal; Espectroscopia; *Jatropha curcas* L

Abstract

Jatropha is a species known to be a source of oil for biodiesel production. Thus, it becomes necessary to evaluate different agronomic techniques in the production of vegetable oil as well as its fatty acid composition. This study aimed to evaluate changes in the content and composition of the jatropha seed oil derived from plants managed under different types of pruning and water conditions by means of 1H NMR. Spectral differences were observed between the treatment, ie, irrigation and pruning did not affect the oil content in jatropha seed. Lipid profile of jatropha seeds acquired by HR-MAS NMR revealed the presence of typical signs of triacylglycerols with predominantly unsaturated acids esterified glycerol unit. Quantitative analysis of the oil revealed that water condition had an influence on plants subjected to severe pruning (P2), wherein the irrigation absence caused a decrease in linoleic acid and saturated acids content, but favored increases in oleic acid fraction. Therefore, from its fatty acid composition, jatropha oil under the conditions of this study it is shown how useful raw material for the production of biodiesel.

Keywords: Oilseed; Vegetable oil; Spectroscopy; *Jatropha curcas* L

3.1 Introdução

O crescimento da população global, o acelerado desenvolvimento industrial, bem como o aumento no preço e o risco de escassez do petróleo convenceu o mundo da necessidade de novas matrizes energéticas. Os biocombustíveis são exemplos de fontes de energia renováveis que se apresentam como alternativa para suprir a demanda energética mundial, além de contribuir para redução das emissões de gases poluentes (FRANCIS; EDINGER; BECKER, 2005).

Nesse sentido, os biocombustíveis são definidos como combustíveis derivados de materiais biológicos que não sejam fósseis, incluindo produtos metabólicos de organismos vivos (BUNGAY, 1982; DEMIRBAS, 2009). O biodiesel é um combustível biodegradável composto por monoalquil ésteres com cadeias longas de ácidos graxos formados através da transesterificação dos ácidos graxos presentes em óleos vegetais não comestíveis, óleos alimentares residuais, gorduras animais, coprodutos de óleos vegetais refinados e até de ácidos graxos livres (BERCHMANS; HIRATA, 2008; ANGARITA et al., 2012; ONG et al., 2013), possuindo características para uso em motores diesel conforme especificações da *American Society of Testing and Materials* através da norma ASTM D6751 (URIARTE JUNIOR, 2010). Entre as vantagens do biodiesel sobre o diesel destaca-se: a não toxicidade do biodiesel, tem origem em fontes renováveis, melhor qualidade das emissões durante o processo de combustão e desempenho no motor semelhante ao diesel. Estima-se que mesmo com o fornecimento de energia cerca de 10% menor tal desemprenho é similar ao diesel em se tratando de potência e no torque (LOTERO et al., 2005; CORRÊA; ARBILLA, 2006; OLIVEIRA et al., 2006).

O pinhão-manso é uma planta nativa da América que se encontra amplamente distribuída ao redor do mundo (CHITRA; VENKATACHALAM; SAMPATHRAJAN, 2005) e vem sendo considerada uma importante matéria-prima para produção de biodiesel (BEHERA et al., 2010). Entre as espécies produtoras de sementes oleaginosas, esta planta é preferida para cultivo comercial por causa de suas várias vantagens sobre as demais nessa categoria (DANIEL, 2008) como tolerância a seca, fácil propagação mesmo em solos de baixa fertilidade, crescimento rápido, alto rendimento médio de sementes, as podem produzir óleo entre 30 e 50% de óleo não comestível (PRAMANIK, 2003; ANNARAO et al., 2008; ACHTEN et al., 2010)

Segundo Kaushik e Bhardwaj (2013), o teor de óleo e a composição de ácidos graxos junto com o rendimento na produção de sementes são os principais parâmetros a serem considerados para a obtenção de matéria prima para o biodiesel. Uma vez que esses parâmetros estão intimamente relacionados com as condições agronômicas, estudos nesse contexto devem ser realizados com o objetivo de selecionar as melhores condições de cultivo. Na literatura são escassos trabalhos que avaliem a influência de técnicas de manejo da cultura como irrigação e poda no teor de óleo das sementes, bem como na composição em ácidos graxos do óleo, apesar da importância do pinhão-manso no contexto da produção de biocombustíveis.

A espectroscopia de ressonância magnética nuclear de hidrogênio (RMN de ^{1}H) tem desempenhado um papel cada vez maior no estudo de propriedades de óleos de origem vegetal (NG; GEE, 2001; PRESTES et al., 2007; NIU et al., 2014), embora no país ainda sejam escassas a utilização desta técnica para fins quantitativos quando comparados a produção internacional. A técnica de RMN permite a análise de amostras complexas, seja no estado liquido, sólido ou semi-sólido (gel). A RMN de baixo campo (frequências < 60 MHz) vem sendo empregada para avaliação de matérias primas para a produção de combustíveis (PRESTES et al., 2007; TIKKOO; YADAV; KAUSHIK, 2013; CONSTANTINO et al., 2014; NIU et al., 2014; PARKER et al., 2014). A RMN de ^{1}H de alta resolução tem sido usada para análise da composição em ácidos graxos em sementes, inclusive de pinhão-manso (COLNAGO; SEIDL, 1983; FORATO et al., 2000; VIGLI et al., 2003; ANNARAO et al., 2008; MUCCI et al., 2013). Tais métodos de análise apresentam vantagens sobre técnicas como a cromatografia gasosa (GC-MS) e líquida (HPLC-MS) por ser uma técnica não destrutiva, rápida e sem necessidade de pré-tratamento (BROBERG; KENNE, 2000; WANG et al., 2005; LINDON et al., 2009; BECKONERT et al., 2010), analisando sementes em seu estado natural (SANTOS et al., 2015)

Em face das informações expostas, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de aplicação da técnica de RMN de 1H no campo agronômico, buscando detectar mudanças no teor e na composição do óleo de sementes de pinhão-manso oriundas de plantas manejadas sob diferentes tipos de poda e manejos hídricos por meio de RMN de ^{1}H

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Material Vegetal

Foram utilizadas sementes maduras e secas (umidade <7%) de plantas de pinhão-manso cultivadas na área experimental do Departamento de Engenharia de Biossistemas da Universidade de São Paulo, localizada em Piracicaba, São Paulo. As plantas de pinhão-manso foram cultivadas em duas áreas, sendo uma irrigada por pivô central (I) e outra que não recebeu irrigação (SI). Em cada área, as plantas foram submetidas a três tipos de poda (P1 – sem poda; P2 – poda a 1,5 m de altura e 1,5 m de diâmetro da copa; P3 – poda a 2 m de altura e 1,5 de diâmetro da copa).

3.2.2 Teor de Óleo

As amostras de sementes foram pesadas em balança analítica digital Shimadzu (± 0,0001 g). As análises de RMN de ^{1}H de baixo campo foram realizadas em um espectrômetro Bruker mq-20, equipado com um imã permanente de 0,5 T e sonda de 18 mm, observando núcleo de ^{1}H a 20 MHz. Em todas as análises, as amostras foram transferidas diretamente para tubos de RMN e ambientadas por 30 minutos em um bloco térmico a temperatura de 40 ± 2 °C. As sequências de pulsos utilizadas foram spin-eco e CPMG (*Carr-Purcell-Meiboom-Gil*).

As análises de óleo utilizando as sequências de pulsos spin-eco e CPMG foram obtidas utilizando 3,5 ms de tempo de duração de eco (τ) e 16 varreduras (NS). Nas análises com a sequência de pulso spin-eco um intervalo de reciclo de 2 s (RD) foi utilizado. Já para as análises com a sequência de pulso CPMG, formalmente descrita por: RD - 90^{0} - τ - [(180_{90} - τ -)DE (180_{90} - τ -) asd - τ -]$_{N}$}$_{NS}$), o intervalo de reciclo entre pulsos escolhido foi de 10 s (RD) com duração dos pulsos de radiofrequência de 14,96 e 29,80 µs, referente aos pulsos de 90° e 180° respectivamente. As curvas de eco foram registradas com 600 pontos (N), sendo os ecos registrados durante 4 s. Para eliminar as deformidades causadas pela eletrônica do equipamento, principalmente nas coletas dos ecos iniciais, foi feito o registro dos mesmos a cada quatro ecos adquiridos.

Para determinação do teor de óleo nas sementes de pinhão manso, duas curvas analíticas foram construídas baseadas nas sequências de pulso

mencionadas anteriormente. Para isto, os dados de 6 amostras de óleo de pinhão manso foram adquiridos variando a massa do óleo de 0,25 - 1,5 g, com um intervalo de 0,25 g. Em ambas as curvas analíticas, relacionou-se a massa de óleo com a amplitude da curva de decaimento do sinal de RMN de ^{1}H. Após a construção das curvas analíticas, quintuplicadas de cada condição (I-P1, I-P2, I-P3, SI-P1, SI-P2 e SI-P3) contendo três sementes foram analisadas com as sequências de pulso otimizadas.

3.2.3 Composição em ácidos graxos

Os espectros de RMN de HR-MAS de ^{1}H foram adquiridos em um espectrômetro de RMN Bruker AVANCE 400 a 293 K, operando a 9,4 T, observando o núcleo de hidrogênio a 400,13 MHz, equipado com uma sonda de alta resolução com gradiente de campo na direção do ângulo mágico (4 mm MAS $^{1}H/^{13}C/^{15}N$/D B3188/0572). Para a análise, as sementes de pinhão-manso sem cascas foram pulverizados e 3 mg de amostra foi inserida em rotor de óxido de zircônio com volume esférico de 50 µL, seguida da adição de 40 µL de $CDCl_3$ contendo 0,05% TMS. Os experimentos foram realizados em triplicata com os seguintes parâmetros de aquisição: sequência de pulso (*zg*), 20 s de *relaxation delay* (D1), 16 transientes (NS), 64 K número de pontos (TD), tempo de aquisição (AQ) igual a 7,97 s e janela espectral de 4111,842 Hz.

Durante a aquisição, as amostras foram giradas no ângulo mágico (θ = 54,74°) a uma velocidade de 5 KHz. O ângulo mágico foi ajustado diariamente e o *shimming* foi otimizado para cada amostra. Os espectros foram processados no programa TOPSPIN com 64K pontos aplicando-se uma multiplicação exponencial dos FIDs por um fator de 0,3 Hz. Os deslocamentos químicos foram calibrados em relação ao sinal do TMS (δ 0 ppm).

3.3.4 Análise Estatística

Para cada conjunto de dados foi realizada a análise de variância (ANOVA) e pelo teste F foram verificadas as significâncias das diferenças entre os tratamentos usando o software estatístico *Statistical Analysis Systems* (SAS). As comparações entre as médias foram conduzidas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, usada como nível de decisão para aceitação ou rejeição da significância estatística em todas as análises.

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Teor de óleo

Na Figura 3.1 estão as curvas analíticas que relacionam os valores de massa do óleo com aqueles referentes à amplitude do sinal da curva de decaimento.

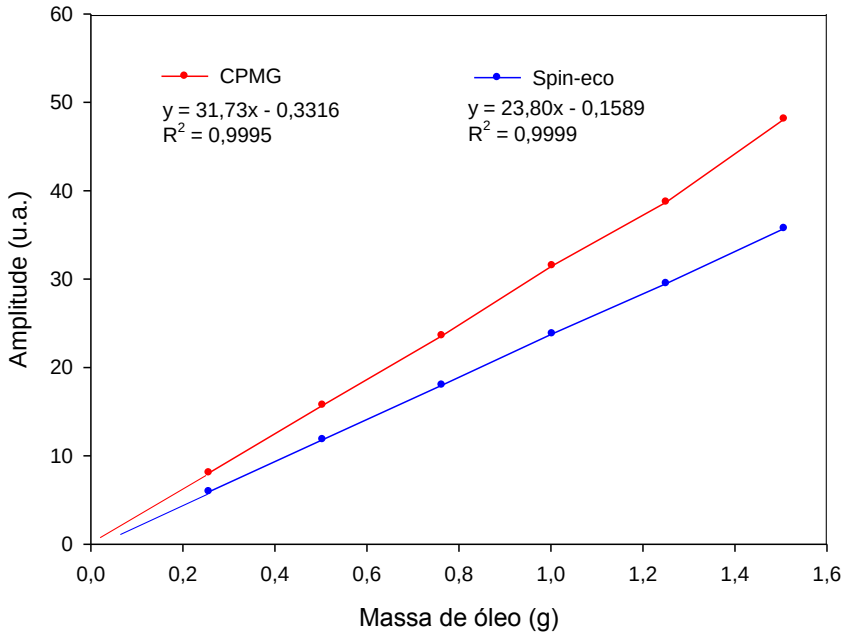

Figura 3.1 - Curvas analíticas de óleo de pinhão-manso de acordo com as sequências de pulsos aplicadas

As diferentes sequências de pulso avaliadas resultaram em diferentes amplitudes do sinal, no entanto, foi observada relação linear das duas grandezas para ambos os casos, que pode ser confirmada pelos valores dos coeficientes de correlação (R^2) das curvas analíticas: 0,9999 (spin-eco) e 0,9995 (CPMG). Tais valores são aceitáveis uma vez que supera o valor mínimo esperado para este tipo

de análise (R^2=0,97) (COLNAGO, 1996). Existe uma correlação alta entre os teores de óleo obtidos pelo método clássico de extração por solvente e RMN de ^{1}H de baixo campo o que evidencia a eficiência dessas metodologias para análises na determinação dos teores de lipídeos em sementes (CONSTANTINO et al., 2014).

Os valores médios do teor de óleo do conjunto amostral (n= 5) são mostrados na Tabela 3.1. Não foram observadas alterações significativas da irrigação e poda nos teores de óleo em sementes de pinhão-manso. Nas duas sequências analisadas, os resultados foram similares, evidenciando a sensibilidade e a robustez da técnica para este tipo de amostra. Além disso, a metodologia também se mostrou reprodutível com valores abaixo de 5% para os desvios padrões. De forma semelhante a este trabalho, a poda também não causou diferenças significativas, nos teores de óleo em sementes de pinhão-manso segundo Nery (2011) e Ghosh, Chikara e Chaudhary (2011).

Tabela 3.1 - Valores médios (%) e desvios padrão do teor de óleo (%) por spin-eco e CPMG nas sementes de *Jatropha curcas* estudadas

Amostras*	spin-eco (%)	CPMG (%)
I-P1	32,38 ± 1,71 a	31,55 ± 2,04 a
I-P2	33,65 ± 2,13 a	34,76 ± 2,68 a
I-P3	34,36 ± 1,86 a	33,73 ± 2,97 a
SI-P1	33,72 ± 1,83 a	33,82 ± 2,62 a
SI-P2	33,85 ± 2,08 a	34,24 ± 2,50 a
SI-P3	34,67 ± 2,01 a	35,58 ± 2,16 a
CV (%)	5,7	7,6

*Valores foram medidos a partir das análises em quintuplicata de cada condição
Médias±desvio padrão
I - Irrigação; SI - Sem irrigação; P1 - sem poda; P2 - poda a 1,5 m de altura e 1,5 m de diâmetro de copa; P3 - poda a 2 m de altura e 1,5 m de diâmetro de copa.

Em vários estudos, foi encontrado que o teor de óleo na semente de pinhão-manso respondeu positivamente ao acréscimo de água durante a condução da cultura (KHEIRA; ATTA, 2009; NERY, 2011; SOUSA et al., 2011; TIKKOO; YADAV; KAUSHIK, 2013; MEDEIROS et al., 2014). Entretanto, no presente estudo a irrigação não promoveu aumento na produção de lipídios (óleo).

Apesar de não serem observadas diferenças espectrais entre os tratamentos, bem como diferenças no teor de óleo das sementes entre os tratamentos. Segundo Prestes et al. (2007), quando ocorrem variações espectrais de RMN ^{1}H, estas são

atribuídas a composição de ácidos graxos que podem ser combinadas para construção de modelos de reconhecimento de padrões, logo, os resultados deste ensaio sugerem que a composição desses ácidos nas amostras estudadas podem seguir a mesma tendência observada para os teores do óleo na semente.

Como pode ser visto na Tabela 3.1, os teores de óleo das sementes de pinhão-manso foram maiores que 30%, isto é, mais altos do que aqueles usualmente encontrados para oleaginosas como soja, algodão e outras fontes comerciais de óleo. Dessa forma, o processamento de sementes de pinhão-manso para obtenção de óleo vegetal poderia ser viável, levando em consideração que há uma correlação entre o teor de óleo nas sementes e a quantidade de biodiesel produzido, onde, os processos de transesterificação geram rendimentos que variam entre 92 e 98% do óleo original (JINGURA, 2011)

3.3.2 Perfil lipídico por RMN HR-MAS de ^{1}H

O perfil lipídico das sementes de *Jatropha curcas* adquirido pela RMN HR-MAS revelou a presença de sinais bem conhecidos de triacilgliceróis. Na Figura 3.2, é apresentado o espectro de ^{1}H com o sinal em 0,88 ppm (A) que corresponde ao grupo CH_3 das unidades acil de todos os ácidos graxos (exceto para o ácido linolênico). Seguindo a ordem do valor dos deslocamentos químicos pode-se observar os sinais: em 1,25-1,3 ppm que são típicos dos grupos metilênicos de todas as cadeias acil de ácidos graxos (B); em 1,61 ppm correspondente aos hidrogênios beta carbonil dos ácidos graxos (C); em 2,03 ppm são observados sinais característicos de grupos metilênicos de hidrogênios alfa olefinicos (D); em 2,31 ppm foi revelado a presença de hidrogênios alfa carbonil de todos os ácidos graxos (E) e em 2,77 ppm mostrando a presença dos hidrogênios metilênicos entre duas olefinas (F). Além destes sinais, observa-se ainda ressonâncias entre 4,14 e 4,3 ppm e em 5,27 ppm proveniente da presença de dois hidrogênios alfa metilênicos (α,α'-CH2: G) a o grupo beta metínico (β-CH: H), respectivamente, ambos relacionados a unidade de glicerol. Por fim, o sinal em 5,36 ppm revelando as duplas ligações de ácidos graxos insaturados (I). De forma geral, todos os sinais mencionados anteriormente referem-se a ácidos graxos esterificados a uma unidade de glicerol.

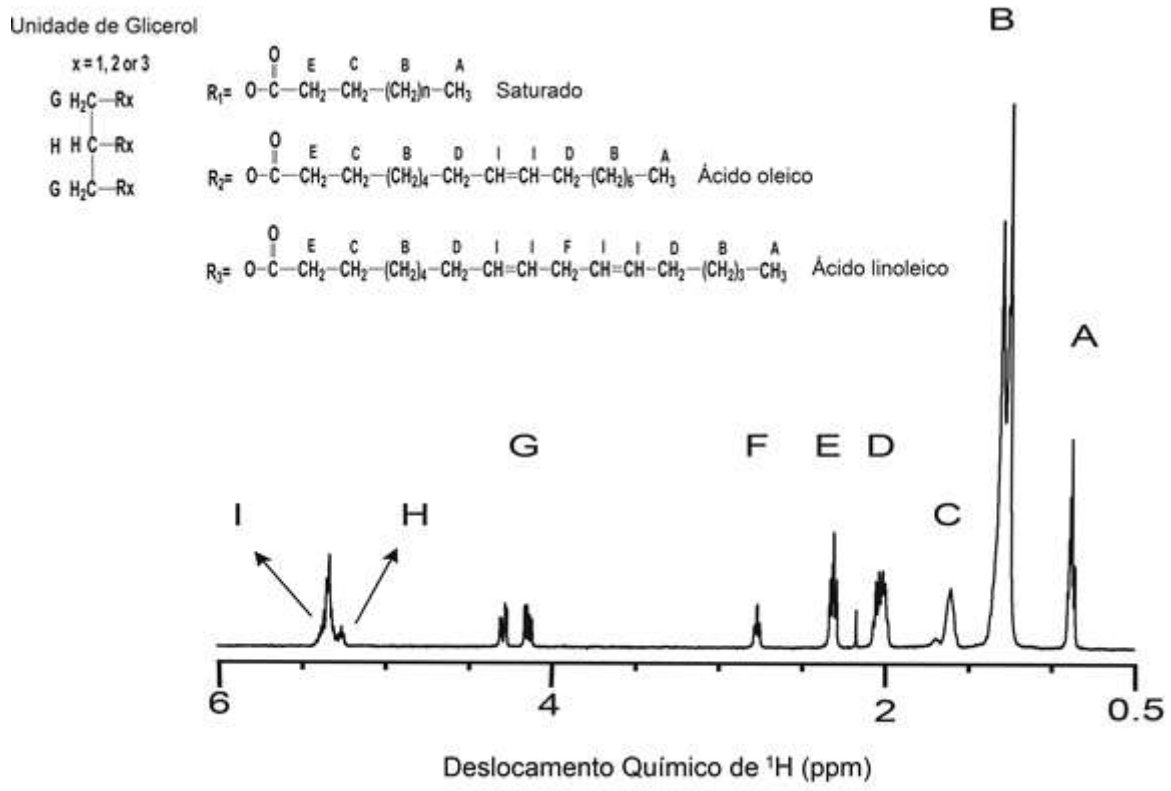

Figura 3.2 - Típico espectro de ^{1}H HR-MAS de pinhão-manso com a respectiva atribuição dos sinais da unidade de glicerol (acima) e os diferentes tipos de ácidos graxos (abaixo)

A ausência de ácido linolênico pode ser facilmente identificada por um tripleto em δ 0,98 referente ao grupo CH_3 terminal deste composto, o que faz com o que o perfil lipídico das sementes de pinhão-manso seja classificado como tipo linoleico e oleico (MITTELBACH; REMSCHMIDT, 2004; AKBAR et al., 2009, ONG et al., 2011). De acordo com o padrão europeu para biodiesel (DIN EN14103), a concentração de ésteres metílicos de ácidos graxos não deve exceder o limite de 12%. É possível que o estádio de maturação dos frutos de pinhão-manso quando colhidos tenha influenciado na concentração do ácido linolênico, que segundo Annarao et al. (2008) é detectável por RMN apenas nos estágios iniciais de desenvolvimento de maturação das sementes, tendo nos últimos estágios da concentração deste composto desaparecido totalmente, o que é bastante favorável, do ponto de vista da estabilidade oxidativa do óleo (ANTONIASSI et al., 2013).

Na literatura, alguns autores descrevem que os ácidos oleico e linoleico participam com a maior parcela na composição do óleo seguido pelos ácidos palmítico e esteárico (ACHTEN et al., 2008; FERRARI et al., 2009; MAZUMDAR et al., 2012; RODRIGUES et al., 2013). Em termos qualitativos, os diferentes

tratamentos não provocam qualquer alteração no perfil de lipídeos, isto é, não houve alteração no conjunto de sinais em todos os espectros adquiridos.

Nesse estudo, observou-se que altos níveis de ácidos graxos insaturados e o perfil de todos eles evidencia a semelhança das sementes de pinhão-manso com as várias espécies oleaginosas usadas para fins alimentícios, cosméticos, aplicações industriais ou biodiesel como mandioca, algodão, soja, milho e girassol (POPOOLA; YANGOMODOU, 2006; UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA, 2012; ALVES et al., 2014).

Para a quantificação do teor dos ácidos graxos foi utilizada a metodologia proposta por Barison et al. (2010), que tem como ideia básica o fato que todas as cadeias acil de ácidos graxos estarem esterificadas a uma mesma unidade de glicerol para formar os triacilgliceróis. Uma vez que a área dos sinais no espectro é proporcional ao número de hidrogênio de cada tipo na amostra, a composição dos ácidos graxos pode ser determinada através da relação entre as áreas de um dos sinais da unidade de glicerol e os sinais característicos de cada cadeia acil dos ácidos graxos presente no espectro de hidrogênio.

Dessa forma, o teor dos ácidos graxos saturados e insaturados (especificamente linoleico e oleico), mostrado na Tabela 3.2, foram determinados diretamente do espectro de RMN HR-MAS de ^{1}H utilizando as áreas dos sinais das cadeias acil de ácidos graxos (letras D, E e F) em relação a área do sinal G referente a unidade de glicerol. A reprodutibilidade da metodologia foi avaliada antes da obtenção dos espectros usados na análise quantitativa. Essa etapa consistiu, basicamente, na investigação da reprodução no empacotamento de rotor, aquisição de espectro e integração dos sinais.

Tabela 3.2 - Valores médios (%) e desvios padrão do total de ácidos de sementes de pinhão-manso cultivado sob diferentes condições por RMN HR-MAS de ^{1}H

Irrigação	Poda			CV (%)
	P1	P2	P3	
	Ácido Linoleico (%)			
I	29,7 ±1,7 cB	34,1 ± 1,9 aA	32,3 ± 1,3 bA	9,6
SI	32,9 ± 2,8 aA	32,0 ± 1,7 aB	32,7 ± 1,8 aA	14,3
	Ácido Oleico (%)			
I	56,2 ± 3,0 bA	52,5 ± 4,0 bB	60,3 ± 5,3 aA	9,3
SI	57,3 ± 4,7 aA	58,0 ± 4,8 aA	59,2 ± 5,6 aA	8,7
	Ácidos Saturados (%)			
I	19,6 ± 3,3 abA	20,7 ± 4,7 aA	16,3 ± 5,3 bA	19,9
SI	20,1 ± 4,9 aA	16,6 ± 5,0 abB	15,6 ± 5,0 bA	26,5

Média±desvio padrão

Médias seguidas de mesma letra maiúscula entre linhas e minúscula entre colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade. I - Irrigação; SI - Sem irrigação; P1 - sem

poda; P2 - poda a 1,5 m de altura e 1,5 m de diâmetro de copa; P3 - poda a 2 m de altura e 1,5 m de diâmetro de copa.

3.3.3 Efeito da irrigação e poda no conteúdo de ácidos graxos

Os resultados da análise quantitativa (Tabela 3.2) revelam que o ácido oleico apresentou-se como componente majoritário no óleo em todas as amostras, contribuindo com mais de 50% da composição em ácidos graxos. As demais frações correspondem aos teores de ácido linoleico, que variaram entre 29,7 e 34,1%, e de ácidos graxos saturados, que se mantiveram entre 15,6 e 20,7%.

Os tipos de poda tiveram influência significativa ($p< 0,05$) nos teores dos ácidos graxos insaturados em sementes do tratamento irrigado. Entretanto para os tratamentos em que não houve irrigação, os valores médios para estes teores não diferiram estatisticamente a 5% de probabilidade, ocorrendo efeito significativo apenas para os ácidos saturados. Por outro lado, ao analisar a influência dos manejos de água para cada tipo de poda, notou-se que a irrigação ou ausência dela foram determinantes nos teores de ácido linoleico na ausência de poda (P1) e no perfil de ácidos graxos de plantas podadas a 1,5 m de altura e 1,5 m de diâmetro da copa (P2). No tratamento com poda drástica (P2), a ausência de irrigação provocou a diminuição nos teores de ácido linoleico e de ácidos saturados, mas favoreceu aumentos nas fração de ácido oleico, tendência já observada por Sezen et al. (2011) e Caruso et al. (2014) em girassol e oliva. Arslan et al. (2007) reportam que a relação oleico/linoleico é fortemente influenciada por fatores externos sugerindo que as diferenças observadas podem ter sido causadas por fatores ambientais, não necessariamente relacionadas com as temperaturas, mas, possivelmente, relacionadas com a disponibilidade hídrica.

A composição final do biodiesel e suas propriedades físico-químicas dependem de características naturais das matérias-primas utilizadas no processo de fabricação, como comprimento e ramificação da cadeia e grau de instauração, sendo assim indispensável seu estudo (KNOTHE; STEIDLEY, 2005). Os óleos vegetais compostos por ácidos graxos de cadeia longa resultam em biodiesel com maior número de cetano (NC) e menores emissões de óxidos de nitrogênio, sendo que a presença de compostos monoinsaturados leva a uma elevação no número de cetano, um indicativo do tempo de atraso na ignição de combustíveis para motores

do ciclo diesel. Quanto maior o número de cetano mais curto será o tempo de ignição (SARAF; THOMAS, 2007; LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009; KNOTHE; STEIDLEY, 2005). Visto que não existe um perfil de ácidos graxos que fornecerá todos os parâmetros ideais para a produção do biodiesel, matérias-primas para produção de biodiesel de alta qualidade tendem a ter um elevado teor de ácidos graxos monoinsaturados (ácido oleico) e baixos teores de ácidos poli-insaturados e saturados (GUNSTONE, 2004; DURRETT; BENNING; OHLROGGE, 2008; MAZUMDAR et al., 2012).

Devido à presença de ácidos graxos insaturados no biodiesel, existe uma preocupação com relação tendência a oxidação. A estabilidade oxidativa dos óleos depende de fatores como condições de armazenamento (temperatura e exposição ao ar), presença de antioxidantes naturais (tocoferóis) e contaminantes, por exemplo (FERRARI; OLIVEIRA; SCABIO, 2005; LEUNG; KOO; GUO, 2006). Além disso, este parâmetro de qualidade está diretamente relacionado com o grau de insaturação dos ácidos graxos presentes, como também com a posição das duplas ligações na cadeia carbônica, isto é, óleos com maior teor de ácidos graxos insaturados são mais susceptíveis à oxidação (CORSINI; JORGE, 2006; MEHER; SAGAR; NAIK, 2006; BOUAID; MARTINEZ; ARACIL, 2007) com tendência de aumento na estabilidade representada pelo ácido linolênico, seguido pelos ácidos linoleico e oleico (MIYASHITA; TAKAGI, 1986). Em contrapartida, ácidos graxos saturados mostram alta viscosidade e uma tendência para solidificar em temperaturas mais baixas (KNOTHE; STEIDLEY, 2005). Sendo assim, a partir de sua composição de ácidos graxos, o óleo de pinhão-manso nas condições deste estudo mostram-se como matéria-prima útil para a produção de biodiesel.

3.4 Conclusões

O presente trabalho reporta a influência da irrigação e tipos de poda sobre o conteúdo de óleo e de ácidos graxos em sementes de pinhão-manso. Ressalta-se que esse estudo é o primeiro a propor uma avaliação do perfil lipídico de pinhão-manso submetido aos tratamentos citados utilizando a ressonância magnética nuclear. No que diz respeito a qualidade do óleo, fornece informações valiosas sobre a composição de ácidos graxos do óleo de pinhão-manso, a qual foi utilizada para predizer algumas propriedades do biodiesel. A irrigação e a poda não influenciaram

o teor de óleo nas sementes de pinhão-manso. Em relação ao perfil graxo, a irrigação teve influência em plantas submetidas a poda drástica (P2). Nesta condição, a ausência de irrigação favoreceu o aumento no teor de ácido oleico, característica essa que gera informações indiretas sobre propriedades como estabilidade a oxidação e o número de cetano do biodiesel produzido a partir deste óleo. Por fim, a técnica de RMN de ^{1}H se mostrou como uma técnica potencial para aplicação no campo agronômico, considerando a rapidez das análises, simplicidade em preparo das amostras e menor consumo de reagentes.

Referências

ACHTEN, W.M.J.; MAES, W.H.; AERTS, R.; VERCHOT, L.; TRABUCCO, A.; MATHIJS, E.; SINGH, V.P.; MUYS, B. Jatropha: from global hype to local opportunity. **Journal of Arid Environments**, London, v. 74, p. 164–165, 2010.

ACHTEN, W. M. J.; VERCHOT, L.; FRANKEN, Y. J.; MATHIJS, E.; SINGH, V. P.; AERTS, R.; MUYS, B. Jatropha bio-diesel production and use. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 32, n. 12, p. 1063–1084, 2008.

AKBAR, E.; YAAKOB, Z.; KARTOM, S.; KAMARUDIN, S.K.; ISMAIL, M.; SALIMON, J. Characteristic and composition of *Jatropha curcas* oil seed from Malaysia and its potential as biodiesel feedstock. **European Journal of Scientific Research**, Victoria, v. 29, p. 396–403, 2009.

ALVES, A.A.C.; MANTHEY, L.; ISBELL, T.; ELLIS, D.; JENDEREK, M.M. Diversity in oil content and fatty acid profile in seeds of wild cassava germplasm. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 60, p. 310–315, 2014.

ANGARITA, E.E.Y.; ROCHA, M.H.; LORA, E.E.S.; VENTURINI, O.J.; TORRES, E.A.; ALVES, C.T.; GIRALDO, S.Y. Biocombustíveis de primeira geração: biodiesel. In: LORA, E.E.S.; VENTURINI, O.J. (Org.). **Biocombustíveis**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2012, v. 1, cap. 3, p. 173-310.

ANNARAO, S., SIDHU, O.P.; ROY, R.; TULI, R.; KHETRAPAL, C.L. Lipid profiling of developing *Jatropha curcas* L. seeds using ^{1}H NMR spectroscopy. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, n. 18, p. 9032–9035, 2008.

ANTONIASSI, R.; ARRIEL, N.H.C.; GONÇALVES, E.B.; FREITAS, S.C. de; ZANOTTO, D.L.; BIZZO, H.R. Influência das condições de cultivo na composição da semente e do óleo de gergelim. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 3, p. 301–310, maio/jun. 2013.

ARSLAN, C.; UZUN, B.; ULGER, S.; CAGIRGAN, M.I. Determination of oil content and fatty acid composition of sesame mutants suited for intensive management conditions. **Journal of the American Oil Chemists Society**, Chicago, v. 84, p. 917–920, 2007.

BARISON, A.; SILVA, C.W.P.; CAMPOS, F.R.; SIMONELLI, F.; LENZ, C.A.; FERREIRA, A.G.; A simple methodology for the determination of fatty acid composition in edible oils through ^{1}H-NMR spectroscopy. **Magnetic Resonance in Chemistry**, Chichester, v. 48, n. 8, p. 642–650, 2010.

BECKONERT, O.; COEN, M.; KEUN, H.C.; WANG, Y.; EBBELS, T.M.D.; HOLMES, E.; LINDON, J.C.; NICHOLSON, J.K. High-resolution magic-angle-spinning NMR spectroscopy for metabolic profiling of intact tissues. **Nature Protocols**, New York, v. 5, p. 1019–1032, 2010.

BEHERA, S.K.; SRIVASTAVA, P.; TRIPATHI, R.; SINGH, J.P.; SINGH, N. Evaluation of plant performance of *Jatropha curcas* L. under different agro-practice for optimizing biomassea case study. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 32, p. 30–41, 2010.

BERCHMANS, H.J.; HIRATA, S. Biodiesel production form crude *Jatropha curcas* L. seed oil with a high content of free fatty acids. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, p. 1716–1721, 2008.

BOUAID, A.; MARTINEZ, M.; ARACIL, J. Long storage stability of biodiesel from vegetable and used frying oils. **Fuel**, London, v. 86, p. 2596–2602, 2007.

BROBERG, A.; KENNE L. Use of high-resolution magic angle spinning nuclear magnetic resonance spectroscopy for in situ studies of low-molecular-mass compounds in red algae. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 284, n. 2, p. 367-374, 2000.

BUNGAY, H.R. Biomass Refining. **Science**, Washington, v. 218, n. 4573, p. 643-646, 1982.

CARUSO, G.; GUCCI, R.; URBANI, S.; ESPOSTO, S.; TATICCHI, A.; DI MAIO, I.; SELVAGGINI, R.; SERVILI M. Effect of different irrigation volumes during fruit development on quality of virgin olive oil of cv. Frantoio. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 134, p. 94–103, 2014.

CHITRA, P.; VENKATACHALAM, P.; SAMPATHRAJAN, A. Optimisation of experimental conditions for biodiesel production from alkali-catalysed transesterification of *Jatropha curcas* oil. **Energy for Sustainable Development**, Bangalore, v. 9, n. 3, p. 13–18, 2005.

COLNAGO, L.A. **Análise do teor de óleo em sementes por RMN**, São Carlos: Embrapa, CNPDIA, 1996. 14 p. (Circular Técnica, 3).

COLNAGO, L.A.; SEIDL, P.R. Application of carbon-13 nuclear magnetic resonance to the germination of soybean seeds in vivo. **Journal of Agricultural and Food Chemistry,** Easton, v. 31, p. 459-461, 1983.

CONSTANTINO, A.F.; LACERDA JÚNIOR, V.; SANTOS, R.B.; GRECO, S.J.; SILVA, R.C.; BARBOSA, L.L.; CASTRO, E.V.R.; FREITAS, J.C.C. Análise do teor e da qualidade dos lipídeos presentes em sementes de oleaginosas por RMN de baixo campo. **Química Nova**, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 10–17, 2014.

CORRÊA, S.M.; ARBILLA, G. Aromatic hydrocarbons emissions in diesel and biodiesel exhaust. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 40, p. 6821–6826, 2006.

CORSINI, M. da S.; JORGE, N. Estabilidade oxidativa de óleos vegetais utilizados em frituras de mandioca palito congelada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1, p. 27–32, jan./mar. 2006.

DANIEL, J.N. **Jatropha oilseed production**: a realistic approach. BAIF Development Research Foundation. 2008. Disponível em: <http://www.baif.org.in/doc/Agri_Horti.../MEDA.doc>. Acesso em: 06 set. 2015.

DEMIRBAS, A. Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review. **Applied Energy**, London, v. 86, p. 108–117, Nov. 2009.

DURRETT, T.P.; BENNING, C.; OHLROGGE, J. Plant triacylglycerols as feedstocks for the production of biofuels. **Plant Journal**, Oxford, v. 54, p. 593–607, 2008.

FERRARI, R.A.; OLIVEIRA, V.S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja: taxa de conversão de ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 19–23, 2005.

FERRARI, R.A.; CASARINI, M.B; MARQUES, D.A.; SIQUEIRA, W.J. Avaliação da composição química e de constituinte tóxico em acessos de pinhão-manso de diferentes origens. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 12, n. 4, p. 309–314, out./dez. 2009.

FORATO, L.A.; COLNAGO, L.A.; GARRATT, R.C.; LOPES, M.A. Identification of free fatty acids in maize protein bodies and purified alpha zeins by (13)C and (1)H nuclear magnetic resonance. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 1543, p. 106-114, 2000.

FRANCIS, G.; EDINGER, R.; BECKER, K. A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production and socio-economic development in degraded areas in India: need, potential and perspectives of Jatropha plantations. **Natural Resources Forum**, New York, v. 29, p. 12–24, 2005.

GHOSH, A.; CHIKARA, J.; CHAUDHARY, D.R. Diminution of economic yield as affected by pruning and chemical manipulation of *Jatropha curcas* L. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 35, p. 1021–1029, 2011.

GUNSTONE, F.D. **Rapeseed and canola oil:** production, processing, properties and uses. London: Blackwell, 2004. 240 p.

JINGURA, R.M. Technical options for optimization of production of *Jatropha curcas* as a biofuel feedstock in arid and semi-arid areas of Zimbabwe. **Biomass and Bioenergy**. Oxford, v. 35, p. 2127–2132, 2011.

KAUSHIK, N; BHARDWAJ, D. Screening of *Jatropha curcas* germplasm for oil content and fatty acid composition. **Biomass and Bioenergy**, Oxford; v. 58, p. 210-218, 2013.

KHEIRA, A.A.A., ATTA, N.M.M. Response of *Jatropha curcas* L. to water deficits: yield, water use efficiency and oil seed characteristics. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 33, p. 1343–1350, 2009.

KNOTHE, G.; STEIDLEY, K.R. Kinematic viscosity of biodiesel fuel components and related compounds: influence of compound structure and comparison to petrodiesel fuel components. **Fuel**, London, v. 84, n. 9, p. 1059–1065, 2005.

LEUNG, D.Y.C.; KOO, B.C.P.; GUO, Y. Degradation of biodiesel under different storage conditions. **Bioresource Technology**, Essex, v. 97, p. 250-256, 2006.

LINDON, J.C.; BECKONERT, O.P.; HOLMES, E.; NICHOLSON, J.K. High-resolution magic angle spinning NMR spectroscopy: application to biomedical studies. **Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy**, Elmsford, v. 55, p. 79–100, 2009.

LÔBO, I.P.; FERREIRA, S.L.C.; CRUZ, R.S. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 6, p.1596–1608, 2009.

LOTERO, E.; LIU, Y.; LOPEZ, D.E.; SUWANNAKARN, K.; BRUCE, D.A.; GOOD-WIN, J.G. Synthesis of biodiesel via acid catalysis. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, Washington, v. 44 n. 14, p. 5353–5363, 2005.

MAZUMDAR, P.; BORUGADDA, V.B.; GOUD, V.V.; SAHOO, L. Physico-chemical characteristics of *Jatropha curcas* L. of North East India for exploration of biodiesel. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 46, p. 546–554, 2012.

MEDEIROS, S.S.; GUERRA, H.O.C.; LIMA, V.L.A.; AZEVEDO, C.A.V.; SILVA, T.T.S. Teor de óleo do pinhão manso com adubação fosfatada e irrigado com água residuária. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 9, n. 1, p. 299–305, jan./mar. 2014.

MEHER, L.C.; SAGAR, D.V.; NAIK, S.N. Technical aspects of biodiesel production by transesterification: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 10, p. 248–268, 2006.

MITTELBACH, M.; REMSCHMIDT, C. **Biodiesel:** the comprehensive handbook. Vienna: Martin Mittelbach, 2004. 332 p.

MIYASHITA, K; TAKAGI, T. Study on the oxidative rate and prooxidant activity of free fatty acids. **Journal of American Oil Chemists' Society**, 1986, v. 63, p. 1380-1384.

MUCCI, A.; PARENTI, F.; RIGHI, V.; SCHENETTI, L. Citron and lemon under the lens of HR-MAS NMR spectroscopy, **Food Chemistry**, London, v. 141, p. 3167–3176, 2013.

NERY, A.R. **Crescimento e desenvolvimento do pinhão-manso irrigado com águas residuária e salinizada – segundo ciclo de produção**. 2011. 212 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

NG, S.; GEE, P.T. Determination of Iodine value of palm and palm kernel oil by carbon-13 nuclear magnetic resonance spectroscopy. **European Journal of Lipid Science and Technology**, Weinheim, v. 103, p. 223–227, 2001.

NIU, LONGJIAN; LI, JIALONG; CHEN, MAO-SHENG; XU, ZENG-FU. Determination of oil contents in Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) seeds at different developmental stages by two methods: Soxhlet extraction and time-domain nuclear magnetic resonance. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 56, p. 187-190, 2014.

OLIVEIRA, J.S.; MONTALVÃO, R.; DHER, L., SUAREZ, P.A.Z.; RUBIM, J.C. Determination of methyl ester contents in biodiesel blends by FTIR-ATR and FTNIR spectroscopies. **Talanta**, London, v. 69, n. 5, p. 1278-1284, 2006.

ONG, H.C.; MAHLIA, T.M.I.; MASJUKI, H.H.; NORHASYIMA, R.S. Comparison of palm oil, *Jatropha curcas* and *Calophyllum inophyllum* for biodiesel: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 15, n. 8, p. 3501–3515, 2011.

ONG, H.C.; SILITONGA, A.S.; MASJUKI, H.H.; MAHLIA, T.M.I.; CHONG, W.T.; BOOSROH, M.H. Production and comparative fuel properties of biodiesel from non-edible oils: *Jatropha curcas*, *Sterculia foetida* and *Ceiba pentandra*. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 73, p. 245–255, 2013.

PARKER, T.; LIMER, E.; WATSON, A.D.; DEFERNEZ, M.; WILLIAMSON, D.; KEMSLEY, E.K. 60 MHz ^{1}H NMR spectroscopy for the analysis of edible oils. **Trends in Analytical Chemistry**, Amsterdam, v. 57, p. 147–158, 2014.

POPOOLA, T.O.S.; YANGOMODOU, O.D. Extraction, properties and utilization potentials of cassava seed oil. **Biotechnology**, Frankfurt, v. 5, p. 38–41, 2006.

PRAMANIK, K. Properties and use of *Jatropha curcas* oil and diesel fuel blends in compression ignition engine. **Renewable Energy**, Oxford, v. 28, n. 2, p. 239–248, 2003.

PRESTES, R.A.; COLNAGO, L.A.; FORATO, L.A.; VIZZOTTO, L.; NOVOTNY, E.H.; CARRILHO, E. A rapid and automated low resolution NMR method to analyze oil quality in intact oilseeds. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 596, p. 325–329, 2007.

RODRIGUES, J.; MIRANDA, I.; GOMINHO, J.; VASCONCELOS, M.; BARRADAS, G.; PEREIRA, H.; BIANCHI-DE-AGUIAR, F.; FERREIRA-DIAS, S. Variability in oil content and composition and storage stability of seeds from *Jatropha curcas* L. grown in Mozambique. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 50, p. 828–837, 2013.

SANTOS, A.D.C.; FONSECA, F.A.; LIÃO, L.M.; ALCANTARA, G.B.; BARISON, A. High-resolution magic angle spinning nuclear magnetic resonance in foodstuff analysis. **Trends in Analytical Chemistry**, Amsterdam, v. 73, p. 10-18, 2015.

SARAF, S.; THOMAS, B. Influence of feedstock and process chemistry on biodiesel quality. **Process Safety and Environmental Protection**, Rugby, v. 85, p. 360–364, 2007.

SEZEN, S.M.; YAZAR, A.; KAPUR, B.; TEKIN, S. Comparison of drip and sprinkler irrigation strategies on sunflower seed and oil yield and quality under mediterranean conditions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, p. 1153–1161, 2011.

SOUSA, A.E.C.; GHEYI, H.R.; SOARES, F.A.L.; MEDEIROS, E.P. de; NASCIMENTO, E.C.S. Teor de óleo no pinhão manso em função de lâminas de água residuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 46, n. 1, p. 108-111, jan. 2011.

TIKKOO, A.; YADAV, S.S.; KAUSHIK, N. Effect of irrigation, nitrogen and potassium on seed yield and oil content of *Jatropha curcas* in coarse textured soils of northwest India. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 134, p142–146, 2013.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **National nutrient database for standard reference**: release 25. 2012. Disponível em: <http://www.ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid=23635>. Acesso em: 31 out. 2015.

URIARTE JÚNIOR, A.F. **Biofuels from plant oils.** Jakarta: ASEAN Foundation, 2010. 166 p.

VIGLI, G.; PHILIPPIDIS, A.; SPYROS, A.; DAIS, P. Classification of edible oils by employing ^{31}P and ^{1}H NMR spectroscopy in combination with multivariate statistical analysis: a proposal for the detection of seed oil adulteration in virgin olive oils. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 51, p. 5715–5722, 2003.

WANG, Y.; TANG, H.; HOLMES, E.; LINDON, J.C.; TURINI, M.E.; SPRENGER, N.; BERGONZELLI, G.; FAY, L.B.; KOCHHAR, S.; NICHOLSON J,K. Biochemical characterization of rat intestine development using high-resolution magic-angle-spinning ^{1}H NMR spectroscopy and multivariate data analysis. **Journal of Proteome Research**, Washington, v. 4, p. 1324–1329, 2005.

4 ANÁLISE ENERGÉTICA DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DO PINHÃO-MANSO IRRIGADO E SEM IRRIGAÇÃO EM PIRACICABA, SÃO PAULO

Resumo

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) é uma oleaginosa com capacidade de se adaptar a condições edafoclimáticas variáveis. Esta planta adquiriu prestígio pois apresenta elevado teor de óleo em suas sementes em relação as demais oleaginosas, destacando-se como alternativa para a produção de biodiesel. O experimento de onde foram coletados os dados utilizados no presente trabalho foi realizado na Fazenda Areão, ESALQ/USP, no município de Piracicaba – SP, o qual foi instalado em 2011. O objetivo deste trabalho foi realizar a análise energética do cultivo de pinhão-manso irrigado por pivô central e sem irrigação, por meio do balanço e da viabilidade energética. Determinou-se o fluxo de materiais, a partir do qual foi obtido o fluxo de energia, e os indicadores balanço energético (BE) e retorno sobre o investimento de energia (EROI) em ambos os sistemas. Os fertilizantes representaram o maior dispêndio de energia (42,57 GJ ha^{-1}) para os dois sistemas estudados, seguido dos combustíveis (32,96 GJ ha^{-1}). A área irrigada consumiu 100,4 GJ ha^{-1}, sendo 16% resultado do acionamento do pivô central. A energia bruta dos frutos de pinhão-manso foi de 69,82 e 45,31 GJ ha^{-1} para o sistema irrigado e o sem irrigação, respectivamente. O BE para as duas áreas foi negativo e o EROI foi de 0,63 para a área irrigada e 0,49 para a área sem irrigação, evidenciando a ineficiência e a não sustentabilidade do cultivo de pinhão-manso para geração de energia nas condições deste estudo.

Palavras-chave: Viabilidade energética; Balanço energético; Sustentabilidade; Fluxo de energia

Abstract

Jatropha (*Jatropha curcas* L.) is an oilseed plant with a capacity to adapt to different climate and soil conditions. This plant have obtained prestige because it has high oil content in its seeds in comparison with others oilseeds, standing out as an alternative for the biodiesel production. The experiment where conducted at Areão Farm, ESALQ/USP, in Piracicaba SP. The objective of this study was determine the energy analysis of Jatropha from irrigated and rainfed condition. It was determined the materials flows, so that it was obtained the energy flow for the energy balance indicators (EB) and energy return over investment (EROI) in both systems. Fertilizers have had the highest energy consumption (42.6 GJ ha^{-1}) for both systems studied, followed by fuel (32.9 GJ ha^{-1}). The irrigated area have consumed 100.4 GJ ha^{-1}, which 16% is a result of the center pivot usage. The gross energy of jatropha fruits was 69.8 and 45.3 GJ ha^{-1} for irrigated and rainfed, respectively. The negative values of EB for both water management and EROI, with 0.63 and 0.49 for irrigated and rainfed, respectively, have showed the inefficiency and unsustainability of jatropha cultivation on energy generation.

Keywords: Energy feasibility; Energy balance; Sustainability; Energy Flow

4.1 Introdução

A necessidade da utilização de energia nas atividades humanas faz com que grandes quantidades de matéria prima sejam consumidas diariamente. Boa parte desse produto é proveniente de fontes não renováveis como, por exemplo, o petróleo. Porém, apesar de constituir uma cadeia energética bem estabelecida, sua exploração e utilização vem causando impactos em solos, águas superficiais e subterrâneas e aos ecossistemas (RICHTER; KREITLER, 1993; KHARAKA; HANOR, 2003; KHARAKA; DORSEY, 2005).

Conforme os danos ambientais decorrentes da queima de combustível fóssil foram se intensificando nos últimos anos, houve uma maior preocupação em utilizar fontes de energia que fossem mais limpas e renováveis (KOHLHEPP, 2010). Aliado a isso, a utilização pouco eficiente dos combustíveis fósseis, bem como a distribuição irregular das reservas mundiais de petróleo tem tornando mais urgente a necessidade de substituição dessas fontes de energia por biocombustíveis como biodiesel e álcool (PALACIO et al., 2012). Foi nesse contexto que o óleo vegetal para a produção de biodiesel alavancou pesquisas com diversas culturas oleaginosas, como soja (FERRARI; OLIVEIRA; SCABIO, 2005; PIMENTEL; PATZEK, 2005), mamona (SREENIVAS; MAMILLA; SEKHAR, 2011), palma de óleo (AL-WIDYAN; AL-SHYOUKH, 2002), algodão (NABI; RAHMAN; AKHTER, 2009) e pinhão-manso (ACHTEN et al., 2008; LU et al., 2009) por exemplo. Segundo Atabani et al. (2012), o biodiesel é extremamente promissor devido à grande quantidade de matéria prima existente. Além de considerarem as culturas na categoria “não comestíveis” como as principais a serem exploradas para a produção de óleo para biodiesel, os autores também descrevem que ainda há a necessidade de se investir em pesquisas e em políticas de incentivo para que as tornem economicamente viáveis. A concorrência entre biocombustíveis e culturas alimentares por terra é considerada uma das causas do aumento do preço de alimentos básicos desde 2007 (SHORTALL, 2013).

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) é uma oleaginosa pertencente à família *Euphorbiaceae* com potencial energético, que apresenta características desejáveis como os altos rendimentos de grãos e óleo de qualidade para a produção de biodiesel, adaptabilidade a diferentes regiões, precocidade e longevidade, e teor de óleo nas sementes, variando de 32 a 50%, conforme o procedimento de extração

(ARRUDA et al., 2004; SATURNINO et al., 2005; SLUSZZ; MACHADO, 2011). Do mesmo modo, outras características vêm incentivando a popularização do pinhão-manso, tais como o fato de ser uma planta não comestível, além de não competir com a produção de alimentos (OPENSHAW, 2000;).

Segundo Openshaw (2000) e Arruda et al. (2004), o pinhão-manso é uma cultura exigente em insolação, tolerante à seca e à baixa fertilidade do solo, tornando-a viável em pequenas propriedades e em áreas degradadas. Brittaine e Lutaladio (2010) mencionam que o pinhão-manso pode ser produzido desde 30°N até 35°S, mostrando a abrangência e aptidão a diferentes classes de solos e climas. Apesar das plantas terem a habilidade de sobreviver em regiões com baixa precipitação anual (250 a 300 mm), é observado um melhor desenvolvimento em localidades onde a precipitação anual é de 1000 a 1500 mm (FACT, 2007).

Embora o uso do óleo de sementes de pinhão-manso como matéria-prima para produção de biocombustíveis venha sendo bem explorada, informações com relação a viabilidade econômica, social e energética dessa cultura ainda necessitam de especial atenção. A determinação da viabilidade energética é feita basicamente pela metodologia do fluxo de energia que, em um estudo mais aprofundado, é avaliado o balanço energético. Segundo Stanhill (1984), a compreensão sobre esse fluxo possibilita encontrar medidas que aumentem a viabilidade do sistema de produção. O balanço energético é um dos principais aspectos na seleção da matéria-prima para produção de um combustível alternativo, e se refere-se diretamente à relação do resultado favorável entre a energia consumida no decorrer da cadeia produtiva do combustível e a energia a produzida pelo mesmo (FEROLDI; CREMONEZ; ESTEVAM, 2014).

No fluxo de energia são consideradas as entradas e saídas de energia no sistema analisado. A energia de entrada pode ser descrita como direta e indireta. A energia direta é proveniente basicamente da energia elétrica e de combustíveis. Por outro lado, a energia indireta, também conhecida como energia incorporada, é proveniente dos insumos como maquinário, fertilizantes, defensivos, sementes e demais insumos empregados no processo de produção (SOUZA; MILANEZ, 1990). No caso da energia incorporada, a quantidade de energia utilizada pode ser determinada por índices pré-estabelecidos, em que sua determinação pode ser realizada pela multiplicação da quantidade do produto utilizado com o índice proposto (PIMENTEL, 1980).

Segundo Siqueira et al. (1999), o balanço energético de um sistema pode ser expresso pela diferença entre a quantidade de energia que sai do sistema (energia produzida) e a quantidade de energia que entra. A lucratividade energética ou retorno sobre o investimento de energia (*Energy Return Over Investment*- EROI) é um bom indicativo da rentabilidade energética de um sistema ou processo (ANDREA, 2013), podendo ser determinando pela razão entre a quantidade de energia de saída e a energia de entrada no sistema, sendo que quando maior que 1, denota que o sistema produz mais energia do que consome, comprovando a viabilidade energética do processo (ULGIATI, 2001; CAVALETT; ORTEGA, 2010).

A análise energética de sistemas agrícolas permite, entretanto, não apenas mensurar a energia inserida na obtenção de um produto agrícola, mas também a compreender os fluxos de energia que compõem esse sistema, a identificar pontos de desperdícios energéticos e componentes que podem ser substituídos por outros que gerem maior eficácia energética, ou seja, interferir no sistema no sentido de aprimorá-lo (SANTOS et al., 2000).

Apesar do crescente aumento nos estudos com a cultura do pinhão-manso no país, ainda são escassas as informações referentes à viabilidade energética do cultivo dessa oleaginosa, principalmente durante o período de estabilização da produção, que pode ocorrer a partir do quinto ano (FRIGO et al., 2008). Assim, de acordo com Frigo, Bueno e Esperancini (2008) são necessários estudos mais aprofundados, abrangendo este período estabilização e plena produção para uma avaliação mais específica.

Concomitantemente, ainda não é conhecida a real contribuição da irrigação no balanço energético, o que requer mais estudos nessa área de pesquisa. Na literatura brasileira, poucos trabalhos tem avaliado o efeito da irrigação no cultivo do pinhão-manso do ponto de vista energético. Como exemplos podem ser citados os estudos feitos por Frigo et al. (2008), que realiza análise energética do primeiro ano de cultivo do pinhão-manso em sistema irrigado por gotejamento, e Frigo et al. (2011), onde são contabilizados os custos energéticos do cultivo consorciado de pinhão-manso e milho conduzido sem irrigação e irrigado. Além desses, Diotto (2013), realizou um estudo dos componentes de produção da cultura do pinhão-manso no estado de São Paulo onde determinou a demanda de energia do sistema de produção dessa oleaginosa em sequeiro e em sistema irrigado por gotejamento e por pivô central. Este autor verificou que no sistema de produção irrigado por pivô

central e sem irrigação, as produtividades mínimas para se iniciar a viabilidade energética, foram de 4,3 e 1,5 Mg ha^{-1} ano^{-1}, respectivamente, demonstrando a influência da irrigação na energia de entrada de um sistema de produção. Como a irrigação é uma prática apontada como uma das principias consumidoras de energia nos sistemas agrícolas, sua racionalização deve ser empregada com objetivo de aumentar a eficiência energética (PELLIZZI, 1992; FRIGO; BUENO; ESPERANCINI, 2008).

Nesse sentido, o objetivo do estudo foi realizar o balanço energético da cultura do pinhão-manso irrigado por pivô central e sem irrigação na região de Piracicaba-SP, desde a sua implantação até o quarto ano de cultivo.

4.2 Material e Métodos

O estudo foi realizado utilizando os dados de um experimento instalado na área experimental da Fazenda Areão da ESALQ/USP na cidade de Piracicaba-SP, tendo como coordenadas geográficas aproximadas 22°41’58’’ de latitude Sul e 47°38’42’’ de longitude Oeste e cerca de 511 m de altitude. O solo do local é classificado como Nitossolo (EMBRAPA, 2006), apresentando textura argilosa na camada 0-40 cm e muito argilosa na camada 40-120 cm, com densidade média variando de 1,4 a 1,46 g cm^{-3} (FLUMIGNAN, 2011).

O clima de Piracicaba é considerado do tipo Cwa no sistema Köppen, denominado subtropical úmido conforme a classificação de Köppen. É caracterizado por grandes volumes de chuvas no verão e por estiagem no inverno. A temperatura média dos meses mais frios (entre junho e julho) encontra-se em torno de 17°C e nos mêses mais quentes (entre dezembro e janeiro) em torno de 24,8°C, com média anual de 21,6°C. A precipitação acumulada média é de 1.328 mm ano^{-1} (CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA - CEPAGRI, 2013).

A cultura do pinhão-manso foi implantada na área em dezembro de 2011, sendo que as mudas utilizadas no plantio foram cultivadas em casa de vegetação durante os meses de setembro a novembro do mesmo ano. Foi utilizado o espaçamento de 3 x 4 m, dispostas triangularmente. As áreas consideradas no estudo foram uma de 1 ha irrigada por pivô central e outra com 0,5 ha, a qual não recebeu irrigação. A irrigação foi realizada conforme a necessidade da cultura no

tratamento irrigado, recebendo uma quantidade de água equivalente a 100% da evapotranspiração da cultura, a qual foi determinada por meio de lisímetros pesagem instalados na área experimental (FLUMIGNAN, 2011; LENA, 2013).

Para análise energética do sistema estudado, foi determinado o fluxo de materiais segundo Romanelli e Milan (2005), sendo a princípio elaborado um diagrama sistêmico (ODUM, 1996) (Figura 4.1) do sistema analisado. Em seguida, considerou-se o fluxo de materiais dos insumos direta e indiretamente aplicados, que envolve a capacidade de campo operacional dos sistemas mecanizados, o consumo de combustível, a depreciação de maquinário e a mão de obra. Para isso foram utilizados dados levantados na própria área experimental desde a sua instalação em 2011 até o final do quarto ano de cultivo em 2015, além de dados coletados na literatura. Após a obtenção do fluxo de materiais aplicados, o fluxo de energia foi calculado multiplicando-se a quantidade de cada item utilizado por seu respectivo índice energético, conforme Pimentel (1980).

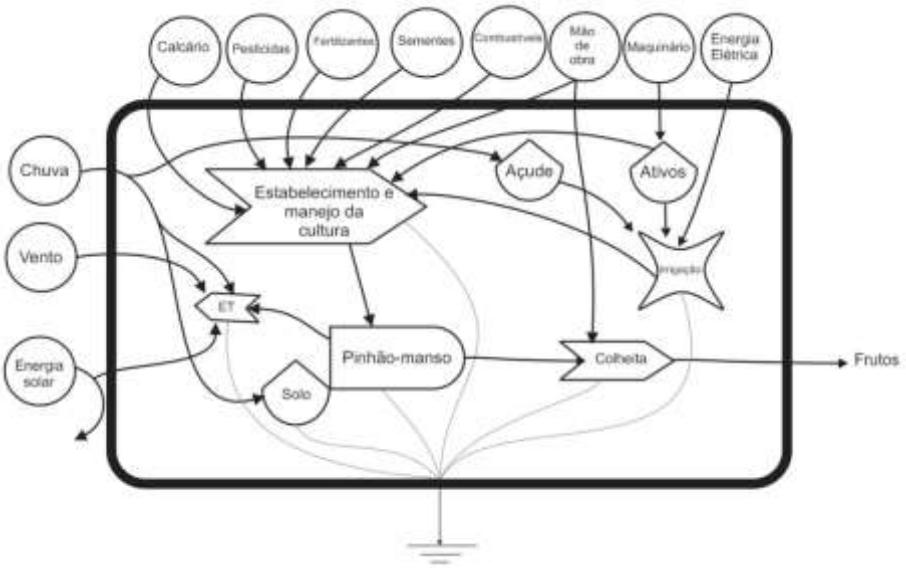

Figura 4.1 - Diagrama do sistema de produção de pinhão-manso

A energia de entrada do sistema de produção foi determinada pela quantidade total de material utilizado, sendo eles: defensivos químicos e fertilizantes; combustível (diesel e gasolina); energia proveniente da utilização do maquinário; implementos e sistema de irrigação; uso de energia direto de energia elétrica pelo acionamento da motobomba do sistema de irrigação.

O balanço de energia foi determinado de acordo com a eq. (1). O EROI foi calculado pela eq. (2).

$$BE = \sum ES - \sum EE \quad (1)$$

$$EROI = \frac{\sum ES}{\sum EE} \quad (2)$$

Em que:

BE – balanço de energia (MJ ha^{-1});

∑ ES – somatório da energia de saída (MJ ha^{-1});

∑ EE – somatório da energia de entrada (MJ ha^{-1}) e

EROI – *Energy Return Over Investment* (adimensional)

A energia incorporada total na implantação da cultura foi considerada como sendo 19.569,45 MJ ha^{-1}, conforme apresentado em Diotto (2013). No entanto, devido ao fato de que o pinhão-manso é uma cultura perene e que permanece em média 20 anos no campo, esse valor deve ser diluído anualmente, dessa forma, incorporação anual é de 978,47 MJ ha^{-1} ano^{-1}.

A energia proveniente dos maquinários e implementos foi calculada por meio da eq. (3) (MOLIN; MILAN, 2002). O índice de energia para máquinas e implementos foi considerado de 68,9 MJ kg^{-1} (ULBANERE, 1988), sendo considerado um trator de 3940 kg, potência de 55 kW e vida útil de 12000 horas. Foi considerada a vida útil dos pulverizadores como sendo 2000 horas e 1500 horas para a roçadeira e roçadeira costal, respectivamente. Para a utilização de gasolina na roçadeira costal, foi considerado um fator de energia de 34,78 MJ L^{-1}.

$$E_M = \frac{\left(\frac{M_m}{Vu_m} + \frac{M_i}{Vu_i}\right). H_m. IE_{mi}}{A_c} \quad (3)$$

Em que:

E_{mi} - energia proveniente de maquinário e implemento (MJ ha^{-1} ano^{-1});

M_m - massa da máquina envolvida na operação (kg);

Vu_m - vida útil da máquina envolvida na operação (h);

m_i - massa do implemento (kg);
Vu_i - vida útil do implemento (h);
Hm - número de horas máquinas gasto na operação durante o ano (h ano $^{-1}$);
IEmi - índice energético para máquinas e implementos (MJ kg^{-1}) e
Ac - área cultivada (ha).

O consumo energético pela utilização de combustível para cada operação agrícola foi determinado pelas eq. (4) e (5) (DIOTTO, 2013).

$$E_C = \frac{C_b \,.\, f_{cb} \,.\, H_m}{A_c} \quad (4)$$

$$C_b = Pot \,.\, f_{ce} \quad (5)$$

Em que:
E_c - energia proveniente do consumo de combustível (MJ ha^{-1} ano^{-1});
C_b - consumo horário de combustível (L h^{-1});
f_{cb} - fator de energia contida no combustível (38,55 MJ L^{-1}, ULBANERE, 1988);
H_m - número de horas gastos na operação durante o ano (h ano^{-1});
A_c - a área cultivada;
Pot - potência bruta do trator ou máquina motriz utilizada (kW) e
f_{ce} - fator de consumo específico por potência (0,163 L kW^{-1} h^{-1}, MOLIN; MILAN, 2002).

A energia contida nos insumos líquidos e sólidos foi determinada conforme as eq. (6) e (7) (ROMANELLI; MILAN, 2005). A adubação para satisfazer a demanda nutricional da cultura foi realizada de acordo com as recomendações de adubação propostas por FACT (2010), em três aplicações ao longo de cada ciclo produtivo. De acordo com a análise de solo da área, foi determinada a utilização do adubo NKP com formulação 12-6-12, utilizando ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio como fontes de NPK, respectivamente.

$$E_{il} = \left(\frac{ind_l \,.\, i_a \,.\, V_p}{V_a} \right).Q \quad (6)$$

$$E_{is} = Q_t \,.\, ind_s \quad (7)$$

Em que:

E_{il} - energia contida nos insumos líquidos (MJ ha^{-1} ano^{-1});

Ind_l - índice de energia contida nos insumos líquidos (MJ L^{-1});

i_a - concentração do princípio ativo (decimal);

V_p - volume do produto comercial aplicado no ano (L ano^{-1});

V_a - volume da calda (L);

Q - taxa de aplicação da calda (L ha^{-1});

E_{is} - energia contida nos insumos sólidos (MJ kg^{-1});

Q_t - quantidade de insumos sólidos aplicados (kg ha^{-1} ano^{-1}) e

ind_s - índice de energia contida nos insumos sólidos (MJ kg^{-1}).

Durante toda a condução da área do experimento, foram realizadas práticas de manejo cultural, englobando o controle fitossanitário de pragas, doenças e plantas infestantes como cigarrinha verde (*Empoasca* spp.) ácaro branco (*Polyphagotarsonemus latus* Banks), percevejo (*Pachoycoris* sp.); Oídio (*Oidium* sp.), ferrugem (*Phakospsora arthuriana* Buriticá & Hennen) e buva (*Conyza bonariensis*). O controle de plantas infestantes foi feito com aplicação do herbicida glifosato (48% m/v) 5 L ha^{-1} em uma taxa de aplicação de calda de 300 L ha^{-1}, utilizando um pulverizador de barras tratorizado com 12 m de comprimento e bicos leque 11002 espaçados em 0,50 m. Para o controle de pragas foram utilizados os inseticidas Engeo™ Pleno (tiametoxam 14,1% m/v) e Abamectin Nortox (abamectina 1,8% m/v) nas doses de 160 e 800 mL ha^{-1}, respectivamente, além dos fungicidas cercobin 500 SC (tiofanato-metílico 50% m/v) na dose de 800 g ha^{-1} e Priori Xtra® (Azoxistrobina 20% m/v + ciproconazol 8% m/v) com dose de 600 mL ha^{-1}.

Foram utilizados os índices de energia de 97,13 MJ kg^{-1} (PIMENTEL, 1980) para o Priori Xtra® e o Abamectin Nortox; 184,71 MJ kg^{-1} (PIMENTEL, 1980) para o cercobin e o Engeo™ Pleno; e 454,2 MJ kg^{-1} (FLUCK; BAIRD, 1982 apud ROMANELLI; MILAN, 2005) para o glifosato. Para os fertilizantes foram adotados os índices energéticos apresentados por Ferraro Júnior (1999) sendo 1,67 MJ kg^{-1} para o Theion, 78,04 MJ kg^{-1} para a ureia, 12,56 MJ kg^{-1} para o superfosfato simples e 7,19 MJ kg^{-1} para o KCl.

De acordo com Serra (1984), o gasto energético horário de um homem é de 2,2 MJ. O cálculo do gasto é dado pela eq. (8).

$$E_{MO} = \frac{H_m \cdot f_{MO}}{A_c} \quad (8)$$

Em que:

E_{MO} - energia proveniente da mão de obra (MJ ha^{-1});

H_m - número de horas trabalhadas durante o ano (h $homem^{-1}$);

f_{MO} - o fator de consumo energético pela mão de obra (MJ h^{-1} $homem^{-1}$) e

A_c - área cultiva (ha).

A energia elétrica consumida diretamente pelo acionamento das bombas de irrigação foi determinada pela eq. (9) (ROMANELLI; MILAN, 2005).

$$E_{irr} = \frac{f_{ee} \cdot Pot \cdot U_d \cdot ND}{A_i} \quad (9)$$

Em que:

E_{ir} - energia consumida pela irrigação com o acionamento elétrico (MJ ha^{-1} ano^{-1});

f_{ee} - fator de energia contida na energia elétrica (MJ kW^{-1} h^{-1});

Pot - potência nominal do motor (kW);

U_d - uso médio diário (h);

ND - número de dias utilizados durante o ciclo da cultura;

A_i - área irrigada (ha).

Vale ressaltar que a potência da bomba do pivô central foi estimada para uma área irrigada de 10 ha, em virtude das motobombas instaladas na área experimental apresentarem uma potência muito elevada para a área do experimento. Assim, a potência nominal do motor foi de 14,7 kW e considerado um fator de energia contida na energia elétrica de 11,8 MJ kW^{-1} h^{-1} (PIMENTEL, 1980).

A energia indireta incorporada pelo sistema de irrigação foi obtida pela eq. (10) (DIOTTO et al., 2014).

$$EI_{Piv} = \left[\left(\frac{251{,}36}{V_u}\right).A_i^{-0{,}501}\right] + \left\{\frac{\left[\left(0{,}75.Q_i + 0{,}0076\right).L_i\right]}{A_i}\right\} + 0{,}044.Pot \qquad (10)$$

Em que:

EI_{Piv} - energia contida no sistema de irrigação por pivô central (GJ ha $^{-1}$ ano $^{-1}$);

V_u - vida útil do sistema (anos);

A_i - área irrigada (ha)

Q_i - vazão do sistema (m³ s^{-1});

L_i - comprimento da adutora (m) e

Pot - potência da motobomba (kW);

Nesse caso, foi considerado uma área irrigada de 10 ha e vida útil de 20 anos para o pivô central, com vazão de 0,01 m³ s^{-1} e comprimento da adutora de 260 m.

A energia de saída do sistema foi determinada por meio da quantidade de frutos colhidos na área experimental para cada tratamento. Para isso, foram apenas consideradas as produções correspondentes ao segundo, terceiro e quarto anos de cultivo, sendo que no primeiro não houve produção, uma vez que as plantas se encontravam em estádio de crescimento vegetativo. As colheitas foram realizadas entre os meses de janeiro e junho dos anos de 2013 a 2015, quando os frutos estavam no estádio de maturação entre amarelo-marrom e marrom, considerado o ponto de colheita. Os frutos foram colhidos manualmente e dispostos para secar sobre lona plástica, na sombra e em local ventilado. Quando secos, os frutos foram pesados com o auxílio de uma balança com capacidade para 50 kg. Para a obtenção da energia de saída, a produtividade foi multiplicada pelo índice energético de 21,2 MJ kg^{-1} (GUNASEELAN, 2008) correspondente a um fruto de pinhão-manso seco (com 8% de umidade).

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Fluxo de Materiais

Os insumos foram agrupados e quantificados de acordo com sua utilização em unidade física por hectare a cada ano (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Fluxo de materiais dos insumos utilizados no sistema de produção estudado

Tipo	Insumo	Característica	Fluxo de materiais (unidade ha^{-1} ano^{-1})					
			Irrigado			Sem irrigação		
			Ano de cultivo					
			2°	3°	4°	2°	3°	4°
Direto	Combustível (L)	Diesel	161,4	381,4	117,4	161,4	381,4	117,4
		Gasolina	72	86,4	57,6	72	86,4	57,6
	En. Elétrica (kWh)		152,9	588				
	Mão de obra (h)		144	268	178	144	268	178
Indireto	Maquinário (kg)	Pulverizador	13,6	35,2	11,3	13,6	35,2	11,3
		Roçadeira	6,6	11,6	3,3	6,6	11,6	3,3
		Roç.costal	0,5	0,3	0,2	0,5	0,3	0,2
	Defensivos	PX (L)	1,2	4,8	1,2	1,2	4,8	1,2
		Ab (L)	1,1	3,2	1,1	1,1	3,2	1,1
		Gli (L)	30	50	20	30	50	20
		EnP (L)	0,3	0,8	0,3	0,3	0,8	0,3
		Cer	1,1	4	1,1	1,1	4,0	1,1
		Th	24	24	24	24	24	24
	Fertilizantes (kg)	N (Ureia)	75,5	153,0	229,0	75,5	153,0	229,0
		P (SS)	55	105	160	55	105	160
		K (KCl)	83,3	168	252	83,3	168	252

PX - Priori Xtra; Ab – Abamectin; Gli – Glifosato; EnP – Engeopleno; Cer – Cercobim; Th – Theion; SS – Superfosfato Simples

Ao longo dos três anos de cultivo analisados, o fluxo de materiais decorrente da utilização de maquinário, fertilizantes, defensivos, combustível e mão de obra foi diferente. No entanto, fazendo uma comparação entre o sistema irrigado e sem irrigação, o fluxo anual de materiais foi basicamente o mesmo. Isso ocorreu devido ao fato de as áreas receberem o mesmo manejo cultural.

Com relação ao consumo operacional do combustível, este insumo apresentou os maiores valores de material incorporado em relação aos demais insumos aplicados diretamente para o segundo e quarto anos de cultivo. A utilização do diesel representou 69 e 67%, respectivamente, do volume total de combustível utilizado para os anos acima citados e 81,5% para o terceiro ano. A quantidade de combustível usada no presente estudo foi maior do que o valor (44,9 L ha^{-1} ano^{-1}) apresentado por Andrea (2013) para a cultura do milho cultivado no Paraná.

O consumo de energia elétrica esteve condicionado exclusivamente a utilização do sistema de irrigação, representado pelo acionamento do pivô central. Nesse sentido, este item representou 28,8 e 44,4% do fluxo de materiais aplicados diretamente para o segundo e terceiro anos. O quarto ano de cultivo foi um ano

atípico e apresentou índices pluviométricos baixíssimos em grande parte do território brasileiro, especialmente na região sudeste, fazendo com que a utilização de água na agricultura irrigada e no abastecimento humano fossem prejudicados. Assim como em boa parte do Brasil, o município de Piracicaba também sofreu com a falta d'água durante o ano de 2014. Esse quadro negativo de precipitação afetou a capacidade de armazenamento de água do reservatório utilizado para captação de água pelo sistema de irrigação, não sendo possível a irrigação nesse período.

Em relação aos insumos aplicados indiretamente, a depreciação do maquinário apresentou variação entre os anos, sendo o terceiro ano o que exibiu o maior consumo em massa (47,3 kg ha^{-1}). Essa quantidade de massa é reflexo do maior número de operações realizadas durante este ano, representado principalmente pela necessidade de roçagens para controle de plantas daninhas bem como de mais pulverizações para controle de pragas e doenças que ocorreram na área experimental entre as meses de novembro de 2013 e abril de 2014.

De forma semelhante ao observado para maquinário, o consumo de defensivos (62,8 L ha^{-1} para os líquidos e 4 kg ha^{-1} para os sólidos) foi maior no terceiro ano, sendo que as operações para aplicação de pesticidas foram realizadas fazendo-se uso do maquinário (trator+pulverizador).

Os fertilizantes foram os insumos aplicados indiretamente com maiores porcentagens de incorporação de material, apresentando 81,4, 80,3 e 94,5% para o segundo, terceiro e quarto ano de cultivo, respectivamente em ambas as áreas. O valor encontrado para o quarto ano é resultado da maior utilização de fertilizantes para satisfazer a necessidade da cultura aliado ao menor emprego e consumo dos demais insumos.

4.3.2 Fluxo de Energia

A distribuição do consumo de energia para o sistema de cultivo do pinhão-manso irrigado e sem irrigação está apresentado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Fluxo de energia dos insumos utilizados no sistema de produção estudado

Insumo	Característica	Fluxo de energia (MJ ha^{-1})					
		Irrigado			Sem irrigação		
		Ano de cultivo					
		2°	3°	4°	2°	3°	4°
Combustível	Diesel	6220,8	14703,7	4524,2	6220,8	14703,7	4524,2
	Gasolina	2504,2	3005	2003,3	2504,2	3005	2003,3
En. Elétrica		1804	6938,4				
Mão de obra		288	536	356	288	536	356
Maquinário	Pulverizador	935,3	2421,9	780,5	935,3	2421,9	780,5
	Roçadeira	457,2	800,2	228,6	457,2	800,2	228,6
	Roç. costal	33,1	19,8	13,2	33,1	19,8	13,2
Defensivos	PX	32,6	130,5	32,6	32,6	130,5	32,6
	Ab	1,9	5,6	1,8	1,9	5,6	1,8
	Gli	1907,6	3179,4	1271,8	1907,6	3179,4	1271,8
	EnP	11,9	36,5	11,9	11,9	36,5	11,9
	Cer	137,1	517,2	137,1	137,1	517,2	137,1
	Th	40,1	40,1	40,1	40,1	40,1	40,1
Fertilizantes	N (Ureia)	5895,9	11940,1	17871,2	5895,9	11940,1	17871,2
	P (SS)	538,5	1028	1566,4	538,5	1028	1566,4
	K (KCl)	599,1	1207,9	1811,9	599,1	1207,9	1811,9
Sist. de irrigação		4444,2	4444,2				
Implantação		978,5	978,5	978,5	978,5	978,5	978,5

PX - Priori Xtra; Ab – Abamectin; Gli – Glifosato; EnP – Engeopleno; Cer – Cercobim; Th – Theion; SS – Superfosfato Simples

Na Figura 4.2, estão representadas a participação de cada insumo na energia de entrada total para as duas áreas estudadas. A maior demanda energética foi apresentada pelo uso de fertilizantes tanto para a área irrigada quanto para a área sem irrigação. Este resultado também foi observado por Melo et al. (2007), Gazzoni, Felici e Coronato (2007), Cherchetto, Siqueira e Gamero (2010), Jordan, Gomes e Biscaro (2012), Jordan et al. (2012) e Andrea (2013).

O dispêndio com fertilizantes foi de 42,57 GJ ha^{-1} para as duas áreas, representando 38,6 e 45,9%, para a área com e sem irrigação, respectivamente. O que pode justificar essa diferença é a contabilização da energia decorrente do uso da irrigação na área irrigada, fazendo com que a participação percentual dos fertilizantes nesse sistema seja menor. Queiróz (2014) relata que os fertilizantes foram responsáveis por 27,04 e 38,27% da demanda de energia na produção de sorgo sacarino irrigado e sem irrigação, respectivamente. Esses valores devem-se ao elevado índice energético na obtenção de ureia (cerca de 78 MJ kg^{-1}), que onera o consumo e a diferença entre as duas áreas não significa que uma necessitou de mais fertilizantes do que a outra, visto que a adubação foi a mesma em ambas as áreas. Jasper et al. (2010) encontrou que os fertilizantes contribuem com cerca de

44% na formação da eficiência energética do cultivo de crambe em plantio direto. Os autores colocam o nitrogênio como responsável por 55,53% desse consumo, justificado pelo elevado coeficiente energético desse elemento.

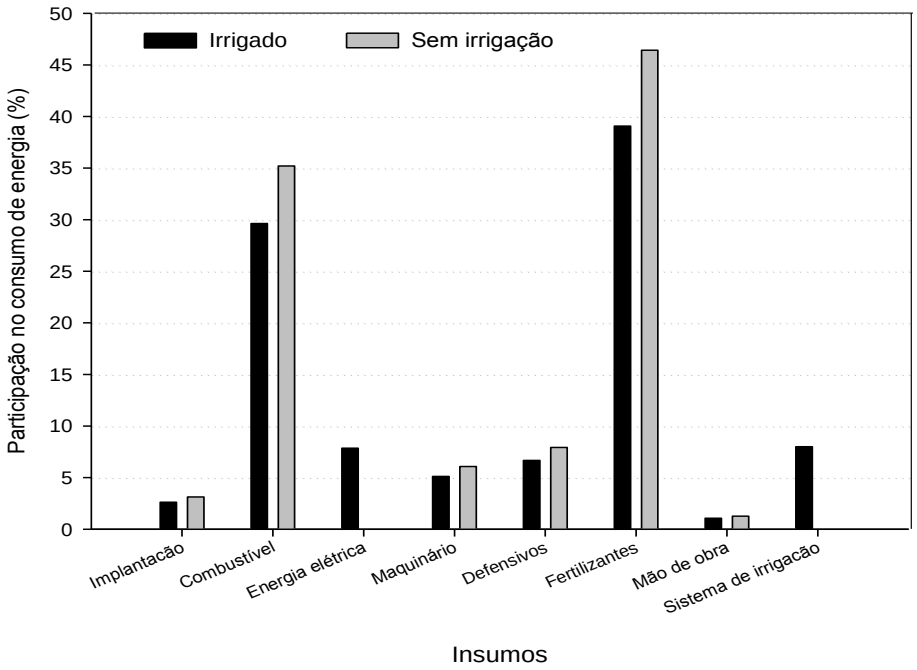

Figura 4.2 - Contribuição percentual dos insumos aplicados na produção de pinhão-manso no consumo energético.

Os combustíveis representaram a segunda maior demanda de energia para o sistema de cultivo do pinhão-manso. O mesmo foi verificado por Jordan, Gomes e Biscaro (2012), Jordan et al. (2012) e Andrea (2013). A participação energética do combustível foi de 32,96 GJ ha^{-1}, sendo 35,5% na área sem irrigação, equivalente a 5,6% a mais do que no sistema irrigado. Segundo Jordan et al. (2012) essa participação considerável do uso de combustíveis demonstra uma forte dependência de derivados de petróleo, a qual está presente em outras culturas destinadas à produção de biocombustíveis, como a cana-de-açúcar e a soja.

A área irrigada foi a que exibiu a maior utilização de energia (100,4 GJ ha^{-1}), em decorrência da utilização do sistema de irrigação. Esse comportamento também foi observado por Frigo et al. (2011) e Queiróz (2014). Segundo este último autor a alta demanda energética no tratamento irrigado se deve ao elevado consumo de energia elétrica da motobomba do sistema de irrigação. Do total de energia investida nessa área, 17,63 GJ ha^{-1} (16%) foi resultado do acionamento do pivô central no segundo e terceiro ano de cultivo. A energia elétrica e a energia incorporada pelo

uso indireto do sistema de irrigação participaram com 7,9 e 8,1% da energia total demandada nessa área. Gomes et al. (2013), em trabalho com feijão, observaram que mesmo nos tratamentos irrigados os insumos tiveram a maior participação na energia utilizada, apresentando um valor de 54% quando aplicada a maior lâmina de irrigação. Frigo et al. (2011) encontraram um valor de 9,02% de energia incorporada indiretamente por um sistema de irrigação por aspersão. Jordan, Gomes e Biscaro (2012) e Jordan et al. (2012) observaram um aumento no consumo de energia elétrico com o aumento da lâmina de irrigação no cultivo de mamona e cultivares de girassol.

Os defensivos tiveram participações de 6,7 e 8% do custo energético total para a área irrigada e sem irrigação, respectivamente. Estes valores estão próximos ao encontrado por Cherchetto, Siqueira e Gamero (2010) em experimento conduzido com a cultura da mamona. Frigo et al. (2011) encontraram 2,95 e 3,33% como participações dos defensivos (herbicida e inseticida) para o sistema de cultivo do pinhão-manso conduzido com e sem irrigação respectivamente.

Os custos energéticos decorrentes do uso do maquinário apresentaram comportamento semelhante ao dos defensivos. A parcela de participação do maquinário no dispêndio de energia total foi de 5,2% para área irrigada e 6,1% para a sem irrigação. Os valores encontrados nesse trabalho foram maiores do que os apresentados por Queiróz (2014), ao realizar o balanço energético da produção de sorgo irrigado (4%) e sem irrigação (3,08%). Valores ainda menores foram encontrados por Chechetto, Siqueira e Gamero (2010) na cultura da mamona para a produção de biodiesel, onda a participação do maquinário foi de 0,5%. Jasper et al. (2010) em análise energética da cultura do crambe em plantio direto, relata que as máquinas e implementos participaram com cerca de 1% do consumo total de energia. Segundo esses autores, a energia empregada devido ao uso de maquinários foi a segunda mais baixa dentre todos os itens utilizados. Andrea (2013) afirma que a menor participação do maquinário no consumo total de energia é devido à vida útil destes equipamentos, proporcionando que os mesmos sejam utilizados por vários anos em diversas operações.

As duas menores participações na demanda total de energia foram representadas pelas operações e materiais utilizados na implantação e pela mão de obra. A energia incorporada na implantação representou 2,7 e 3,2% para a área irrigada e para a sem irrigação, respectivamente. Com relação a mão de obra, esta

teve a menor contribuição em toda energia incorporada aos sistemas. Na área irrigada, a mão de obra contribuiu com 1,1% e na área que não recebeu irrigação a participação foi de 1,3% de energia de entrada total. Esses valores estão próximos aos encontrados por Assenheimer, Campos e Gonçalves Júnior (2009), Chechetto, Siqueira e Gamero (2010), Zambrzycki (2012) e Queiróz (2014), porém nestes trabalhos a participação da mão de obra não ultrapassou 1%.

Os valores encontrados para mão de obra nesse trabalho são decorrentes, principalmente, das diversas operações de roçagem manual realizadas com o auxílio de roçadeiras costais. Zambrzycki (2012) coloca em seu trabalho que o baixo consumo de energia oriundo da mão de obra faz relação direta com o dispêndio com energético pelo consumo de energia fóssil, ou seja, dando evidencias com relação ao grau de mecanização do sistema estudado.

Observou-se que o terceiro ano de cultivo foi o que apresentou a maior incorporação de energia em ambos os sistemas de condução da cultura. De forma semelhante ao fluxo de materiais, este ano foi caracterizado pela necessidade de um número maior de operações agrícolas as quais foram direcionadas ao controle de plantas infestantes e de pragas e doenças na área experimental, resultando numa maior necessidade de pesticidas bem como de maquinário para realização das pulverizações e roçagens. Isso refletiu no consecutivo maior investimento energético em relação aos demais anos. Verificou-se que, para todos os anos analisados, a energia indireta representou a maior fração na energia de entrada.

A diferença de energia incorporada entre o sistema irrigado e o sem irrigação para o segundo ano foi de 6,24 GJ ha^{-1}. Já para o terceiro ano a diferença foi de 11,38 GJ ha^{-1}. Essa diferença é reflexo da utilização da irrigação, ou seja, visto que ambas as área receberam os mesmos tratos culturais, a utilização da irrigação favoreceu a maior consumo de energia devido a energia indireta associada a utilização do pivô central, bem como a necessidade de energia elétrica para acionamento do sistema de irrigação. Em relação ao quarto ano, a entrada de energia foi a mesma para ambas as áreas, visto que a irrigação foi a principal causa de variação na incorporação entre as áreas, devido a diminuição nos índices pluviométricos na região onde o experimento foi conduzido e consequente suspensão das irrigações.

Para os três anos, a energia indireta representou mais da metade de toda a energia incorporada (Figura 4.3). É possível perceber que a demanda de energia

dos insumos aplicados indiretamente apresentaram maior importância em relação aos de uso indireto, representando mais de 50% da demanda total de energia para todos os anos em ambas as áreas.

Segundo alguns autores, a fase agrícola é a que possui mais destaque no consumo de energia (MACEDO; SEABRA; SILVA, 2008; CAVALETT; ORTEGA, 2010; PRUEKSAKORN et al., 2010) indicando a necessidade de melhorar o perfil energético dos sistemas por meio de uma melhor gestão das operações, como otimização do uso de fertilizantes e aumento da produtividade das culturas.

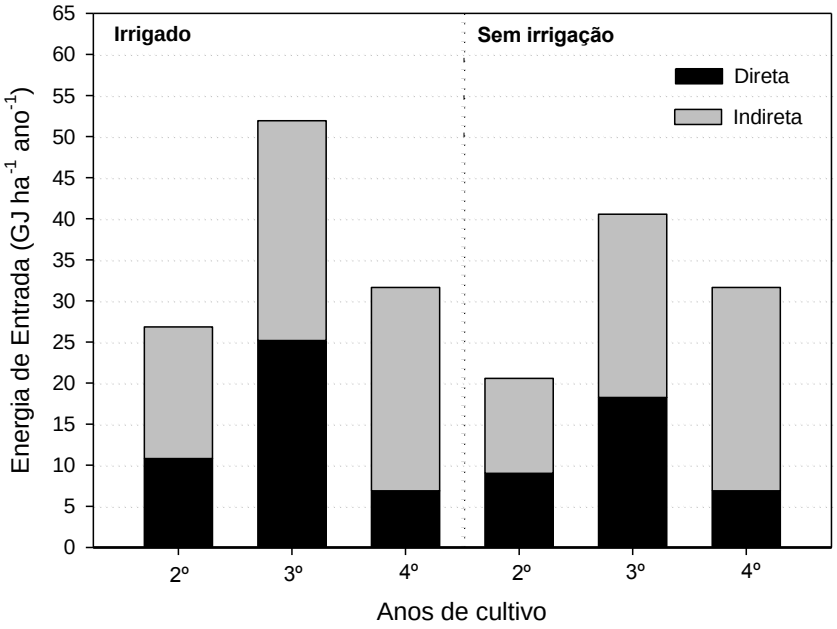

Figura 4.3 – Demanda de energia de entrada por ano para o cultivo de pinhão-manso irrigado e sem irrigação em Piracicaba, SP

A produtividade de frutos para os três anos da área irrigada foi de 3293,7 kg ha^{-1} e 2137,4 kg ha^{-1} para a área sem irrigação. Dessa forma, a energia bruta dos frutos de pinhão-manso, calculada a partir destes valores de produtividade, foram de 69,82 e 45,31 GJ ha^{-1} para o sistema irrigado e o sem irrigação, respectivamente (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 - Indicadores de eficiência energética no sistema de produção estudado

	Irrigado	Sem irrigação
Energia de entrada total (GJ ha^{-1})	110,04	92,76
Energia de saída total (GJ ha^{-1})	69,82	45,31
Balanço de energia (GJ ha^{-1})	-40,22	-47,45
EROI	0,63	0,49

Para todo o período estudado, o balanço energético foi negativo para ambas as áreas. A área irrigada apresentou balanço de -40,56 GJ ha^{-1} enquanto que na área sem irrigação foi de -47,44 GJ ha^{-1}.

Estes valores estão em contraste com os obtidos por Frigo et al. (2011) onde o balanço energético parcial do agroecossistema pinhão-manso-milho foi de 70,09 GJ ha^{-1} para o sistema irrigado e 67,18 GJ ha^{-1} para o sistema que não recebeu irrigação. Vale ressaltar que naquele estudo, foram considerados apenas como saídas culturais a energia bruta contida no milho, não sendo contabilizadas as saídas decorrentes da cultura perene, no caso o pinhão-manso.

Sangaletti (2012) obteve valores negativos para o balanço de energia na cadeia de produção de biodiesel quando a energia de saída de co-produtos não foi contabilizada, sendo que quando considerados, três dos cinco processos estudados apresentaram balanço positivo.

Frigo, Bueno e Esperancini (2008), em estudo com pinhão-manso sem irrigação obtiverem um balanço de 319,3 MJ ha^{-1}, o mesmo valor da energia bruta dos sistemas devido a este não se utilizarem de fontes não renováveis.

O EROI dos sistemas mostrou que a cultura do pinhão-manso irrigado e sem irrigação não apresentou rentabilidade energética. Isso pode estar associado a fatores como produtividade da cultura, bem como uma maior utilização de insumos no sistema produtivo. Aliado a isso, a não contabilização dos resíduos decorrentes do manejo cultural, como a madeira dos galhos podados, e de coprodutos por exemplo, podem ter contribuído para a menor eficiência energética dos sistemas estudados. Prueksakorn et al. (2010), relatam que o EROI de um cultivo de pinhão-manso de 20 anos sem podas anuais foi de 1,4, podendo essa valor chegar a 6 com a contabilização de coprodutos. Segundo Diotto (2013), para o cultivo de pinhão-manso são necessárias produtividades mínimas de frutos frescos de 4,27 Mg ha^{-1} e 1,5 Mg ha^{-1} para que se inicie a viabilidade energética para o sistema irrigado por pivô central e sem irrigação, respectivamente. Além disso, considerando a utilização de resíduos, esse autor ainda reporta que é possível reduzir as produtividades mínimas para 3,88 Mg ha^{-1} no sistema irrigado e para 1,37 Mg ha^{-1} sem irrigação. No presente trabalho o EROI da área irrigada foi de 0,63 e para a área em sequeiro esse índice foi de 0,49. Notou-se que o EROI do sistema irrigado neste trabalho foi superior a 0,36, valor encontrado por Frigo et al. (2008) em cultivo de pinhão-manso

irrigado por gotejamento no interior de São Paulo. Frigo, Bueno e Esperancini (2008) obtiveram um EROI de 0,25 em análise energética da implantação do pinhão-manso em sistema de sequeiro, valor inferior ao encontrado nesse trabalho. Os autores atribuem esse valor a produtividade do cultivo, visto que os dados de saída energética representada pelo produto final (sementes) foram baseados nos rendimentos do primeiro ano de colheita.

Porém, para Odum e Barret (2008), o EROI (o qual os autores se referem como eficiência cultural), quase que independe da produtividade obtida, sendo, em contrapartida, dependente do nível tecnológico que estão sendo utilizados os fertilizantes químicos, defensivos, operações, dentre outros insumos e atividades.

Gomes et al. (2013), em trabalho com feijão, observou que a irrigação promove viabilidade energética com aumentos no EROI (que os autores chamam balanço energético) em função das lâminas de irrigação. Jordan et al. (2012) encontrou que o EROI diminui com o aumento das lâminas de irrigação na cultura do girassol. Por outro lado, Frigo et al. (2008), não verificaram que houve grandes diferenças no EROI como resultado da utilização de irrigação. Queiróz (2014), trabalhou com quatro genótipos de sorgo sacarino, obteve valores de EROI entre 3,13 e 3,69 em tratamento irrigado e valores entre 2,19 e 2,94 no tratamento sem irrigação, concluindo que a irrigação proporcionou aumento na eficiência energética do sistema estudado.

Sato (2007) verificou que o sistema sem irrigação teve melhor desempenho energético em relação ao irrigado por não fazer uso de fontes não-renováveis como combustíveis, lubrificantes e graxas (produtos e subprodutos do petróleo). Zambrzycki (2012) encontrou EROI de 5,13 para um sistema de produção de soja no Tocantins. Schroll (1994) sugere como sustentável os EROI acima de dois.

4.4 Conclusões

O balanço energético para o cultivo de pinhão-manso manejado com e sem irrigação foi negativo, não podendo ser considerado sustentável quanto a geração de energia nas condições desse estudo.

O sistema irrigado apresentou maior demanda de energia, sendo que o diferencial energético em relação ao sistema sem irrigação esteve ligado ao

consumo de energia elétrica e a energia incorporada pelo uso indireto do sistema de irrigação.

Os fertilizantes foram os insumos que tiveram a maior participação na demanda energética de ambos os sistemas, seguido dos combustíveis.

Em relação à rentabilidade energética (EROI), ambos os sistemas se mostraram ineficientes.

Referências

ACHTEN, W.M.J.; VERCHOT, L.; FRANKEN, Y.J.; MATHIJS, E.; SINGH, V.P.; AERTS, R.; MUYS, B. Jatropha bio-diesel production and use. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 32, n. 12, p. 1063–1084, 2008.

AL-WIDYAN, M.I.; AL-SHYOUKHB, A.O. Experimental evaluation of the transesterification of waste palm oil into biodiesel. **Bioresource Technology**, Essex, v. 85, n. 3, p. 253–256, Dec. 2002

ANDREA, M.C.S. **Fluxos de energia em sistemas de produção de forragens**. 2013. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

ARRUDA, F.P.; BELTRÃO, N.E.M.; ANDRADE, A.P.; PEREIRA, W.E.; SEVERINO, L.S. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 789–799, jan./abr. 2004.

ASSENHEIMER, A.; CAMPOS, A.T.; GONÇALVES JÚNIOR, A.F.C. Análise energética de sistemas de produção de soja convencional e orgânica. **Ambiência**, Guarapuava, v. 5, p. 443–455, 2009.

ATABANI, A.E.; SILITONGA, A.S.; BRADRUDDIN, I.A.; MAHLIA, T.M.I.; MASJUKI, H.H.; MEKHILED, S. A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews.** Amsterdam, v. 16, n. 4, p. 2070–2093, 2012.

BRITTAINE, R.; LUTALADIO, N. ***Jatropha*****:** a smallholder bioenergy crop. Rome: FAO, 2010. 96 p. (Integrated Crop Management, 8).

CAMPOS, A.T.; SAGLIETTI, J.R.C.; CAMPOS, A.T.; BUENO. O.C. Análise energética na produção de feno de *Cynodon dactylon* (L.) Pers. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, p. 349–358, 2005.

CAVALETT, O.; ORTEGA, E. Integrated environmental assessment of biodiesel production from soybean in Brazil. **Journal of Cleaner Production.** Amsterdam, v. 18, p. 55–70, 2010.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA. **Clima dos municípios paulistas**. 2013. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_436.html>. Acesso em: 07 ago. 2014.

CHECHETTO, R.G.; SIQUEIRA, R.; GAMERO, C.A. Balanço energético para a produção de biodiesel pela cultura da mamona. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, p. 546–553, 2010.

DIOTTO, A.V. **Demanda de energia no sistema de produção do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.).** 2013. 100 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

DIOTTO, A.V.; FOLEGATTI, M.V.; DUARTE, S.N.; ROMANELLI, T.L. Embodied energy associated with the materials used in irrigation systems: drip and centre pivot. **Biosystems Engineering**, London, v. 121, p. 38–45, 2014.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FACT FOUNDATION. **Position paper on *Jatropha curcas***: state of the art, small and large scale project. Eindhoven, 2007. 4 p.

FEROLDI, M.; CREMONEZ, P.A.; ESTEVAM, A. Dendê: do cultivo da palma à produção de biodiesel. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v. 13, n. 5, p.3800–3808, dez. 2014.

FERRARI, R.A.; OLIVEIRA, V.S.; SCABIO, A. biodiesel de soja: taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 19–23, 2005.

FERRARO JÚNIOR, L.A. **Proposição de método de avaliação de sistemas de produção e de sustentabilidade**. 1999. 132 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

FLUMIGNAN, D.L. **Lisímetros de pesagem direta para o estudo do consumo hídrico do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.).** 2011. 200 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

FRIGO, M.S.; BUENO, O.C.; ESPERANCINI, M.S.T. Análise energética da cultura de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em sistema de sequeiro: estudo de caso. **Revista Energia na Agricultura,** Botucatu, v. 23, n. 1, p. 90–98, 2008.

FRIGO, M.S.; BUENO, O.C.; ESPERANCINI, M.S.T.; FRIGO, E.P.; KLAR, A.E. Análise energética do primeiro ano de cultivo do pinhão-manso em sistema irrigado por gotejamento. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 2, p. 261–271, 2008.

FRIGO, M.S.; FRIGO, E.P.; BUENO, O.C.; ESPERANCINI, M.S.T.; KLAR, A.E. Custos energéticos do agroecossistema pinhão-manso e milho: comparativo entre o sistema de condução sequeiro e o irrigado. **Revista Energia na Agricultura,** Botucatu, v. 26, n. 2, p. 87–102, 2011.

GAZZONI , D.L.; FELICI, P.H.N.; CORONATO, R.M.S. Balanço energético das culturas de soja e girassol para produção de biodiesel. **Revista Biodiesel**, Monte Alto, v. 2, n. 16, p. 26–28, maio 2007.

GOMES, E.P.; JORDAN, R.A.; MOTOMIYA, A.V.A.; PÁDUA, J.B.; BISCARO, G.A.; GEISENHOFF, L.O. Análise econômica e viabilidade energética da cultura do feijoeiro comum sob irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 8, p. 835–842, 2013.

GUNASEELAN, V.N. Biomass estimates, characteristics, biochemical methane potential, kinetics and energy flow from *Jatropha curcas* on dry lands. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 34, n. 4, p. 589–596, 2008.

JASPER, S.P.; BIAGGIONI, M.A.M.; SILVA, P.R.A.; SEKI, A.S; BUENO, O.C. Análise energética da cultura do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) produzida em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 395–403, maio/jun. 2010.

JORDAN, R.A.; GOMES, E.P.; BISCARO, G.A. Impact of irrigation on yield and energy balance of the production of oil and cake of two sunflower varieties. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 38, p. 1048–1057, 2012.

JORDAN, R.A.; GOMES, E.P.; BISCARO, G.A.; MOTOMIYA, A.V.A.; GEISENHOFF, L. Impacto energético da irrigação por gotejamento no cultivo de mamona. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, p. 375–382, 2012.

KHARAKA, Y.K.; DORSEY, N. Environmental issues of petroleum exploration and production: Introduction. **Environmental Geosciences**, Tulsa, v. 12, n. 2, p. 61–63, 2005.

KHARAKA, Y.K.; HANOR, J.S. Deep fluids in the continents: I. Sedimentary basins. **Treatise on Geochemistry**, Oxford, v. 5, p. 499–540, 2003.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos Avançados.** São Paulo, v. 24, n. 68, p. 223–253, 2010.

LENA, B.P. **Consumo hídrico do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) irrigado e sem irrigação na fase de formação**. 2013. 61p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

LU, H.; LIU, Y.; ZHOU, H.; YANG, Y.; CHEN, M.; LIANG, B. Production of biodiesel from *Jatropha curcas* L. oil. **Computers and Chemical Engineering**, New York, v. 33, n. 5, p. 1091–1096, May 2009.

MACEDO, I.C.; SEABRA, J.E.A.; SILVA, J.E.A.R. Greenhouse gas emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020. **Biomass and Bioenergy,** Oxford, v. 32, p. 582–595, 2008.

MELO, D.; PEREIRA, J.A.; SOUZA, E.G.; GABRIEL FILHO, A.; NÓBREGA, L.H.P.; PINHEIRO NETO, R. Balanço energético do sistema de produção de produção de soja e milho em uma propriedade agrícola do Oeste do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 2, p. 173–178, 2007.

MOLIN, J.P.; MILAN, M. Trator-implemento: dimensionamento,capacidade operacional e custo. In: GONÇALVES, J.L.M. (Ed.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais.** Piracicaba: IPEF, 2002. p. 409–436.

NABI, M.N.; RAHMAN, M.M.; AKHTER, M.S. Biodiesel from cotton seed oil and its effect on engine performance and exhaust emissions. **Applied Thermal Engineering**, Oxford, v. 29, p. 2265–2270, 2009.

ODUM, H.T. **Environmental accounting:** energy and environmental decision making. New York: John Wiley,1996. 370 p.

OPENSHAW, K. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 19, n. 1, p. 1–15, 2000.

PALACIO, J.C.E.; LORA, E.E.S.; VENTURINI, O.J.; OLMO, O.A. Biocombustíveis, meio ambiente, tecnologia e segurança alimentar. In: LORA, E.E.S.; VENTURINI, O.J. (Org.). **Biocombustíveis**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2012. v. 1, cap. 1, p. 1–46.

PELLIZZI, G. Use of energy and labour in Italian agriculture. **Journal of Agricultural Engineering Research,** New York, v. 52, n. 2, p. 111–119, 1992.

PIMENTEL, D. **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 1980. 475 p.

PIMENTEL, D.; PATZEK, T.W. Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower. **Natural Resources Research**, New York, v. 14, n. 1, p. 65–76, Mar. 2005.

PRUEKSAKORN, K.; GHEEWALA, S.H.; MALAKUL, P. BONNET, S. Energy analysis of *Jatropha* plantation systems for biodiesel production in Thailand. **Energy for Sustainable Development,** Bangalore, v. 14, p. 1–5, 2010.

QUEIRÓZ, M.V.B.M. **Balanço energético da produção de sorgo sacarino em cultivo irrigado e sequeiro**. 2014. 50 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2014.

ROMANELLI, T.L.; MILAN, M. Energy balance methodology and modeling of supplementary forage production for cattle in Brazil. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v. 62, n. 1, p. 1–7, 2005.

RICHTER, B.C.; KREITLER, C.W. **Geochemical techniques for identifying sources of ground-water salinization**. Boca Raton: CRC Press, 1993. 258 p.

SANGALETTI, N. **Transesterificação química e enzimática de miscela etanólica de óleo de soja**. 2012. 153 p. Tese (Doutorado em Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

SANTOS, H.O. dos; IGNACZAK, J.C.; LHAMBY, J.C.B.; BAIER, A.C. Conversão e balanço energético de sistemas de rotação de culturas para triticale, sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 43–48, 2000.

SATO, M. **Avaliação energética da implantação da cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) destinada à produção de sementes: estudo de caso**. 2007. 114 p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2007.

SATURNINO, H.M.; PACHECO, D.D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N.P. Cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 44–78, 2005.

SCHROLL, H. Energy-flow and ecological sustainability in Danish agriculture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 51, n. 3, p. 301-310, 1994.

SERRA, G.E.; MOREIRA, J.R.; GOLDEMBERG, J. **Avaliação energética investida na fase agrícola de algumas culturas**. Brasília: Secretaria de Tecnologia Industrial, 1984. 86 p.

SHORTALL, O.K. Marginal land for energy crops: exploring definitions and embedded assumptions. **Energy Policy**, Surrey, v. 62, p. 19–27, 2013.

SLUSZZ, T.; MACHADO, J.A.D. Culturas matérias-primas para biodiesel e o potencial de adoção pela agricultura familiar nas diferentes regiões brasileiras. In: PICHLER, N.A.; PADILHA, A.C.M.; ROCHA, J.M. (Org.). **Biodiesel**. Jaguarão: UNIPAMPA, 2011. p. 161–182.

SREENIVAS, P.; MAMILLA, V.R.; SEKHAR, K.C. Development of biodiesel from castor oil. **International Journal of Energy Science**, Terre Haute, v. 1, n. 3, p. 192–197, 2011.

STANHILL, G. **Energy and agriculture**. Berlin: Springer, 1984. 192 p.

ULBANERE, R.C. **Análise dos balanços energético e econômico relativa à produção e perda de grãos de milho no Estado de São Paulo**. 1988. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 1988.

ULGIATI, S. A comprehensive energy and economic assessment of biofuels: when “green” is not enough. **Critical Reviews in Plant Sciences**, London, v. 20, n. 1, p. 71–106, 2001.

ZAMBRZYCKI, G.C. **Fluxos de energia de um sistema de produção de soja no Tocantins**. 2012. 98 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.