UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
UNESP | BOTUCATU

GOLBERY RUDOLF OLIVEIRA RODRIGUEIRO

MODELAGEM *NEURO-FUZZY:* UTILIZAÇÃO DA BAGANA DE CARNAÚBA PARA OTIMIZAÇÃO DA IRRIGAÇÃO NA CULTURA DO COENTRO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Botucatu

2019

GOLBERY RUDOLF OLIVEIRA RODRIGUEIRO

MODELAGEM NEURO-*FUZZY*: UTILIZAÇÃO DA BAGANA DE CARNAÚBA PARA OTIMIZAÇÃO DA IRRIGAÇÃO NA CULTURA DO COENTRO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

Orientador: Prof. Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho
Coorientador Prof. Dr. Alexsandro Oliveira da Silva

Botucatu

2019

R696m

Rodrigueiro, Golbery Rudolf Oliveira

Modelagem neuro-fuzzy: utilização da bagana de carnaúba para otimização da irrigação na cultura do coentro no semiárido Brasileiro / Golbery Rudolf Oliveira Rodrigueiro. -- Botucatu, 2019

63 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu

Orientador: Luíz Roberto Almeida Gabriel Filho

Coorientador: Alexsandro Oliveira da Silva

1. Agronomia. 2. Eficiência do uso da água. 3. Regiões áridas. 4. Conjuntos difusos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: **"MODELAGEM NEURO-FUZZY PARA OTIMIZAÇÃO DO USO DA COBERTURA DA BAGANA DE CARNAÚBA E DA IRRIGAÇÃO NO CULTIVO DO COENTRO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO"**

AUTOR: GOLBERY RUDOLF OLIVEIRA RODRIGUEIRO
ORIENTADOR: LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO
COORIENTADOR: ALEXSANDRO OLIVEIRA DA SILVA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO
Coordenadoria do Curso de Administração / Faculdade de Ciências e Engenharia - UNESP - Tupã

Prof. Dr. SERGIO AUGUSTO RODRIGUES
Bioprocessos e Biotecnologia / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP

Daniel Viais Neto

Prof. Dr. DANIEL DOS SANTOS VIAIS NETO
Coordenadoria do Curso de Tecnologia em Agronegócio / Faculdade de Tecnologia de Presidente Prudente

Botucatu, 07 de outubro de 2019.

AGRADECIMENTOS

A Nossa Senhora, por sempre iluminar meus caminhos.

A minha mulher Josiane Turato da Silva Rodrigueiro, por ter me dado todo apoio e incentivo ao longo dessa jornada.

Aos meus pais, que são o pilar de toda minha vida, por me dar educação necessária para me tornar o que sou hoje.

Ao meu orientador Prof. Dr. Luís Roberto Gabriel Filho, (Beto), por todo apoio e orientação desde o início, e por abrir as portas da Pós-Graduação.

Ao meu Coorientador Prof. Dr. Alexandro Oliveira da Silva, por toda ajuda na pesquisa, da qual foi fundamental em mais esse degrau de minha jornada.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Cientifico e Tecnologia, pela concessão da bolsa.

Não acontece nada a ninguém que sua natureza não permita aguentar.

Maximus Decimos Meridius – O Gladiador

RESUMO

A utilização de cobertura vegetal morta no solo para diminuição da evapotranspiração, temperatura e quantidade aplicada em lâminas de irrigação é motivo de estudos e uma prática extensivamente recomendada, em particular em regiões semiáridas, contribuindo para a melhoria do desempenho das culturas e aumento na retenção de umidade do solo. Neste sentido, a redução do consumo de água pelas culturas, sem que estas tenham reduções em suas produções motivou este estudo, que avaliou o uso da bagana de carnaúba como opção de cobertura vegetal para a diminuição da evapotranspiração cultura do coentro (*Coriandrum sativum L*.). O experimento foi conduzido em uma área pertencente ao Prece (Programa de Educação em Células Cooperativas) localizada na comunidade do Cipó, no município de Pentecoste, Estado do Ceará, o delineamento realizado foi em blocos ao acaso com parcelas subdivididas sendo sua composição de quatro blocos, com cinco tratamentos primários e cinco tratamentos secundários, dispostos em subparcelas submetida a diferentes lâminas de irrigação (50%; 75%; 100%; 125% e 150%) baseado na evapotranspiração da cultura (ETc) e diferentes quantidades de cobertura morta usando a bagana de carnaúba. O experimento ocorreu em dois ciclos. Para avaliação à produtividade da cultura do coentro, foram desenvolvidos modelos matemáticos com o sistema de inferência adaptativo neuro-fuzzy (ANFIS), considerando duas variáveis de entrada (Lâminas de irrigação e Níveis de cobertura) e oito variáveis de saída (massa seca da parte aérea; massa seca da raiz; número de folhas; altura da planta) implementados no software MatLab no laboratório de Matemática Aplicada e computacional (LabMAC) pertencente a Faculdade de Ciências e Engenharia da UNESP (Campus Tupã). No primeiro ciclo os melhores resultados ocorreram próximos de 55% da lamina de irrigação aliado a uma faixa de 40% a 50% de níveis de cobertura morta, já no segundo ciclo, a consumo hídrico apresenta resultados mais satisfatórios variando de 50% a 80% das lâminas utilizadas, observa-se que a cobertura morta proporciona ganho produtivo para a maioria nas características agronômicas avaliadas para cultura do coentro orgânico, sendo de extrema importância essa técnica.

Palavras-chave: Neuro-*Fuzzy*. Bagana de Carnaúba. Lâminas de irrigação.

ABSTRACT

The use of mulch in the soil to decrease evapotranspiration, temperature, and quantity applied to irrigation depths is the subject of studies and an extensively recommended practice, particularly in semi-arid regions, contributing to the improvement of crop performance and increased retention of soil moisture. In this sense, the reduction of water consumption by crops, without these having reductions in their production, motivated this study, which evaluated the use of carnauba bagana as an option for vegetation cover to reduce the evapotranspiration of coriander (*Coriandrum sativum L.*). The experiment was carried out in an area belonging to CCEP (Cooperative Cell Education Program) located in the Cipó community, in the municipality of Pentecoste, State of Ceará. , with five primary treatments and five secondary treatments, arranged in subplots submitted to different irrigation depths (50%; 75%; 100%; 125% and 150%) based on crop evapotranspiration (ETc) and different amounts of mulch using the carnauba bagana. The experiment took place in two cycles. To evaluate the productivity of the coriander culture, mathematical models were developed with the adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS), considering two input variables (irrigation blades and cover levels) and eight output variables (dry mass of the part aerial; dry root mass; number of leaves; plant height) implemented in MatLab software in the Applied and Computational Mathematics Laboratory (LabMAC) belonging to the UNESP Faculty of Science and Engineering (Campus Tupã). In the first cycle, the best results occurred close to 55% of the irrigation blade combined with a range of 40% to 50% of mulch levels, in the second cycle, water consumption shows more satisfactory results ranging from 50% to 80% of the blades used, it is observed that mulch provides productive gain for most in the agronomic characteristics evaluated for the culture of organic coriander, this technique being extremely important.

Keywords: Neuro-*Fuzzy*. Carnauba straw. Irrigation levels.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Atributos físicos do solo da área do experimento. 23
Tabela 2: Atributos químicos do solo da área do experimento. 24
Tabela 3: Coeficiente da Cultura do Coentro (*Coriandrum sativum*). 27
Tabela 4: Definição de funções de pertinência das variáveis de entrada. 31
Tabela 5: Limites inferior e superior das variáveis de entrada e saída para ambos os ciclos. 36
Tabela 6: Regras do sistema neuro-*fuzzy* da forma $y = px1 + qx2 + r$ para as variáveis de saída 1, 2 e 3, com $x1$ e $x2$ sendo as variáveis de entrada 1 e 2, para o ciclo 1 37
Tabela 7: Regras do sistema neuro-*fuzzy* da forma $y = px1 + qx2 + r$ para as variáveis de saída 4, 5 e 6, com $x1$ e $x2$ sendo as variáveis de entrada 1 e 2, para o ciclo 1 38
Tabela 8: Regras do sistema neuro-*fuzzy* da forma $y = px1 + qx2 + r$ para as variáveis de saída 7, 8 e 9, com $x1$ e $x2$ sendo as variáveis de entrada 1 e 2, para o ciclo 1 39
Tabela 9: Regras do sistema neuro-*fuzzy* da forma $y = px1 + qx2 + r$ para as variáveis de saída 1, 2 e 3, com $x1$ e $x2$ sendo as variáveis de entrada 1 e 2, para o ciclo 2 40
Tabela 10: Regras do sistema neuro-*fuzzy* da forma $y = px1 + qx2 + r$ para as variáveis de saída 4, 5 e 6, com $x1$ e $x2$ sendo as variáveis de entrada 1 e 2, para o ciclo 2 41
Tabela 11: Regras do sistema neuro-*fuzzy* da forma $y = px1 + qx2 + r$ para as variáveis de saída 7, 8 e 9, com $x1$ e $x2$ sendo as variáveis de entrada 1 e 2, para o ciclo 2 42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:Detalhe da fita gotejadora nas entrelinhas da cultura do Coentro. 25
Figura 2: Detalhe da disposição da bagana de Carnaúba sobre o solo como cobertura vegetal morta. 25
Figura 3 - Croqui experimental da cultura do Coentro demonstrando os blocos de cada parcela e as subparcelas dentro de cada bloco. 26
Figura 4: Foto dos canteiros da cultura Coentro com ênfase nas linhas já previamente delimitadas. 26
Figura 5: Sistema *fuzzy* com grandezas de entradas e saídas..... 30
Figura 6: Função de pertinência Gaussianas das variáveis de entrada de lâminas de irrigação para cultura do Coentro 31
Figura 7- Função de pertinência Gaussianas das variáveis de entrada de níveis de cobertura para cultura do Coentro. 31
Figura 8: Arquitetura típica de um modelo *ANFIS* (BENINI, 2007). 33
Figura 9: Gráficos de Produtividade da cultura do Coentro avaliando as interações de Níveis de Cobertura Vegetal Morta X Lâminas de Irrigação X Produtividade (A- Ciclo 1) e (B - Ciclo 2)..... 43
Figura 10: Gráficos da cultura do Coentro avaliando as interações de Massa Seca Parte Aérea X Níveis de Cobertura X Lâmina de Irrigação (A- Ciclo 1) e (B - Ciclo 2). 45
Figura 11: Gráficos tridimensionais dos dados de correlação de Massa Seca Radicular X Lâminas de Irrigação X Níveis de Cobertura Vegetal (A- Ciclo 1) e (B - Ciclo 2)..... 46
Figura 12: Gráficos avaliando os resultados entre Altura (cm) X Lâminas de Irrigação X Níveis de Cobertura Vegetal Morta (A- Ciclo 1) e (B - Ciclo 2)..... 47
Figura 13: Gráficos de interação dos dados de Massa fresca da parte Aérea X Lâminas de Irrigação Níveis de Cobertura Morta (A- Ciclo 1) e (B - Ciclo 2)..... 48
Figura 14: Gráficos tridimensionais dos resultados de Número de Raiz X Níveis de Cobertura Vegetal Morta X Lâminas de Irrigação para a cultura do Coentro (A- Ciclo 1) e (B - Ciclo 2)..... 49
Figura 15: Gráficos dos resultados avaliados entre Cumprimento de Raiz X Lâminas de Irrigação X Níveis de Cobertura Vegetal Morta para Cultura do Coentro (A- Ciclo 1) e (B - Ciclo 2)..... 50

Figura 16: Gráficos dos resultados avaliados da Cultura do Coentro para os Níveis de Cobertura Vegetal X Lâminas de Irrigação X Massa Fresca Radicular (A- Ciclo 1) e (B - Ciclo 2) 51
Figura 17: Mapas de contorno das variáveis referentes ao Ciclo 1. 53
Figura 18: Mapas de contorno das variáveis referentes ao Ciclo 2. 54
Figura 19: Dendograma da variáveis do ciclo 1 da cultura do coentro com diferentes níveis de cobertura vegetal morta X Lâmina de irrigação 55
Figura 20: Dendograma das variáveis do ciclo 2 da cultura do coentro com diferentes níveis de cobertura vegetal morta X Lâmina de irrigação. 56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 19
2 OBJETIVOS 22
2.1 Objetivo geral 22
2.2 Objetivos Específicos: 22
3 MATERIAL E MÉTODOS 23
3.1 Local do experimento 23
3.2 Delineamento e implantação experimental 24
3.3 Características avaliadas 28
3.4 Métodos de modelagem matemática 28
3.5 Sistema ANFIS 32
4 RESULTADO E DISCUSSÃO 36
4.1 Resultados paramétricos do modelo neuro-*fuzzy* 36
4.2 Análise individual dos componentes produtivos da cultura do coentro 43
4.3 Análise conjunta das multivariaveis produtivas da cultura do Coentro 52
4.4 Análise através de dendograma das variáveis da cultura do Coentro .. 55
5 CONCLUSÃO 57
REFERÊNCIAS 59

1 INTRODUÇÃO

A utilização de cobertura vegetal morta no solo tem favorecido diversos fatores como: diminuição da evapotranspiração, temperatura e quantidade aplicada em lâminas de irrigação nas culturas implantadas com essa técnica, seu uso é uma prática extensivamente recomendada, em particular em regiões semiáridas, contribuindo para a melhoria do desempenho das culturas e aumento na retenção de umidade do solo (SOUZA et al., 2011).

Tais coberturas podem ser de materiais sintéticos ou orgânicos, que proporciona alguns benefícios para a agricultura, sendo eles uma maior proteção contra erosão, menor amplitude térmica, aumento da atividade microbiana, além da maior conservação de água e nutrientes (SAMPAIO; ARAUJO, 2001). Além da diminuição da evaporação, Silva et al. (2006) e Lyra et al. (2010), corroboram afirmando que, devido à deposição de materiais na cobertura do solo, principalmente na fase inicial da cultura, essa camada vegetal morta pode apresentar desvantagens, como impedir e até mesmo armazenar parte da água precipitada pela chuva ou irrigação, sendo posteriormente perdida por evaporação e não aproveitada pela cultura. Já Teófilo et.al. (2012), ressalta que a utilização dessas coberturas mortas mantem o solo mais úmido, menos aquecido, e reduz os efeitos das perdas hídricas por evapotranspiração, reduzindo assim os efeitos do déficit hídrico sob as cultura por ela utilizada, somado a essa adição de material orgânico ao solo, a mesma também atua contribuir para nutrição da planta conforme sua degradação natural.

A carnaubeira (*Copernicia prunifera*), é uma palmeira nativa do nordeste brasileiro que pode ser encontrada em todos os estados Brasileiros (JETTER & KUNST, 2008), seu principal produto é a cera de carnaúba cuja Brasil é o único país do mundo que produz e exporta esse produto, considerando a principal atividade econômica na exploração dessa palmeira (CARVALHO & GOMES, 2008; SOUZA, 2014).

Após a extração da cera, a carnaúba produz resíduos proveniente de suas folhas cuja matéria orgânica apresenta grande importância econômica, sendo um deles o uso como fertilizante orgânico, enriquecedor de substrato cuja função é de estruturar o solo proporcionando umidade as raízes, prolongando o tempo de disponibilidade hídrica, tendo-se conseguido sucesso no seu uso no favorecimento

de espécies da Caatinga (FERNANDES, 2012, GONÇALVES et al., 2012), fazendo com que se torne uma ótima utilização de camada vegetal morta.

O coentro (*Coriandrum sativum L.*), é uma hortaliça de amplo consumo e importância socioeconômica, tem ciclo curto (30 a 40 dias), garantindo retorno rápido do investimento, proporcionado um aumento de renda as famílias além de possibilitar a agricultura familiar. Desta forma, o coentro é considerado uma espécie de alcance social amplo, teve seu cultivo maximizado no território brasileiro, destacando as regiões Norte e Nordeste do Brasil. (LIRA et al., 2015). Seu cultivo é dado principalmente por agricultores familiares e médios agricultores das regiões Norte e Nordeste. O principal destino de sua produção é a massa verde para uso como especiarias (MACIEL et al., 2012).

Citando alguns interesses da cultura, Tavares (2016), relata que há grande benefício de suas propriedades em diversas esferas, tanto de massa vegetal, quanto dos frutos (sementes), desde a culinária até a composição de ácidos característicos na produção de combustíveis automotores, com isso eleva o seu potencial na indústria e no comércio. Zhang et al. (2014) complementa que o coentro tem sido muito aplicada na medicina tradicional, favorecendo para o tratamento de diversos distúrbios, como os gastrointestinais, ansiedade, perda de apetite, reumatismo, entre outras.

Ao se trabalha com a lógica clássica, obtêm-se o entendimento que há elementos pertencentes e não pertencentes aquele determinado conjunto, assim sendo, existe apenas o sim e o não (0 e 1), não podendo trabalhar com incertezas, oque na área agraria não se aplica, ao utilizarmos as técnicas da lógica *fuzzy*, ela permite uma flexibilidade nos intervalos de conjuntos aprimorando as soluções. (SILVA et al., 2013).

A fim de aprimoramos os modelos agrícolas, Nassif (2010) relata que esses dados são formados por um conjunto de algoritmos ordenados, que descreve processos físicos e fisiológicos, utilizado para determinar o crescimento, desenvolvimento e produção de uma cultura e ajudar na interpretação de dados experimentais, oferecendo possíveis resultados.

A modelagem dos dados experimentais com sistemas neuro-*fuzzy* permite uma rede neural e com método de inferência de Takagi-Sugeno, onde são criadas respostas superfícies regidas por funções matemáticas da forma $z = f(x, y)$. O

conjunto de sistema *fuzzy* foi inserido inicialmente por Lotfi Zadeh em 1965 através da teoria de conjuntos clássicos.

A fim de obter a maior conduta real possível dos dados estipulados, Araújo (2015) objetiva o cerne da lógica *fuzzy* a uma apresentação de função de pertinência a um sistema mais complexo onde existem incertezas.

Segundo Santos (2016), a lógica *fuzzy* possibilita investigar incertezas e recriar inúmeras possibilidades de respostas atreladas a um especialista de domínio do enredo da pesquisa revelara que não há limites para avaliar componentes por meio de variáveis analisadas.

Neste sentido, este trabalho visa realizar a modelagem matemática e computacional neuro-fuzzy dos resultados referentes ao efeito da bagana de carnaúba em sistema de produção no caso da cultura do coentro (Coriandrum sativum L.), quando submetida a diferentes lâminas de irrigação (100; 85; 70; 55; 40 e 25%) baseado na evapotranspiração da cultura (ETc) e diferentes quantidades de cobertura morta usando a bagana de carnaúba sem afetar negativamente a sua produção.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Frente à necessidade de pesquisas relacionadas a alternativas para redução do consumo de água pelas culturas, sem que estas tenham drásticas reduções em suas produções, objetivou-se avaliar o uso da bagana de carnaúba como opção de cobertura vegetal para a diminuição da evapotranspiração em hortaliças irrigadas em regiões semiáridas.

O objetivo do presente projeto é desenvolver modelos matemáticos e computacionais com o sistema de inferência adaptativo *neuro-fuzzy* (*ANFIS*) dos resultados relacionados à produtividade da cultura do coentro (*Coriandrum sativum L.*), submetida a diferentes lâminas de irrigação (50%; 75%; 100%; 125% e 150%) baseado na evapotranspiração da cultura (ETc) e diferentes quantidades de cobertura morta usando a bagana de carnaúba.

2.2 Objetivos Específicos:

Os objetivos específicos do presente estudo são:

- Realizar a modelagem *neuro-fuzzy* das variáveis de produtividade da cultura do coentro (*Coriandrum sativum L.)* submetida a diferentes lâminas de reposição de irrigação e diferentes quantidades de bagana de carnaúba;
- Interpretar conjuntamente a partir das superfícies tridimensionais e mapas de contorno obtidos no modelo de forma a tecer novas conclusões antes não observadas somente com análises estatísticas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido em uma área pertencente ao Prece (Programa de Educação em Células Cooperativas) localizada na comunidade do Cipó, no município de Pentecoste, Estado do Ceará, 39°12’46” de longitude e 03°55’20’’ de latitude, e 56 m de altitude. A região é caracterizada por um clima de acordo com a classificação de Koppen do tipo BSw’h’, quente e semiárido, com chuvas irregulares distribuídas de fevereiro a maio, precipitação pluviométrica média anual de 860 mm, evaporação de 1.475 mm, temperatura média anual em torno de 26,8°C e umidade relativa média do ar de 73,7%.

O solo tem como relevo razoavelmente plano, classificado como mineral não hidromórfico, (EMBRAPA, 2006) e textura franco arenosa, bem drenável, sem risco de salinidade e sodicidade. Os atributos físicos e químicos do solo encontram-se nas Tabela 1 e Tabela 2, respectivamente.

Tabela 1: Atributos físicos do solo da área do experimento.

Atributos físicos	**Profundidade (0 - 0,3m)**
Areia Grossa (g kg^{-1})	523
Areia Fina (g kg^{-1})	233
Silte (g kg^{-1})	133
Argila (g kg^{-1})	111
Argila Natural (g kg^{-1})	45
Classificação Textural	Franco Arenosa
Densidade do solo (g cm^{-3})	1,32
Densidade de partículas (g cm^{-3})	2,51

Fonte: Laboratório de solos/água - Funceme.

Tabela 2: Atributos químicos do solo da área do experimento.

Atributos químicos	**Profundidade (0 - 0,3m)**
Cálcio ($cmol_c kg^{-1}$)	10,30
Magnésio ($cmol_c kg^{-1}$)	7,90
Sódio ($cmol_c kg^{-1}$)	1,14
Potássio ($cmol_c kg^{-1}$)	9,00
Hidrogênio + Alumínio ($cmol_c kg^{-1}$)	0,00
Alumínio ($cmol_c kg^{-1}$)	0,00
Soma de bases ($cmol_c kg^{-1}$)	28,30
CTC ($cmol_c kg^{-1}$)	28,30
Saturação por base (%)	100
Relação C:N ($g\ kg^{-1}$)	11
Matéria Orgânica ($g\ kg^{-1}$)	39,20
Fósforo Assimilável ($mg\ kg^{-1}$)	290
pH em água (1:2,5)	7,4

Fonte: Laboratório de solos/água - Funceme.

3.2 Delineamento e implantação experimental

Para a condução do experimento do coentro (*Coriadium sativum*), utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso com parcelas subdivididas e composto de quatro blocos, com cinco tratamentos primários e cinco tratamentos secundários, dispostos nas subparcelas. As parcelas foram constituídas por lâminas de irrigação com 50%; 75%; 100%; 125% e 150% da evapotranspiração das culturas e irrigadas através de fita gotejadora (Figura 1) (ETc).

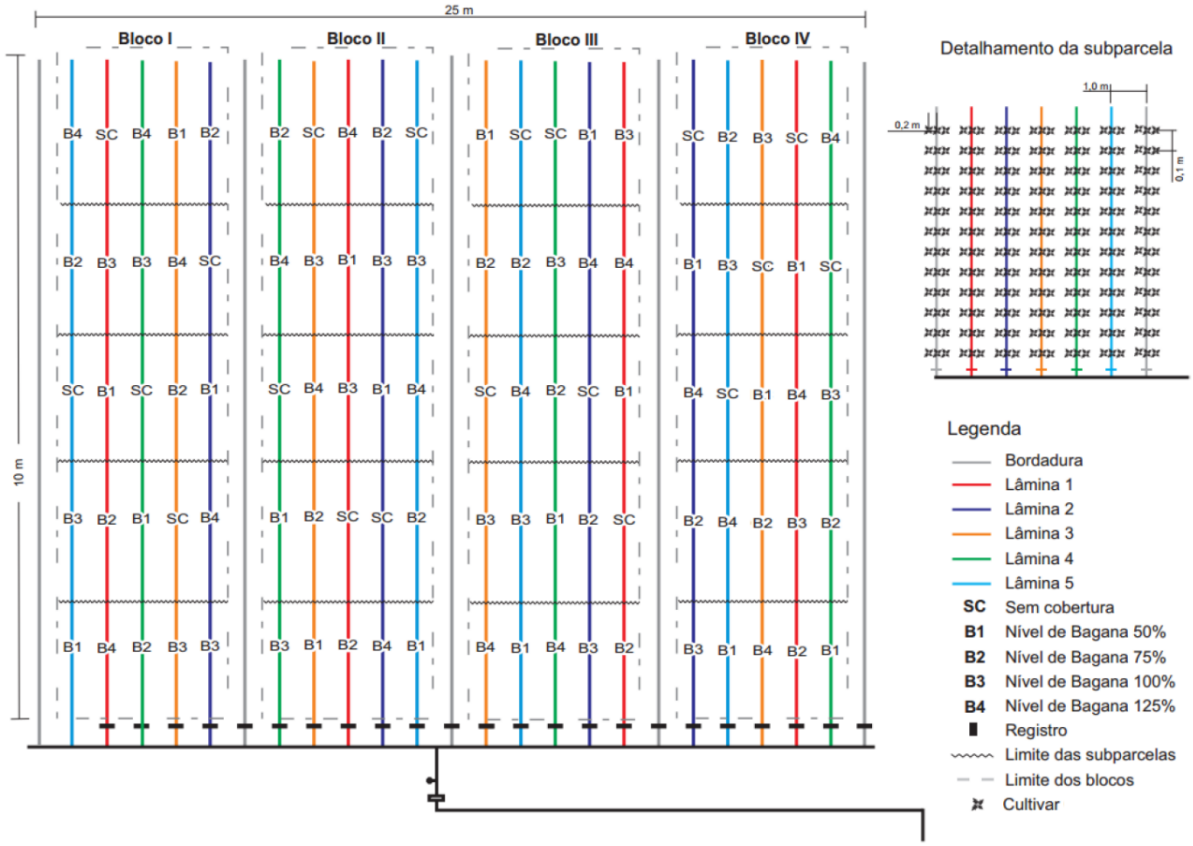
Figura 1:Detalhe da fita gotejadora nas entrelinhas da cultura do Coentro.

Já as subparcelas foram formadas com cinco diferentes níveis de cobertura de bagana (Figura 2): SC-Nível de bagana 0%; B1-Nível de bagana 25%; B2-Nível de bagana 50% ; B3-Nível de bagana 75% e B4-Nível de bagana 100%, vale ressaltar que o nível de 100% equivale a 16 t ha^{-1} (SOUSA et al., 2017).

Figura 2: Detalhe da disposição da bagana de Carnaúba sobre o solo como cobertura vegetal morta.

Cada parcela teve área de 10 m^2 (1,0 m x 10,0 m) e a subparcela área de 2,0 m^2 (1,0 m x 2,0 m) com 60 plantas, sendo considerada área útil as 10 plantas centrais. Foi utilizado o espaçamento de 0,1 m entre plantas e 0,2 m entre linhas, totalizando 100 parcelas experimentais, conforme detalhe do croqui na Figura 3.

Figura 3 - Croqui experimental da cultura do Coentro demonstrando os blocos de cada parcela e as subparcelas dentro de cada bloco.



O plantio do coentro foi semeado 17 de junho de (Ciclo 1) e 18 de agosto de 2018 (Ciclo 2) diretamente nas linhas de plantio de todos os canteiros, cada canteiro conta com 3 (três) linhas de plantio (Figura 4).

Figura 4: Foto dos canteiros da cultura Coentro com ênfase nas linhas já previamente delimitadas.

Após a germinação, ocorreu uma limpeza dos canteiros ao sétimo dia após o a semeadura as parcelas receberam cobertura morta de bagana conforme.

Ao 15º DAS foi efetuado aeração mecânica do solo e o amontoamento da cobertura vegetal morta, após esse processo foi aplicado a adubação de cobertura com biofertilizante previamente caracterizado físico-quimicamente na proporção de 1:5, cuja aplicação correspondeu a 500 ml por planta, em um intervalo de 7 em 7 DAS.

A irrigação fornecida para cultura do coentro foi estimada como base na evapotranspiração de referência (ETo), obtida através de um tanque classe “A”, onde eram realizadas diariamente leituras de evaporação, para a estimativa da ETo conforme a seguinte equação:

$$ETo = ECA \times Kp \quad (1)$$

em que:

- ETo: Evapotranspiração de referência (mm dia-1);
- ECA: Evaporação do tanque (mm dia-1);
- Kp: coeficiente do tanque classe “A”.

Para determinação da evapotranspiração da cultura (Tabela 3), foi utilizando o Kc contido em (DOORENBOS & PRUITT 1997) fracionando a lâmina aplicada de acordo com o tratamento conforme a seguinte equação:

$$ETc = ETo \times Kc \times f \quad (2)$$

em que:

- ETc: Evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1});
- ETo: Evapotranspiração de referência (mm dia^{-1});
- Kc: coeficiente da cultura;
- f: fração da lâmina a ser aplicada (50%; 75%; 100%; 125% e 150%).

Tabela 3: Coeficiente da Cultura do Coentro (*Coriandrum sativum*).

Estádios	**Kc**
Inicial	0,82
Desenvolvimento	1,03

Final	0,93

3.3 Características avaliadas

Para cultura do coentro, foram avaliadas as seguintes caraterísticas:

(1) Massa seca da parte aérea (MSPA) (g/planta);
(2) Massa seca da raiz (MSR) (g/planta);
(3) Número de Folhas;
(4) Altura da planta (cm);
(5) Massa fresca da parte aérea (MFPA) (g/planta);
(6) Número de Raiz;
(7) Comprimento da raiz (CR) (cm);
(8) Massa fresca da raiz (MFR) (g/planta);
(9) Produtividade (kg/ha).

As avaliações ocorreram aos 15° e 30° DAS em ambos os ciclos, foi utilizado uma balança de precisão de 0,01 g para verificação de pesagem, a colheita de folhas se deu através do método manual.

3.4 Métodos de modelagem matemática

Para a elaboração da modelagem, um controlador *fuzzy* composto por um modelador *fuzzy*ficador e um sistema de inferência a base de regras foi desenvolvido e realizado no laboratório de Matemática Aplicada e computacional (LabMAC) pertencente a Faculdade de Ciências e Engenharia da UNESP (Campus Tupã).Para sua criação, dos modelos matemáticos (ANFIS), os dados foram preparados em planilhas eletrônicas do Excel e exportados para o software MATLAB® 7.0 (MATHWORKS, 1995), com o objetivo de determinar os graus de pertinência e treinamento dos dados utilizou-se a ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox* do *software MATLAB*®, o programa possui licença para utilização acadêmica pela Faculdade de Ciências e Engenharia – FCE, UNESP, Campus de Tupã/SP

O modelo matemática criado para esse trabalho, foi desenvolvido com um esquema compondo todas características avaliada de entrada (2 características) e de saída (8 características), baseado nas regras desenvolvidas.

Para as variáveis de entradas, que são aquelas que revelam a linha de estudo da pesquisa, selecionadas como grandezas de influência direta nos resultados de saída para a cultura do coentro influenciando os aspectos agronômicos, possibilitando que a lógica *fuzzy*, trabalhe como uma grande interação entre os valores de entradas e saídas, possibilitando a melhor tomada de decisão.

Essas grandezas de entrada podem ter qualquer natureza (qualitativa, quantitativa ou mental), para as grandezas de entrada do sistema *fuzzy* são: lâminas de irrigação (LI) e níveis de cobertura (NC).

As Lâminas de irrigação (LI) são obtidas através da evapotranspiração da cultura, fracionadas depois nas lâminas propostas, com valores dados por:

- LI=0: lâminas com maior quantidade de água aplicada na cultura;
- LI=0,5: lâminas aplicadas com quantidades de água suficiente para a cultura produzir;
- LI=1: será a aplicação de lâminas com quantidade de água abaixo do que a cultura necessitar.

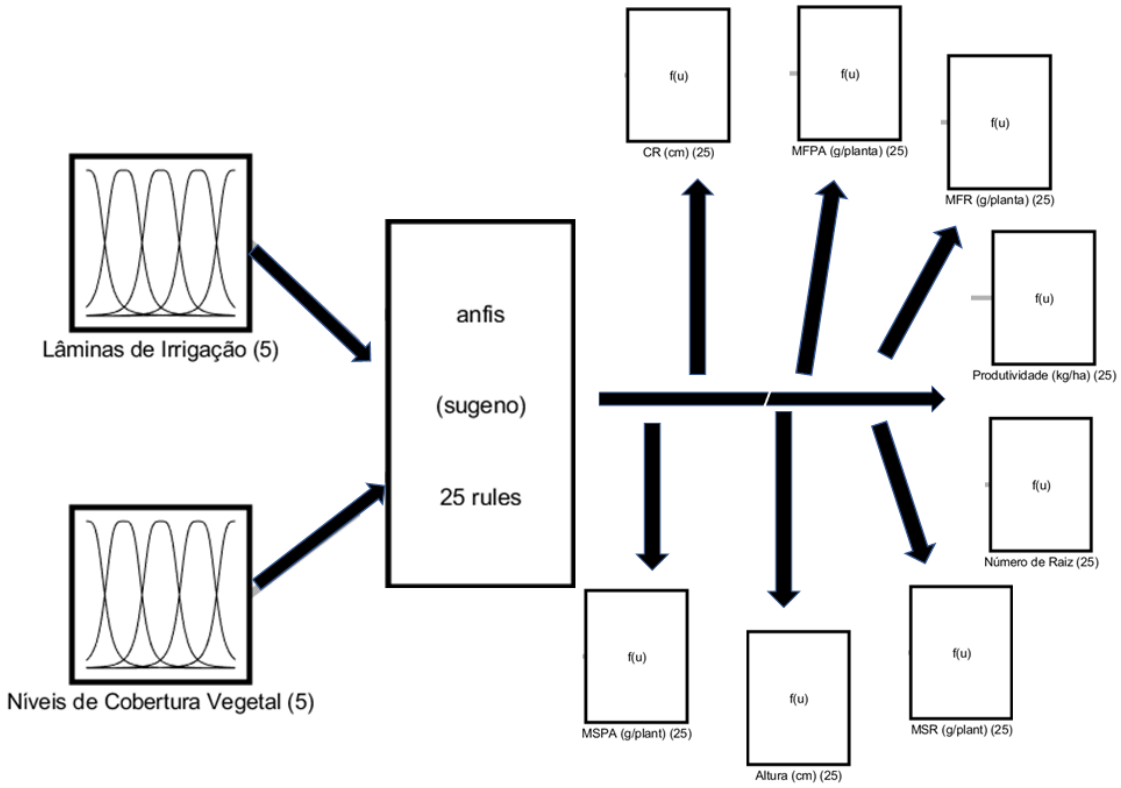
Os Níveis de cobertura (NC) são obtidos através do percentual depositado em cada canteiro como cobertura morta, visando proteção da evaporação das lâminas aplicadas, com valores dados por:

- NC=0: níveis de cobertura em excesso, promovendo um retardo na cultura e interferindo em sua produção;
- NC=0,5: níveis de cobertura média;
- NC=1: níveis de cobertura abaixo do necessário para que haja a finalidade de manter uma umidade no solo.

Para as variáveis de saída cada uma delas contará com uma interação de cinco possibilidades entra os dados de entrada, o sistema *fuzzy* valora cada interação independente gerando assim o ponto mais satisfatório para a produção de coentro atrelado a melhor economia de água através das lâminas de irrigação e níveis de cobertura que possam manter a umidade por mais tempo no solo retardando a evapotranspiração.

A elaboração da modelagem *fuzzy* representada na Figura 5 acontece admitindo as duas variáveis de entrada, passando pelo processo *fuzzy*ficador e resultando nas interações para cada variável de saída.

Figura 5: Sistema *fuzzy* com grandezas de entradas e saídas.



Para cada variável, foram definidas 10 funções de pertinência, interagindo com as variáveis de saída.

Para a construção das funções de pertinência das variáveis de entrada e saída foi utilizado para modelagem *Neuro-Fuzzy Designer* do *FuzzyLogic Toolbox*, do software MATLAB®.

Para a variável de entrada, a a Figura 6 apresenta funções de penitência na forma Gaussiana para os dados de “Lâmina de Irrigação” (Entrada 1), enquanto que para os “níveis de cobertura de bagana” (Entrada 2), a Figura 7, onde consideraram-se os conjuntos *fuzzy*, C1, C2, C3, C4 e C5 (Tabela 4).

Tabela 4: Definição de funções de pertinência das variáveis de entrada.

Variável	Conjunto *Fuzzy*	Delimitador 1	Delimitador 2	Delimitador 3
Lâmina de Irrigação	C1	12,5	2,0	50,0
	C2	12,5	2,0	75,0
	C3	12,5	2,0	100,0
	C4	12,5	2,0	125,0
	C5	12,5	2,0	150,0
Níveis de cobertura	C1	12,5	2,0	0,0
	C2	12,5	2,0	25,0
	C3	12,5	2,0	50,0
	C4	12,5	2,0	75,0
	C5	12,5	2,0	100,0

Figura 6: Função de pertinência Gaussianas das variáveis de entrada de lâminas de irrigação para cultura do Coentro

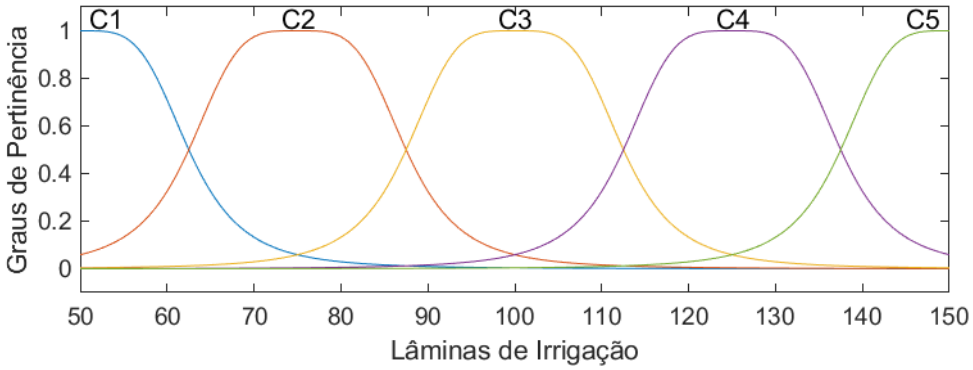
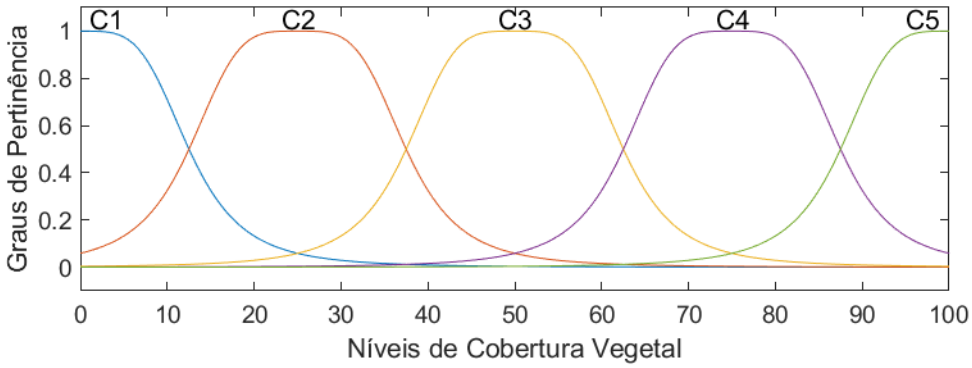


Figura 7- Função de pertinência Gaussianas das variáveis de entrada de níveis de cobertura para cultura do Coentro.



Já para a variável de entrada “Cultivar”, será considerado os conjuntos unitários, sendo as funções do tipo $crisp$, em que o grau de pertinência será obtido conforme a equação 3.

$$\mu_a(x) = \begin{cases} 1, sex = m \\ 0, casocontrário \end{cases} \quad (3)$$

Para a obtenção da base de regras do sistema *Fuzzy*, será utilizando o utilitário *Neuro-Fuzzy Designer* do *FuzzyLogic Toolbox*, do software MATLAB®.

Os modelos foram implementados no software MatLab®. Uma vez que o objetivo do modelo era buscar criar uma função de melhor ajuste aos dados existentes, foram utilizados a totalidade deles para a geração de tal função. Vale observar quer diversos autores, buscando criar modelos de previsão, utilizam cerca de 80% de dados aleatórios para a geração do modelo, e o testam com os 20% restante buscando verificar o seu desempenho. No caso dos presentes modelo deste trabalho, o foco não foi tecer previsões de futuras situações de ocorrência, mas sim obter o modelo com melhor ajuste possível, o que necessariamente, implica a utilização da totalidade dos dados, tal como modelos de regressão polinomial, que naturalmente também assim o fazem.

3.5 Sistema ANFIS

Nos sistema ANFIS (*Adaptative Network based Fuzzy Inference Systems)* cuja tradução se dá Sistema Adaptativo de Inferência Neuro-*Fuzzy*, o seu intendimento através de Syahputra (2017), tem como funcionalidade forma semelhante às redes neurais, é desenvolvida através do programa MatLab® esse método proporciona uma modelagem *fuzzy* que aprimora as informações sobre um dado conjunto, que pode ser usado para interpretar dados de entrada e saída para que mapeie funções de participação e parâmetros.

Segundo Benini (2007), os sistemas *fuzzy* proporcionam diferentes arquiteturas para o modelo *ANFIS*. Assim, o sistema de inferência *fuzzy* a ser construído será do tipo *Takagi-Sugeno*, sendo definido por um conjunto de regras da forma:

"se x é A e y é B, então z= f(x,y)"

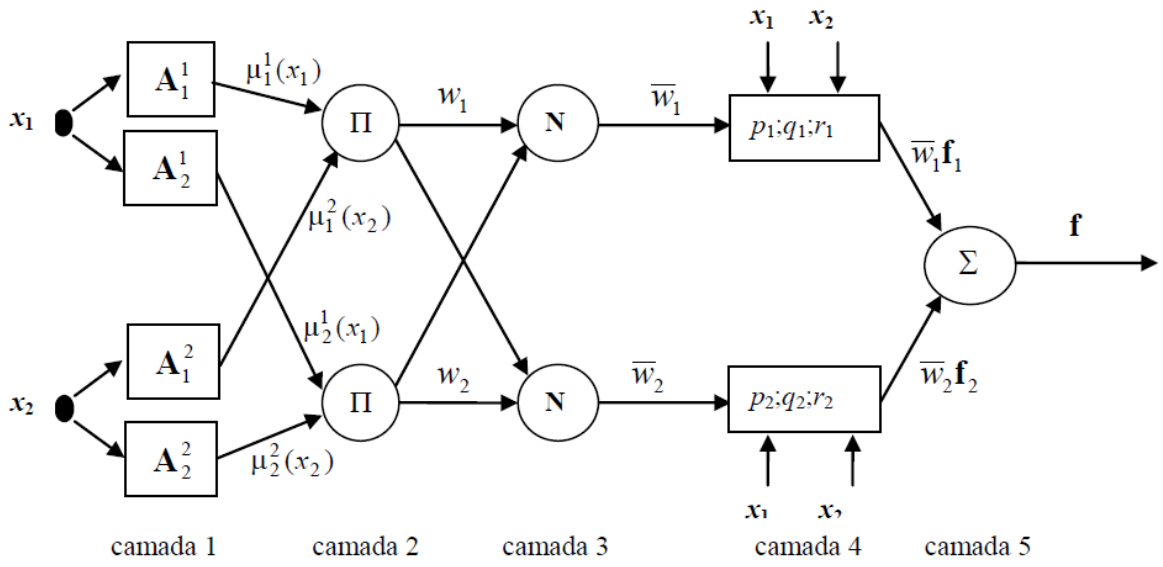
em que *x* e *y* são variáveis *fuzzy*, A e B são conjuntos *fuzzy* e *f* é uma combinação linear das variáveis de entradas.

Supondo que o sistema de controle *fuzzy* em consideração consiste em duas entradas de x_1e x_2 uma saída y, a base de regras contém duas regras *fuzzy* da seguinte forma (Figura 8):

"Regra 1: Se x_1*é* A_1^1*e* x_2 *é*A_2^1 *, então* $f_1 = p_1x_1 + q_1x_2 + r_1$*"*

"Regra 2: Se x_1 *é* A_1^2*e* x_2 *é*A_2^2 *, então* $f_2 = p_2x_1 + q_2x_2 + r_2$*"*

Figura 8: Arquitetura típica de um modelo *ANFIS* (BENINI, 2007).



Observa-se que a arquitetura do *ANFIS* é composta por 5 camadas. Os nós da camada 1 e 4 são adaptativos, sendo seus valores os parâmetros das partes antecedentes e consequentes da regra, respectivamente. Cada camada realiza um processo específico, descritos a seguir (BENINI, 2007) de acordo com cada camada.

Camada 1 (BENINI, 2007)**:** Nesta camada os nós são representados por:

$$O_i^j = \mu_i^j(x_i)$$

em que, i = 1,2 é o número de variáveis e j = 1,2 é o número de regras e sendo μ o grau de pertinência associada à variável de entrada.

Camada 2 (BENINI, 2007)**:** Os nós desta cama são não adaptativos, não apresentam parâmetros a serem ajustados e tem como saída $w_j = w_j(\mu_1^j, \mu_2^j)$, j = 1,2, que é o produto dos sinais de entrada de suas entradas. Cada saída w_j corresponde à intensidade de disparo de uma regra, ou seja, calcula com que grau de pertinência

o consequente da regra está sendo atendido. Os neurônios desta camada simbolizam a operação de T-norma e, em geral, se pode utilizar outro operador, em lugar do produto. Para regras que empregam o conectivo “e”, os operados mais usados são o “produto”, e o operador “mínimo”, tem-se que:

$$O_j^2 = w_j = \prod_{i=1}^{2} \mu_i^i = \mu_1^i x \mu_2^i = \min\left(\mu_1^i; \mu_2^i\right), \qquad j = 1,2.$$

Camada 3 (BENINI, 2007)**:** Nesta camada os nós não são adaptativos, assim a saída deste nó é definida por $\overline{w}_j = \overline{w}_j\left(\mu_1^j;\ \mu_2^j\right)$, sendo a razão entre a intensidade de disparo da j-ésima regra e a soma dos disparos de todas as outras regras. Dado por:

$$O_j^3 = \overline{w}_j = \frac{w_j}{\sum_{i=1}^{2} w^i} = \frac{w_j}{w_1 + w_2};\ \ j = 1,2$$

Camada 4 (BENINI, 2007)**:** Nesta camada os nós são adaptativos e seus parâmetros, $p_j, q_j, er_j, j = 1,2,$ correspondendo a parte do consequente de cada regra do modelo. As saídas são calculadas pelo produto entre os níveis. Assim a saída $f_j = f_j\left(\overline{w}_j, x_1, x_2, p_j,\ q_j, r_j\right),$ que corresponde a saída parcial da j-ésima regra, dada por:

$$O_j^4 = f_j = \overline{w}_j = (p_j x_1 + q_j x_2 + r_j)$$

em que, $\overline{w}_j,\ j = 1,2,$ é a saída da camada 3 e $\{p_j, q_j,\ r_j\}$ é o conjunto de parâmetros do consequente de cada regra.

Camada 5 (BENINI, 2007)**:** A camada é formada por apenas um único nó, não adaptativo. O nó desta última camada calcula a saída do sistema e, com os nós das camadas 3, promove a defuzzificação. A saída $f = f\left(f_{1,} f_{2,}\right)$, e a saída global do sistema é dada pela soma de todas as saídas parciais:

$$O_j^5 = f = \sum_{j=1}^{2} f_j$$

O método *ANFIS* utiliza duas técnicas na atualização de parâmetros (GHOUSH, 2008): o *back propagation* (gradiente descendente) e o híbrido.

A aprendizagem do treinamento híbrido do *ANFIS* que será utilizada neste estudo é a combinação dessas duas técnicas (GHOUSH et al., 2008):

- Para a aprendizagem dos parâmetros dos antecedentes utiliza-se o gradiente descendente da rede neural *back propagation* para refinar o erro;
- Para a aprendizagem dos parâmetros consequentes, que definem os coeficientes de cada equação de saída, usa-se o método dos mínimos quadrados para identificá-los.

O software que será utilizado para a elaboração do processador *fuzzy* será o sistema *Adaptative Network based Fuzzy Inference Systems* (*ANFIS*) pertencente ao *FuzzyLogic Toolbox* do *software* MATLAB® R2017a, para o treinamento e o teste dos dados coletados.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 Resultados paramétricos do modelo neuro-*fuzzy*

Esta seção contém os resultados dos parâmetros que caracterizam os modelos neuro-*fuzzy* desenvolvidos, para os dois ciclos da cultura, tais como os limites de cada variável (Tabela 5) e as regras que regem os modelos neuro-*fuzzy* para o ciclo 1 (Tabelas 6, 7 e 8) e para o ciclo 2 (Tabelas 9, 10 e 11).

Ademais, são mostrados os parâmetros relativos à validação do modelo frente à modelos de regressão polinomial múltipla de segundo grau.

Tabela 5: Limites inferior e superior das variáveis de entrada e saída para ambos os ciclos.

Variável		**Ciclo 1**		**Ciclo 2**	
		Limite inferior	**Limite superior**	**Limite inferior**	**Limite superior**
Entrada	1	50	150	50	150
	2	0	100	0	100
Saída	1	3,97	11,7	4,39	11,58
	2	1,42	7,7	3,36	6,18
	3	15	100	4	58
	4	16	61	16	37
	5	24,97	109,06	62	153
	6	15	100	14	47
	7	6	27	7	13
	8	2,16	21,38	44	54
	9	3209	12059	16650	82584

Tabela 6: Regras do sistema neuro-*fuzzy* da forma $y = px_1 + qx_2 + r$ para as variáveis de saída 1, 2 e 3, com x_1 e x_2 sendo as variáveis de entrada 1 e 2, para o ciclo 1.

Regra	**(1) Massa seca da parte aérea**			**(2) Massa seca da raiz**			**(3) Número de Folhas**		
	p	**q**	**r**	**p**	**q**	**r**	**p**	**q**	**r**
1	0,164	0,004	0,003	0,065	0,002	0,001	0,635	0,018	0,013
2	0,152	0,073	0,003	0,066	0,032	0,001	0,594	0,290	0,012
3	0,081	0,076	0,002	0,041	0,039	0,001	0,494	0,477	0,010
4	0,042	0,059	0,001	0,024	0,034	0,000	0,221	0,311	0,004
5	0,037	0,071	0,001	0,016	0,031	0,000	0,146	0,279	0,003
6	0,105	0,001	0,001	0,046	0,001	0,001	0,457	0,006	0,006
7	0,064	0,022	0,001	0,037	0,013	0,001	0,315	0,106	0,004
8	0,083	0,056	0,001	0,034	0,023	0,000	0,250	0,172	0,003
9	0,055	0,054	0,001	0,025	0,025	0,000	0,272	0,272	0,004
10	0,039	0,051	0,001	0,014	0,018	0,000	0,104	0,136	0,001
11	0,092	0,001	0,001	0,034	0,001	0,000	0,364	0,004	0,004
12	0,077	0,019	0,001	0,036	0,009	0,000	0,286	0,071	0,003
13	0,060	0,030	0,001	0,032	0,016	0,000	0,237	0,119	0,002
14	0,051	0,038	0,001	0,022	0,017	0,000	0,193	0,145	0,002
15	0,035	0,034	0,000	0,025	0,025	0,000	0,128	0,126	0,001
16	0,061	0,001	0,000	0,027	0,000	0,000	0,210	0,003	0,002
17	0,049	0,010	0,000	0,026	0,005	0,000	0,244	0,049	0,002
18	0,058	0,023	0,000	0,024	0,010	0,000	0,155	0,062	0,001
19	0,048	0,029	0,000	0,021	0,013	0,000	0,195	0,118	0,002
20	0,038	0,030	0,000	0,017	0,013	0,000	0,148	0,116	0,001
21	0,060	0,000	0,000	0,023	0,000	0,000	0,277	0,002	0,002
22	0,047	0,008	0,000	0,022	0,004	0,000	0,179	0,030	0,001
23	0,047	0,016	0,000	0,025	0,008	0,000	0,219	0,074	0,001
24	0,033	0,017	0,000	0,017	0,009	0,000	0,150	0,076	0,001
25	0,045	0,030	0,000	0,018	0,012	0,000	0,194	0,129	0,001

Tabela 7: Regras do sistema neuro-*fuzzy* da forma $y = px_1 + qx_2 + r$ para as variáveis de saída 4, 5 e 6, com x_1 e x_2 sendo as variáveis de entrada 1 e 2, para o ciclo 1.

Regra	(4) Altura da planta			(5) Massa fresca da parte aérea			(6) Número de Raiz		
	p	**q**	**r**	**p**	**q**	**r**	**p**	**q**	**r**
1	0,505	0,014	0,010	1,009	0,030	0,020	0,635	0,018	0,013
2	0,485	0,233	0,010	1,020	0,494	0,020	0,594	0,290	0,012
3	0,285	0,271	0,006	0,681	0,648	0,013	0,494	0,477	0,010
4	0,188	0,271	0,004	0,328	0,468	0,006	0,221	0,311	0,004
5	0,108	0,203	0,002	0,280	0,541	0,006	0,146	0,279	0,003
6	0,379	0,007	0,005	0,673	0,015	0,009	0,457	0,006	0,006
7	0,337	0,114	0,005	0,724	0,247	0,010	0,315	0,106	0,004
8	0,257	0,171	0,003	0,569	0,380	0,008	0,250	0,172	0,003
9	0,171	0,171	0,002	0,380	0,376	0,005	0,272	0,272	0,004
10	0,148	0,196	0,002	0,193	0,254	0,003	0,104	0,136	0,001
11	0,246	0,003	0,003	0,672	0,008	0,007	0,364	0,004	0,004
12	0,190	0,048	0,002	0,497	0,125	0,005	0,286	0,071	0,003
13	0,213	0,108	0,002	0,509	0,256	0,005	0,237	0,119	0,002
14	0,170	0,127	0,002	0,338	0,252	0,003	0,193	0,145	0,002
15	0,116	0,115	0,001	0,260	0,255	0,003	0,128	0,126	0,001
16	0,227	0,003	0,002	0,418	0,005	0,003	0,210	0,003	0,002
17	0,223	0,045	0,002	0,407	0,082	0,003	0,244	0,049	0,002
18	0,184	0,074	0,001	0,376	0,151	0,003	0,155	0,062	0,001
19	0,175	0,105	0,001	0,360	0,216	0,003	0,195	0,118	0,002
20	0,128	0,100	0,001	0,267	0,210	0,002	0,148	0,116	0,001
21	0,187	0,002	0,001	0,437	0,004	0,003	0,277	0,002	0,002
22	0,195	0,033	0,001	0,335	0,057	0,002	0,179	0,030	0,001
23	0,196	0,066	0,001	0,413	0,139	0,003	0,219	0,074	0,001
24	0,154	0,078	0,001	0,276	0,140	0,002	0,150	0,076	0,001
25	0,149	0,099	0,001	0,416	0,277	0,003	0,194	0,129	0,001

Tabela 8: Regras do sistema neuro-*fuzzy* da forma $y = px_1 + qx_2 + r$ para as variáveis de saída 7, 8 e 9, com x_1 e x_2 sendo as variáveis de entrada 1 e 2, para o ciclo 1.

Regra	**(7) Comprimento da raiz**			**(8) Massa fresca da raiz**			**(9) Produtividade**		
	p	**q**	**r**	**p**	**q**	**r**	**p**	**q**	**r**
1	0,233	0,005	0,005	0,142	0,004	0,003	115,1	3,30	2,27
2	0,162	0,076	0,003	0,122	0,059	0,002	114,2	55,37	2,25
3	0,109	0,103	0,002	0,110	0,106	0,002	79,10	75,50	1,56
4	0,072	0,105	0,001	0,058	0,083	0,001	38,69	55,03	0,76
5	0,054	0,104	0,001	0,038	0,073	0,001	31,81	61,40	0,63
6	0,182	0,004	0,003	0,093	0,002	0,001	76,67	1,63	1,05
7	0,184	0,061	0,002	0,077	0,026	0,001	80,11	27,32	1,10
8	0,116	0,076	0,002	0,075	0,051	0,001	64,52	43,08	0,88
9	0,055	0,054	0,001	0,036	0,036	0,000	41,75	41,20	0,56
10	0,056	0,074	0,001	0,026	0,034	0,000	21,86	28,78	0,30
11	0,096	0,002	0,001	0,081	0,001	0,001	75,42	0,91	0,77
12	0,092	0,024	0,001	0,099	0,025	0,001	59,69	15,03	0,61
13	0,076	0,039	0,001	0,067	0,033	0,001	57,78	28,98	0,59
14	0,081	0,061	0,001	0,050	0,037	0,000	38,82	28,89	0,39
15	0,067	0,067	0,001	0,045	0,044	0,000	30,47	29,93	0,31
16	0,079	0,001	0,001	0,057	0,001	0,000	47,61	0,57	0,39
17	0,083	0,017	0,001	0,059	0,012	0,000	46,62	9,46	0,38
18	0,079	0,032	0,001	0,047	0,019	0,000	42,33	17,07	0,34
19	0,065	0,039	0,001	0,046	0,028	0,000	40,58	24,35	0,33
20	0,053	0,042	0,000	0,034	0,027	0,000	30,19	23,67	0,24
21	0,075	0,001	0,001	0,058	0,000	0,000	49,51	0,40	0,33
22	0,105	0,018	0,001	0,046	0,008	0,000	38,14	6,48	0,26
23	0,093	0,031	0,001	0,057	0,019	0,000	47,10	15,82	0,32
24	0,071	0,036	0,000	0,039	0,020	0,000	31,45	15,94	0,21
25	0,070	0,047	0,000	0,057	0,038	0,000	47,44	31,54	0,32

Tabela 9: Regras do sistema neuro-*fuzzy* da forma $y = px_1 + qx_2 + r$ para as variáveis de saída 1, 2 e 3, com x_1 e x_2 sendo as variáveis de entrada 1 e 2, para o ciclo 2.

Regra	(1) Massa seca da parte aérea			(2) Massa seca da raiz			(3) Número de Folhas		
	p	q	r	p	q	r	p	q	r
1	0,150	0,004	0,003	0,075	0,002	0,001	0,599	0,014	0,012
2	0,131	0,063	0,003	0,077	0,037	0,002	0,483	0,227	0,009
3	0,080	0,075	0,002	0,045	0,043	0,001	0,222	0,207	0,004
4	0,052	0,075	0,001	0,025	0,035	0,000	0,168	0,242	0,003
5	0,035	0,066	0,001	0,018	0,034	0,000	0,134	0,256	0,003
6	0,095	0,002	0,001	0,064	0,001	0,001	0,504	0,008	0,007
7	0,110	0,037	0,001	0,046	0,015	0,001	0,414	0,138	0,006
8	0,079	0,052	0,001	0,037	0,025	0,001	0,303	0,199	0,004
9	0,049	0,049	0,001	0,028	0,028	0,000	0,167	0,165	0,002
10	0,040	0,052	0,001	0,018	0,024	0,000	0,179	0,236	0,002
11	0,075	0,001	0,001	0,039	0,001	0,000	0,329	0,004	0,003
12	0,071	0,018	0,001	0,037	0,009	0,000	0,280	0,070	0,003
13	0,059	0,030	0,001	0,029	0,015	0,000	0,216	0,108	0,002
14	0,051	0,038	0,001	0,027	0,021	0,000	0,172	0,128	0,002
15	0,037	0,037	0,000	0,018	0,018	0,000	0,154	0,153	0,002
16	0,058	0,001	0,000	0,030	0,000	0,000	0,186	0,002	0,002
17	0,058	0,012	0,000	0,032	0,007	0,000	0,168	0,034	0,001
18	0,053	0,021	0,000	0,031	0,012	0,000	0,172	0,070	0,001
19	0,033	0,020	0,000	0,025	0,015	0,000	0,200	0,120	0,002
20	0,043	0,034	0,000	0,020	0,016	0,000	0,138	0,108	0,001
21	0,052	0,001	0,000	0,029	0,000	0,000	0,190	0,002	0,001
22	0,051	0,009	0,000	0,029	0,005	0,000	0,175	0,030	0,001
23	0,035	0,012	0,000	0,024	0,008	0,000	0,194	0,065	0,001
24	0,031	0,015	0,000	0,021	0,011	0,000	0,159	0,080	0,001
25	0,031	0,021	0,000	0,018	0,012	0,000	0,131	0,087	0,001

Tabela 10: Regras do sistema neuro-*fuzzy* da forma $y = px_1 + qx_2 + r$ para as variáveis de saída 4, 5 e 6, com x_1 e x_2 sendo as variáveis de entrada 1 e 2, para o ciclo 2.

Regra	**(4) Altura da planta**			**(5) Massa fresca da parte aérea**			**(6) Número de Raiz**		
	p	**q**	**r**	**p**	**q**	**r**	**p**	**q**	**r**
1	0,421	0,011	0,008	1,628	0,040	0,032	0,503	0,012	0,010
2	0,362	0,173	0,007	1,394	0,664	0,027	0,436	0,207	0,009
3	0,225	0,213	0,004	0,870	0,823	0,017	0,232	0,218	0,005
4	0,139	0,200	0,003	0,563	0,809	0,011	0,129	0,183	0,003
5	0,109	0,208	0,002	0,425	0,811	0,008	0,132	0,255	0,003
6	0,310	0,007	0,004	1,281	0,026	0,018	0,372	0,008	0,005
7	0,316	0,107	0,004	1,285	0,433	0,017	0,379	0,127	0,005
8	0,244	0,161	0,003	1,033	0,683	0,014	0,248	0,163	0,003
9	0,147	0,146	0,002	0,625	0,619	0,008	0,178	0,175	0,002
10	0,143	0,189	0,002	0,519	0,684	0,007	0,135	0,178	0,002
11	0,215	0,004	0,002	0,877	0,013	0,009	0,225	0,004	0,002
12	0,223	0,057	0,002	0,849	0,216	0,009	0,229	0,059	0,002
13	0,196	0,099	0,002	0,695	0,350	0,007	0,184	0,093	0,002
14	0,172	0,129	0,002	0,627	0,471	0,006	0,180	0,136	0,002
15	0,122	0,121	0,001	0,478	0,473	0,005	0,143	0,142	0,001
16	0,194	0,002	0,002	0,645	0,007	0,005	0,163	0,002	0,001
17	0,156	0,032	0,001	0,539	0,111	0,004	0,145	0,029	0,001
18	0,175	0,070	0,001	0,704	0,284	0,006	0,142	0,057	0,001
19	0,134	0,081	0,001	0,559	0,335	0,005	0,123	0,074	0,001
20	0,122	0,097	0,001	0,444	0,351	0,004	0,104	0,083	0,001
21	0,156	0,002	0,001	0,620	0,007	0,004	0,159	0,002	0,001
22	0,159	0,027	0,001	0,668	0,113	0,005	0,164	0,028	0,001
23	0,143	0,048	0,001	0,569	0,191	0,004	0,147	0,049	0,001
24	0,142	0,072	0,001	0,511	0,257	0,003	0,127	0,064	0,001
25	0,115	0,076	0,001	0,452	0,300	0,003	0,115	0,077	0,001

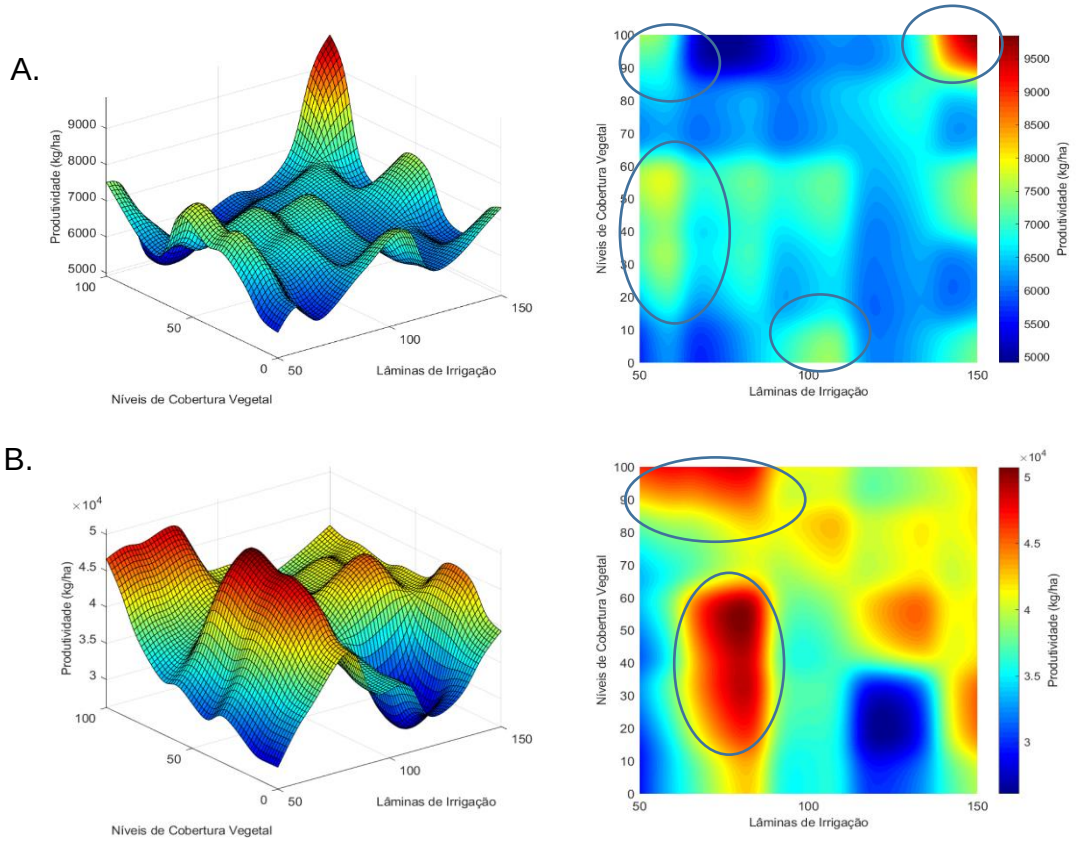
Tabela 11: Regras do sistema neuro-*fuzzy* da forma $y = px_1 + qx_2 + r$ para as variáveis de saída 7, 8 e 9, com x_1 e x_2 sendo as variáveis de entrada 1 e 2, para o ciclo 2.

Regra	(7) Comprimento da raiz			(8) Massa fresca da raiz			(9) Produtividade		
	p	q	r	p	q	r	p	q	r
1	0,175	0,004	0,003	0,959	0,022	0,019	590,8	14,8	11,61
2	0,146	0,070	0,003	0,759	0,361	0,015	519,4	247,2	10,16
3	0,096	0,091	0,002	0,480	0,455	0,009	327,7	308,8	6,36
4	0,058	0,082	0,001	0,295	0,423	0,006	221,9	319,8	4,33
5	0,039	0,075	0,001	0,207	0,395	0,004	195,3	373,9	3,81
6	0,127	0,002	0,002	0,628	0,012	0,009	550,2	11,9	7,51
7	0,113	0,039	0,002	0,573	0,193	0,008	583,2	196,9	7,92
8	0,109	0,073	0,001	0,455	0,303	0,006	485,6	320,4	6,55
9	0,057	0,056	0,001	0,311	0,309	0,004	258,6	254,8	3,48
10	0,050	0,066	0,001	0,231	0,305	0,003	237,7	314,3	3,20
11	0,092	0,001	0,001	0,463	0,007	0,005	348,9	5,3	3,58
12	0,086	0,022	0,001	0,437	0,110	0,004	342,5	87,4	3,53
13	0,075	0,038	0,001	0,373	0,187	0,004	274,1	138,8	2,80
14	0,056	0,042	0,001	0,302	0,227	0,003	269,7	202,5	2,72
15	0,043	0,042	0,000	0,233	0,231	0,002	201,1	199,5	2,04
16	0,068	0,001	0,001	0,364	0,004	0,003	237,8	2,4	1,93
17	0,071	0,014	0,001	0,357	0,072	0,003	178,7	37,5	1,46
18	0,066	0,026	0,001	0,334	0,134	0,003	314,8	127,6	2,54
19	0,052	0,031	0,000	0,279	0,167	0,002	237,6	142,2	1,92
20	0,048	0,038	0,000	0,230	0,182	0,002	183,2	144,8	1,48
21	0,071	0,001	0,000	0,311	0,003	0,002	260,6	3,1	1,76
22	0,060	0,010	0,000	0,317	0,054	0,002	304,9	51,3	2,05
23	0,060	0,020	0,000	0,285	0,096	0,002	244,2	81,9	1,66
24	0,049	0,025	0,000	0,251	0,126	0,002	218,8	110,2	1,48
25	0,041	0,027	0,000	0,217	0,144	0,001	196,4	130,2	1,33

4.2 Análise individual dos componentes produtivos da cultura do coentro

Essa discussão remete para cada fator especifico relacionando os dois ciclos da cultura: A respeito dos parâmetros avaliados sobre níveis de cobertura vegetal X lâmina de irrigação X produtividade (Kg/ha). (Figura 9)

Figura 9: Gráficos de Produtividade da cultura do Coentro avaliando as interações de Níveis de Cobertura Vegetal Morta X Lâminas de Irrigação X Produtividade (A- Ciclo 1) e (B - Ciclo 2)



Para valores de produtividade, as regiões demarcadas apresentam níveis bem satisfatórios, demostrando que no Ciclo 1, para níveis de lâmina de irrigação próximo de 55% e coberturas variando de 20% a 60% e 90% a 100%, a produção atinge níveis de 7500 kg/ha, ao passo que aumentando os níveis de lâmina em 110% e diminuindo a cobertura vegetal morta próximo 5% a produção se mantem nos mesmos níveis, acarretando em um maior consumo hídrico e evaporação.

Para região que atinge o melhor nível de produção com valores acima de 9000 kg/ha, o consumo hídrico se faz maior e os níveis de cobertura são de 100%

resposta essa que prejudica a finalidade da pesquisa provando maior utilização da lâmina de irrigação.

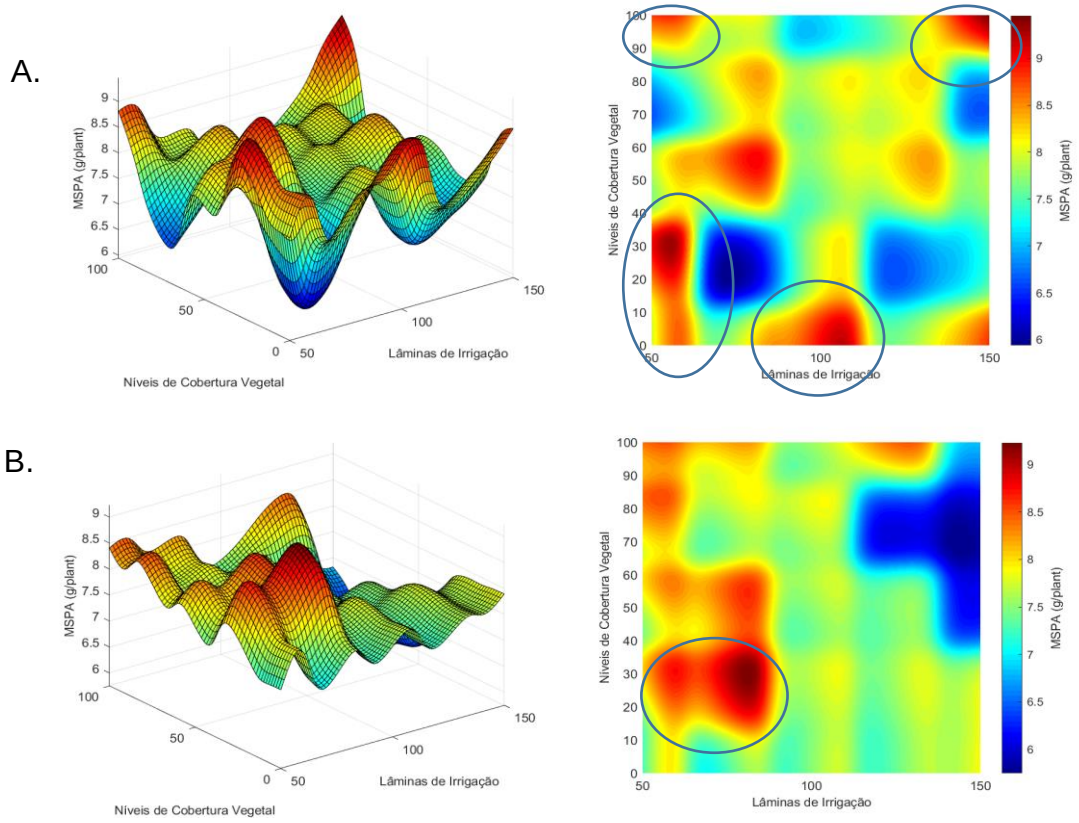
Para o Ciclo 2, os dados apontados, demostram um melhor aproveitamento das lâminas de irrigação estudada, uma vez que podemos utilizar lâminas abaixo de 80%, promovendo produtividade a níveis satisfatórios para a cultura.

Contudo, o aumento das lâminas de irrigação aliando a níveis de cobertura altos produzem variações de médio a alta Produtividade porem o fator negativo é o excesso de consumo hídrico para alcançar tais fatores.

Para Pereira (2018), os resultados em produtividade foram de 7000 kg/ha utilizando 48ton/ha de mato pasto como cobertura vegetal morta, demonstrando a superioridade da bagana como cobertura vegetal morta utilizada como redutor de evaporação para diminuição das lâminas de irrigação.

Para parâmetros avaliados de acerca dos níveis de cobertura vegetal X lâmina de irrigação X massa seca da parte aérea (MSPA) (Figura 10).

Figura 10: Gráficos da cultura do Coentro avaliando as interações de Massa Seca Parte Aérea X Níveis de Cobertura X Lâmina de Irrigação (A- Ciclo 1) e (B - Ciclo 2).

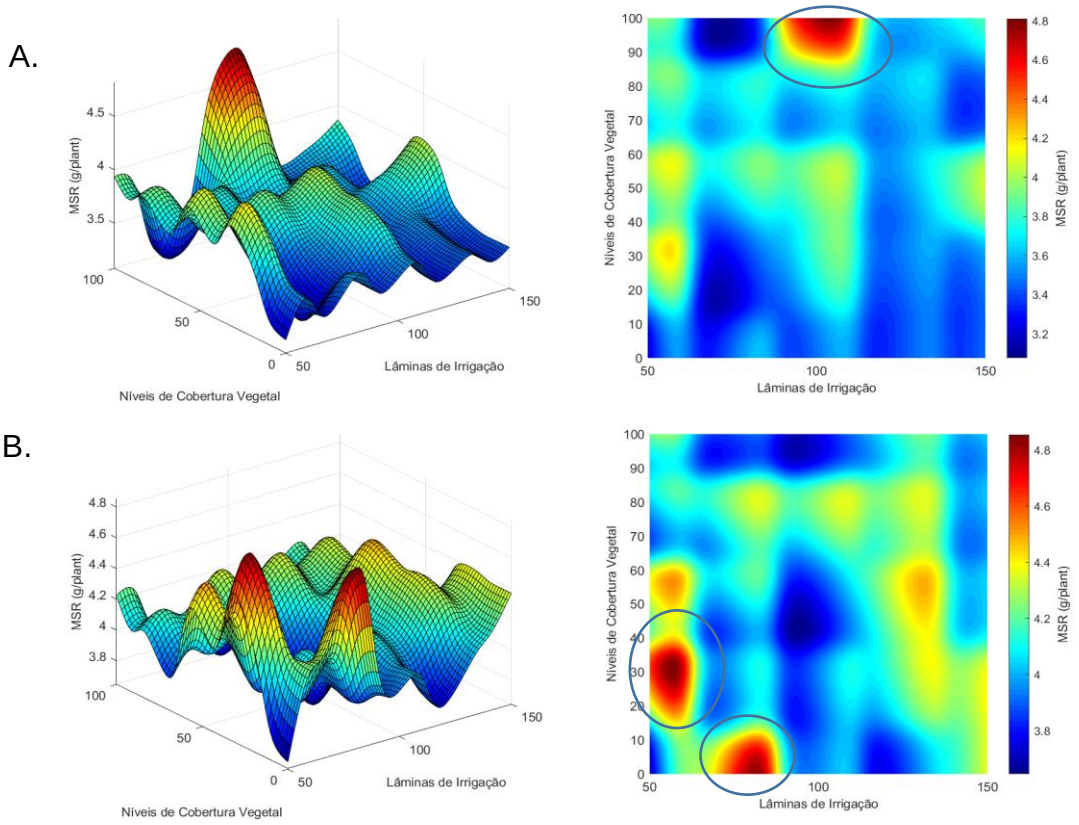


Para resultados do clico 01, valores baixos de níveis de cobertura vegetal aliado a lâmias de irrigação próximas a 55% e 100% atingem valores acima de 9g/planta de MSPA, enquanto níveis acima de 40% de cobertura vegetal a produção de MSPA tende a atingir níveis medianos. Isso tende estacionar a produção de massa. Todavia, ao aumentar-se os níveis de lâmina de irrigação acima de 145% a necessidade de cobertura acompanha esse aumento chegando a produção máxima da pesquisa com 9000 kg/ha.

Já em decorrência do Ciclo 2 os melhores níveis de irrigação se concretizam próximos de 90% associado a 30% de níveis de cobertura resultando em MSPA acima de 9000kg/ha.

Já aspecto apresenta entre aos parâmetros avaliados dos níveis de cobertura vegetal X lâmina de irrigação X massa seca radicular (MSR) (Figura 11).

Figura 11: Gráficos tridimensionais dos dados de correlação de Massa Seca Radicular X Lâminas de Irrigação X Níveis de Cobertura Vegetal (A- Ciclo 1) e (B - Ciclo 2).



Para valores próximos a 100% de irrigação e 100% de níveis de cobertura os resultados do Ciclo 1 resultam em níveis de MSR acima de 4,5g/planta, com a intensão de diminuir esses níveis os resultados de MSR tendem a decrescer, isso pode estar vinculado a alta evapotranspiração da cultura e canteiro para aquele período especifico.

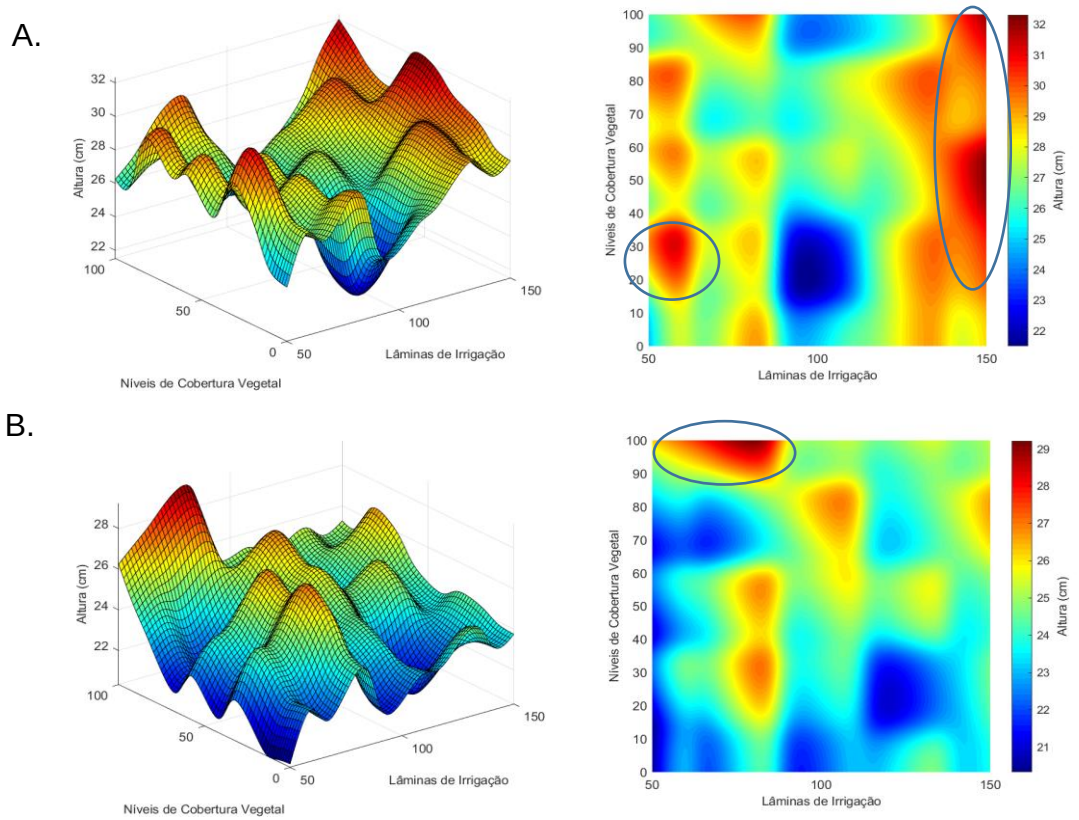
Ao avaliar os níveis para o Ciclo 2 os resultados se apresentam satisfatório para consumo hídrico, podendo atuar com níveis próximo de 55% e 85% resultando em MSR acima de 4,6g/planta.

Analisando os valores expostos os níveis de raiz foram maios para o Ciclo 2 uma vez que a raiz com baixas lâmina tendem a buscar recursos hídricos.

Já Pereira (2018), para massa seca, obteve 5,2g/planta utilizando 62 ton/ha de cobertura vegetal de mata-pasto e Aguiar et al. (2016) obteve uma produção de 16,1 g/planta com a aplicação de 60ton/ha de composto orgânico, comprovando uma superioridade de resultados comparado ao utilizado nesta pesquisa.

Já a correlação entre aos parâmetros avaliados de níveis de cobertura vegetal X lâmina de irrigação X altura (cm). (Figura 12).

Figura 12: Gráficos avaliando os resultados entre Altura (cm) X Lâminas de Irrigação X Níveis de Cobertura Vegetal Morta (A- Ciclo 1) e (B - Ciclo 2).



Para valores elevados em resultados de altura no clico 01 a zona com maior interação acontece com lâminas de irrigação acima de 145% e níveis de cobertura alternando de 40% a 60% e acima de 90%, altura esse que esta vinculada a disponibilidade alta da irrigação e baixa evaporação através das coberturas vegetal.

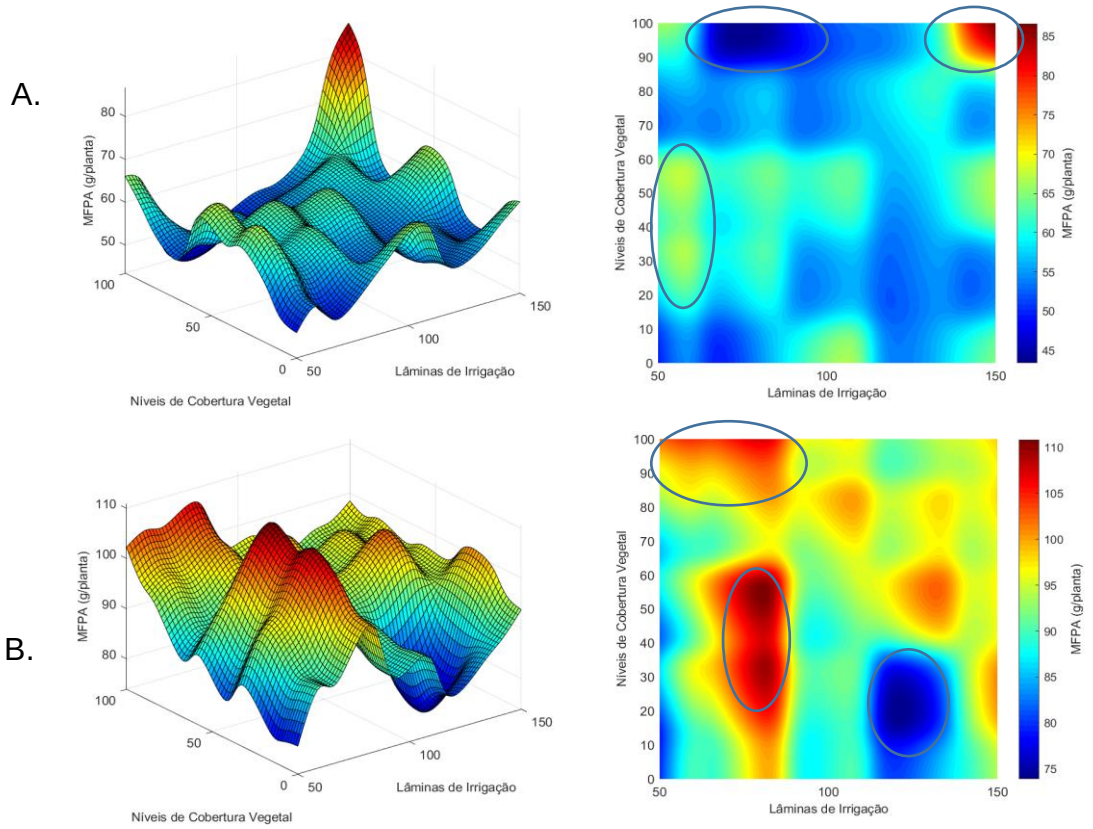
Todavia os valores do Ciclo 2 para serem mantidos com níveis satisfatórios de altura foram necessários manter a cobertura vegetal morta acima de 90%, aumento esse que pode estar atrelado ao clima árido promovendo um aumento da evapotranspiração, mais mantendo níveis de irrigação abaixo de 80% promovendo bons resultados para o cerne da pesquisa.

Já Pereira (2018), obteve os resultados de 20,84 cm utilizando cobertura vegetal de mata-pasto na quantidade de 48t/ha não conseguindo atingir melhor resultados comparados ao ponto mais baixo.

Para Linhares (2009), avaliando diferentes doses e tipos de adubos verdes, resultou em uma altura máxima de 14,18cm; 13,66cm e 11,90cm por planta para jitirana, flor-de-seda e mata-pasto, respectivamente na cultura do coentro, o autor ainda relata que altura de planta é de suma importância para o produtor de coentro.

Para essa avaliação, níveis de cobertura vegetal X lâmina de irrigação X massa fresca parte aérea (MFPA) (Figura 13).

Figura 13: Gráficos de interação dos dados de Massa fresca da parte Aérea X Lâminas de Irrigação Níveis de Cobertura Morta (A- Ciclo 1) e (B - Ciclo 2)



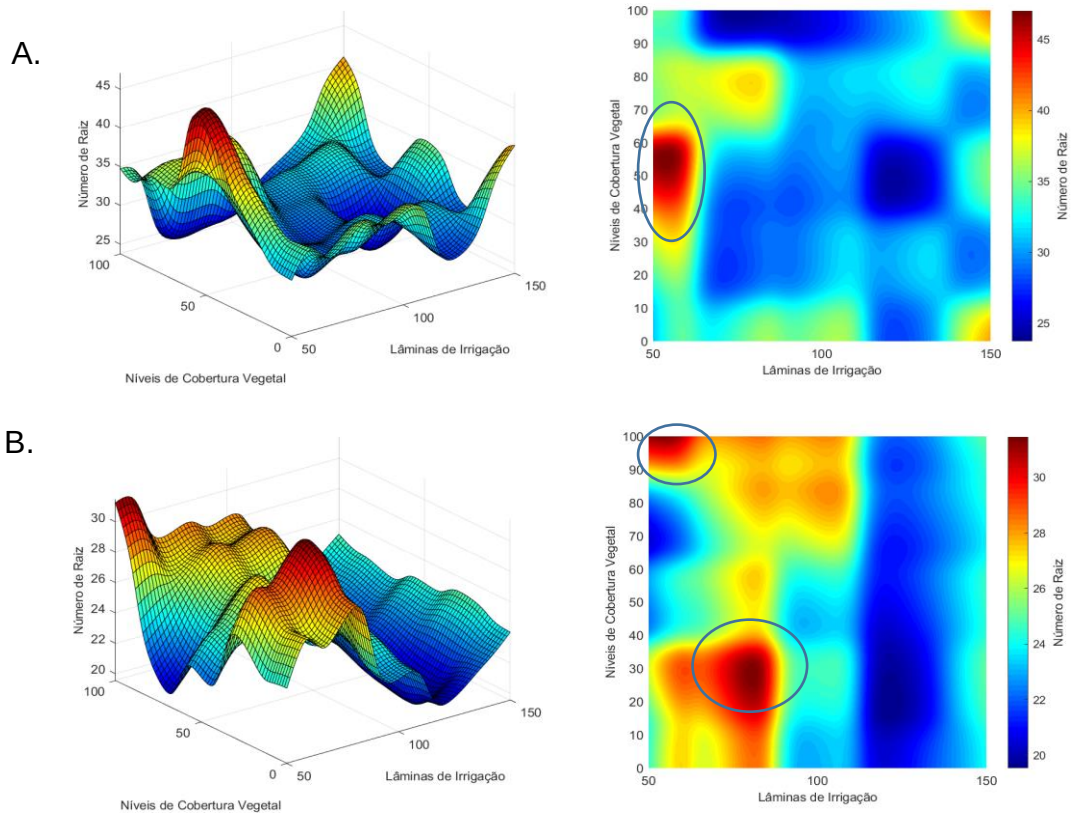
Para os parâmetros de MFPA resultado do Ciclo 1 aponta que ao utilizarmos níveis acima de 90% de cobertura vegetal e lâminas de irrigação abaixo de 135% garante que a quantidade de massa fresca tende a ser menor que 60g/plantas; já trabalhando com níveis de cobertura na faixa de 30% a 60% a produção de massa fresca se mantem a níveis ótimos; quando a disponibilidade hídrica for alta acima de 145% e cobertura morta acima de 90% a produção de MFPA será máxima, todavia o excesso de irrigação não condiz com o foco da pesquisa.

Para as demais zonas demarcadas no Ciclo 2, quando variamos de 10% a 30% de cobertura vegetal morta e lâminas acima de 100% que a cultura necessita, a

produção de MFPA declina drasticamente atuando na faixa de 75g/planta, o ponto ótimo nesse ciclo se deu aproximando a lâmina de irrigação em 80% atuando com produção máxima considerando 30% e 55% de níveis de cobertura estipulados.

Com os parâmetros avaliados de níveis de cobertura vegetal X lâmina de irrigação X número de raiz**. (**Figura 14**).**

Figura 14: Gráficos tridimensionais dos resultados de Número de Raiz X Níveis de Cobertura Vegetal Morta X Lâminas de Irrigação para a cultura do Coentro (A- Ciclo 1) e (B - Ciclo 2)



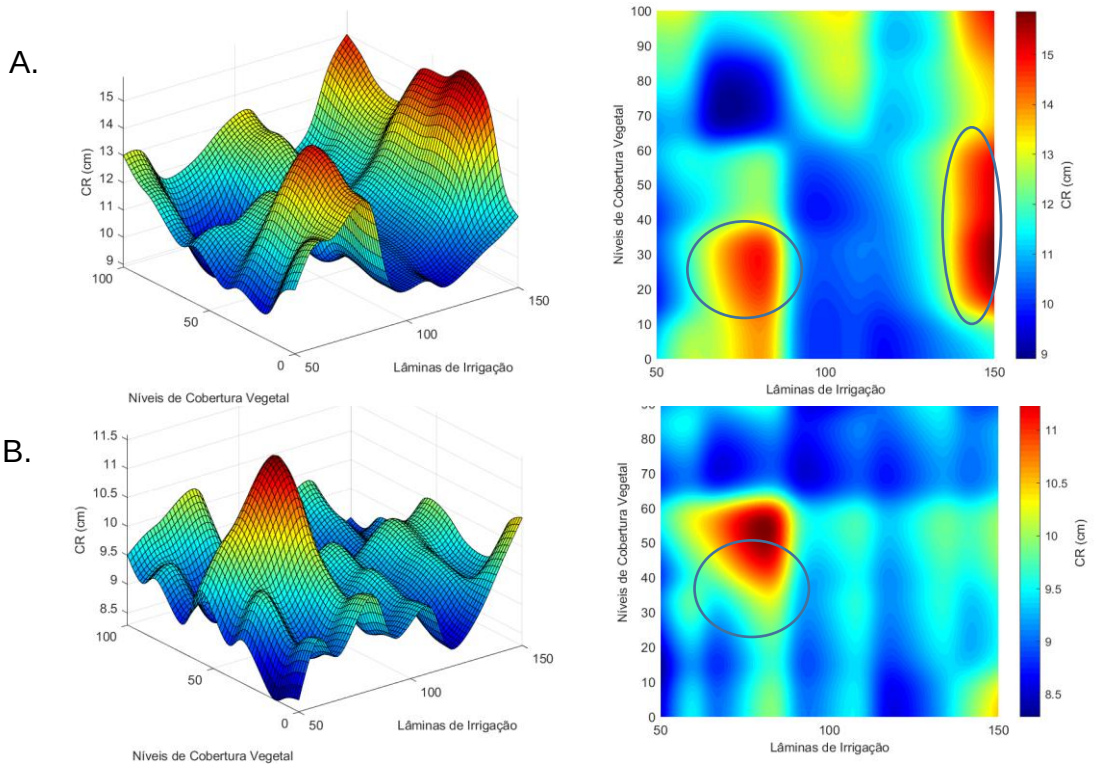
Para quantidade de numero de raiz ralacioanda no ciclo 1 a zona demarcada , apresenta resultado satisfatorio para nivies de cobertura, variando de 30% a 65%,vinculado as variações de lâmina de irrigaçao de 50% a 60% resultando em números de raizes 37 a 47; já as zonas (B) demostra número de raiz semelhante variande 37 a 40, porem há uma variação nas lâminas de irrigaçao de 65% a 80% e 145% a 150% juntamente com niveis de cobertura de 65% 85%;0% a 10% e 90% a 100%.

Para o Ciclo 2 na cultura do coentro os resultados se comportam de forma diferente do primeiro ciclo, na zona (A) observamos níveis aceitáveis para os dados de número de raiz variando de 29 a 31, níveis de cobertura 90% a 100% e 15% a 40% e lâminas de irrigação de 50% a 60% zona essa que se sobressai dentre as demais, 70% a 85% respectivamente. Já a zona (B) o número de raiz está próximo de 27, alternando faixas de lâminas de irrigação de 60% a 100% e níveis de cobertura de 70% a 100%.

Linhares (2014) teve como resultado em altura, uma um aumento em relação às quantidades de palha de carnaúba incorporada ao solo, com altura média de 22,0 cm/planta utilizando valores próximos de 16,0 ton/ha.

Nos parâmetros avaliados de níveis de cobertura vegetal X lâmina de irrigação X Cumprimento de raiz (CR) **(**Figura 15**).**

Figura 15: Gráficos dos resultados avaliados entre Cumprimento de Raiz X Lâminas de Irrigação X Níveis de Cobertura Vegetal Morta para Cultura do Coentro (A- Ciclo 1) e (B - Ciclo 2)



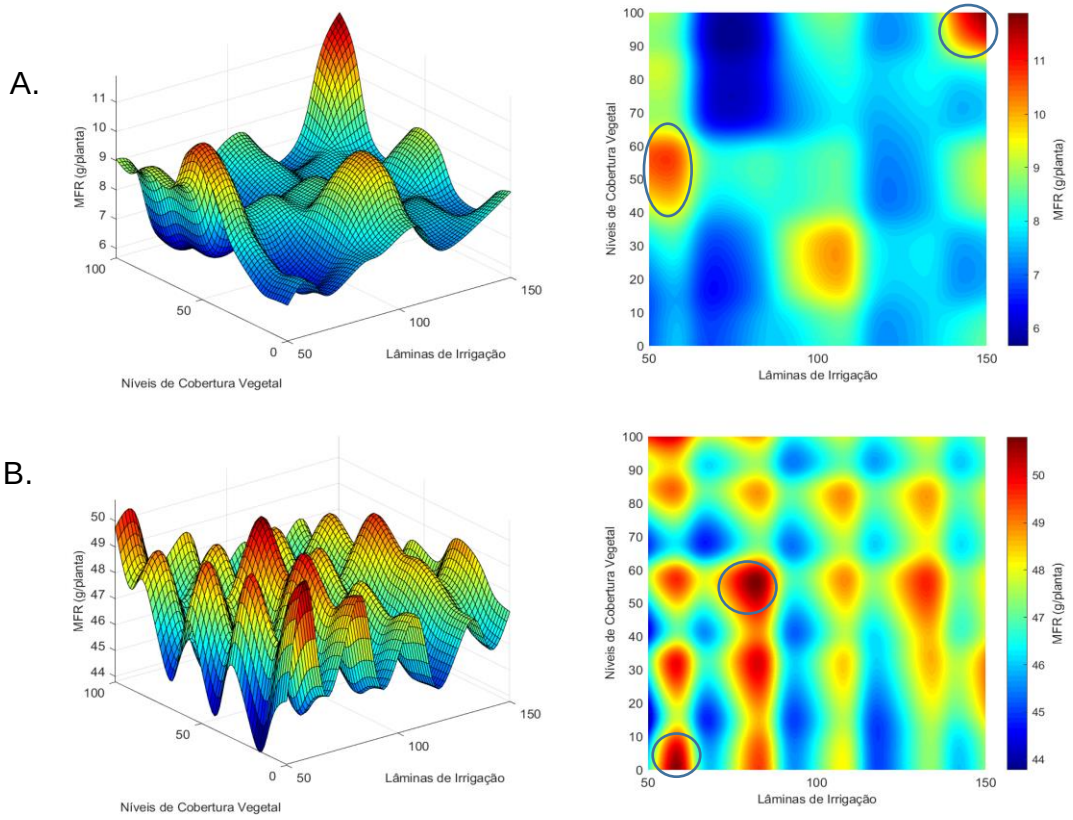
Os resultados apresentam no Ciclo 1, demostram uma singularidade nas zona demarcadas no parametro avaliado sobre cumprimento de raiz que varia de 14cm a

16cm, e uma disparidade nos niveis de lâmina de irrigação que atua de 80% a 90% ”melhor resultado” e 145% a 150%(maior consumo hidrico), respectivamento com os nivies de cobertura de 10% a 35% e 10% a 60%,

Já para o Ciclo 2, a zona delimitada demostram niveis muito altos de CR 10,5cm a 11,5cm, com uma otima variaçao da lâmina de irrigação de 60% a 95% e cobertura vegetal no intervalo de 40% a 60%.

Nos fatores que relaconam níveis de cobertura vegetal X lâmina de irrigação X massa fresca radicular (MFR) **(**Figura 16**).**

Figura 16: Gráficos dos resultados avaliados da Cultura do Coentro para os Níveis de Cobertura Vegetal X Lâminas de Irrigação X Massa Fresca Radicular (A- Ciclo 1) e (B - Ciclo 2)



Através dos dados do Ciclo 1, as areas limitas exibem um alto nivel de MFR de 10g a 12g/planta, simultaneo a uma variação de lâminas de irrigação de 45% a 60% representando com melhor resultado e 140% a 150% de lâminas de irrigação apresentando alto consumo hidrico, correlacionado a niveis de cobertura de 90% a 100%.

No Ciclo 2, as delimitações para MFR são demosntrados com niveis satisfatorios, em lâminas de irrigação 52% a 60% resultando na melhor urilizaçao da irrigação, com MFR superior a 50g/planta, e niveis de cobertura variando 0% a 10%, toda via ao elevar o disponibilidade de água para niveis de 70% a 90% a produçao de MFP se mantera nos mesmos resultados.

4.3 Análise conjunta das multivariaveis produtivas da cultura do Coentro

Nessa análise, são discutidos todos os fatores em conjunto a fim de apresentar os pontos mais relevantes visando à produtividade da cultura do coentro.

Para as análises comparativas dos requisitos avaliados no ciclo 1 (Figura 17), pode-se perceber que as zonas mais escuras demonstram níveis mais altos referindo a cada escala essas demarcações estão mais presentes nas lâminas de irrigação abaixo de 100% da necessidade hídrica da cultura.

A utilização de lâminas próximas de 130% demonstra níveis de médio a baixa produção para os parâmetros avaliados.

Já a utilização de bagana de carnaúba como cobertura vegetal morta demostrou resultados satisfatórios como redutor de evaporação das lâminas utilizadas, os melhores níveis se demonstraram entre 30% a 50% de cobertura, quando necessária a utilização de níveis de cobertura acima de 50% a utilização de lâminas de irrigação mais altas também se faz necessária isso pode estar atrelado a absorção da agua através da bagana de carnaúba.

Com os resultados do ciclo 2 (Figura 18), os níveis mais satisfatórios da cobertura vegetal morta prevaleceram similares ao primeiro ciclo com níveis próximo de 30% a 50%, quando as coberturas excedem 100% dos níveis estipulados, há uma necessidade de trabalhar com lâminas próximas a 140% para manter os níveis acima da média em produção parta todos os fatores analisados.

Linhares (2014) obteve valores máximos de produtividade do coentro 1,1 kg/m2 de canteiro, aplicando 10,8ton/ha de palha de carnaúba.

Figura 17: Mapas de contorno das variáveis referentes ao Ciclo 1.

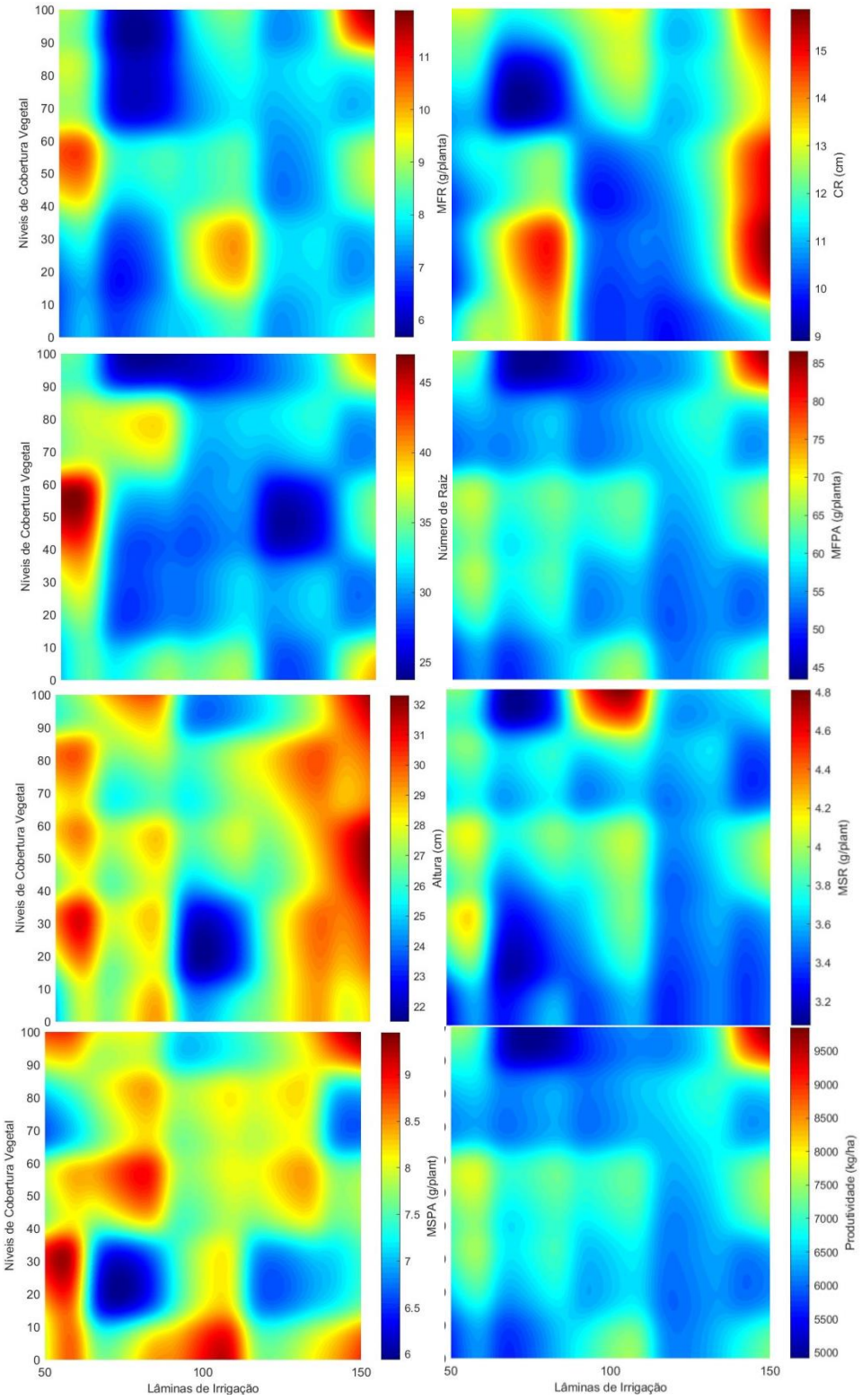
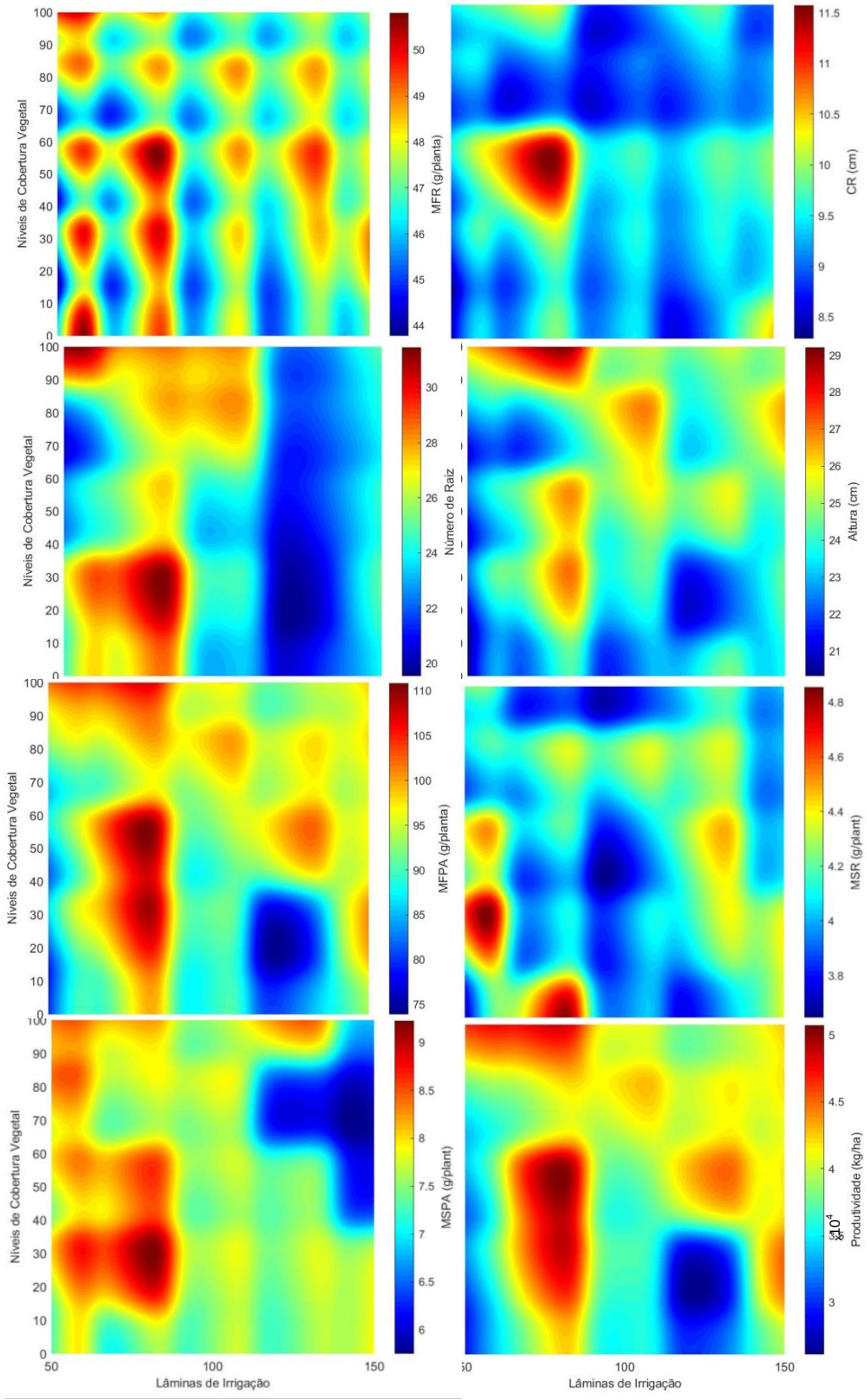


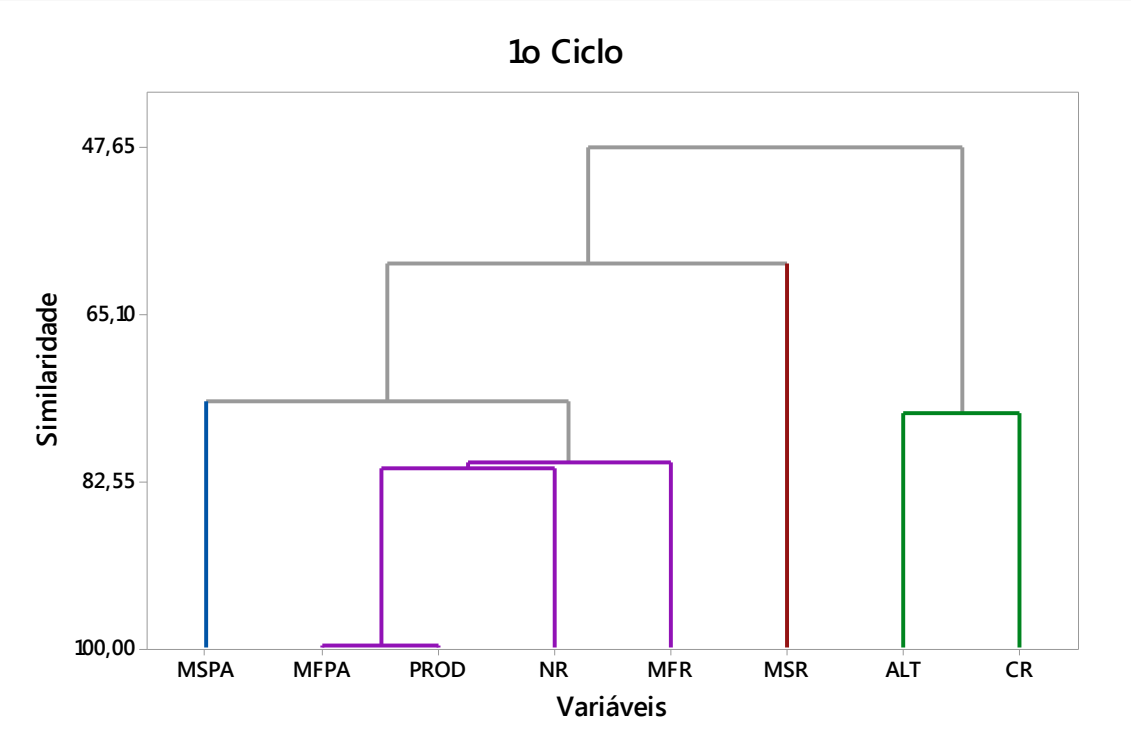
Figura 18: Mapas de contorno das variáveis referentes ao Ciclo 2.



4.4 Análise através de dendograma das variáveis da cultura do Coentro

A partir do dendograma da Figura 19, as ilustrações demonstram os agrupamentos de cada variável biométrica da cultura do coentro reunindo por similaridade.

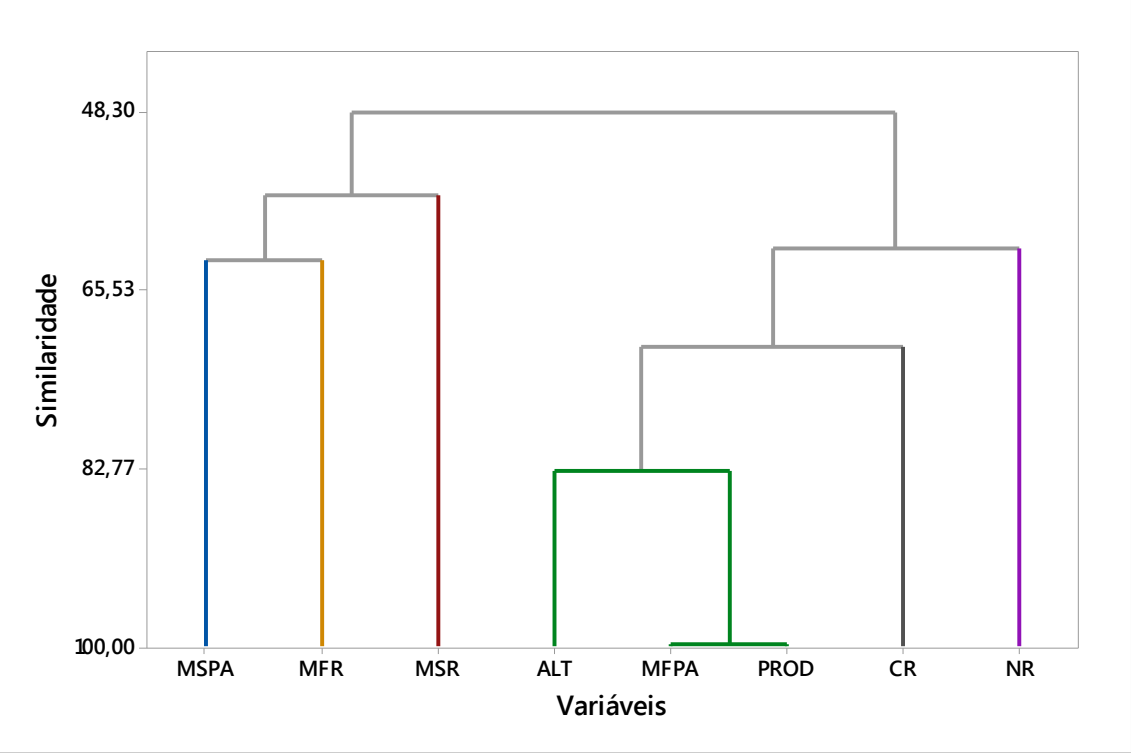
Figura 19: Dendograma da variáveis do ciclo 1 da cultura do coentro com diferentes níveis de cobertura vegetal morta X Lâmina de irrigação



Para o Ciclo 1 a similaridade se da próxima de 75 reunindo 4 grupos de variáveis que são elas (MFPA, massa fresca da parte aérea - PROD, produção – NR, número de raiz – MFR, massa fresca radicular), , ao analisarmos os grupos através da coloração a MFPA está diretamente relacionada a Produção final do coentro uma vez que as folhas da cultura são parte principal da produtividade, já outro grupo da altura com a raiz esta continuamente relacionado ao desenvolvimento.

Já no Ciclo 2, para cultura do coentro a Figura 20, se apresentam 3 grupos de similaridade.

Figura 20: Dendograma das variáveis do ciclo 2 da cultura do coentro com diferentes níveis de cobertura vegetal morta X Lâmina de irrigação.



Para as variabilidades de altura (ALT), massa fresca parte aérea (MFPA) e produtividade (PROD) o grau de similaridade está bem próximo, correlacionando como resultado final para a cultura do coentro, quanto maior em altura, terá uma parte aérea mais desenvolvida, aumentando a produção.

5 CONCLUSÃO

Para o primeiro ciclo da cultura do coentro quando houver necessidade de baixo consumo hídrico os melhores valores estão próximos de 55% da lâmina de irrigação aliado a uma faixa de 40% a 50% de níveis de cobertura morta; quando a disponibilidade hídrica for maior acima de 140% da lâmina utilizada faz-se necessário a utilização de 100% da cobertura vegetal morta.

Já para o segundo ciclo a consumo hídrico apresenta resultados mais satisfatórios variando de 50% a 80% das lâminas utilizadas, isso pode estar vinculado a um desenvolvimento mais estabelecido de cultura, com isso podemos trabalhar com níveis mais baixos de cobertura próximos de 45%.

A necessidade de novas pesquisas com relação das interferências de absorção da bagana de carnaúba com a disponibilidade de agua através da irrigação, faz-se necessário uma vez que observou-se um necessidade de níveis maiores para as lâminas de irrigação que superam os 100% da necessidade da cultura, e aplicação *fuzzy* nos resultados para maximizar as interações.

Tavella et al. (2010) estudando o cultivo orgânico de coentro em plantio direto utilizando cobertura viva e morta, adubado com composto, encontrou produtividade de 3454 kg/há. O autor ainda usando modelo de regressão linear para avaliação dos dados, obteve como produtividade valores próximos de 6.542 ton/ha, sendo obtida com a dose máxima de 30 ton/ha de cobertura morta.

Dos Santos (2016) ressalta que uso da cobertura morta proporciona ganho produtivo para a maioria nas características agronômicas avaliadas para cultura do coentro orgânico, sendo de extrema importância essa técnica.

REFERÊNCIAS

SANTOS FERNANDES, C. et al. A influência da cobertura morta no desempenho agronômico do coentro adubado com esterco bovino. **Cadernos de Agroecologia**, v. 10, n. 3, 2016.)

LINHARES, P. C. F. et al. Espaçamento para a cultura do coentro adubado com palha de carnaúba nas condições de Mossoró-RN. Revista verde, Pombal, v. 9, n. 3, p. 1-6, 2014.

TAVELLA, L. B. et al. Cultivo orgânico de coentro em plantio direto utilizando cobertura viva e morta adubado com composto. Revista Ciência Agronômica, v. 41, n. 4, p. 614-618, 2010.

AGUIAR, A.M. et al. Produção de coentro (Coriandrum sativum L.) cultivado com composto orgânico em Irituia – Pará. Cadernos de Agroecologia, [S.l.], v. 10, n. 3, may 2016.

ALVES, M. O.; COELHO, J. D. Tecnologia e relações sociais de produção no extrativismo da carnaúba no nordeste brasileiro. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL (SOBER), 2006, Fortaleza, Anais...Fortaleza: 2006. p.44.

ARAUJO, W. F.; ANDRADE JUNIOR, A. S. D.; MEDEIROS, R. D. D.; SAMPAIO, R. A.Precipitação pluviométrica mensal provável em Boa Vista, Estado de Roraima, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 563-567, 2001.

BENINI, L. C. Estimação da densidade de solos utilizando sistemas de inferência *fuzzy*. 2007. 194 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu. 2007.

BHATTARAI, N. et al. A new optimized algorithm for automating endmember pixel selection in the SEBAL and METRIC models. **Remote sensing of environment**, v. 196, p. 178-192, 2017.

BARATTA JUNIOR, A. P. Utilização do composto de resíduos da poda da arborização urbana em substratos para a produção de mudas. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007. Disponível em: < http://www.if.ufrrj.br/pgcaf/pdfdt/Dissertacao%20Alamir%20Baratta.pdf >. Acesso em: 2018-10-05

CARVALHO, F. P. A.; GOMES, J. M. A. Ecoeficiência na produção de cera de Carnaúba no município de Campo Maior, Piauí, 2004. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 46, n. 2, p. 421-453, 2008.

SILVA, L. M. et al. Modelagem *fuzzy* aplicada na detecção da vulnerabilidade à erosão costeira. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 19, n. 4, 2013.

EITZINGER, J. et al. Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. **Ecológical Modelling**, v. 171, n. 3, p. 223-246, 2004.

ESTEVES, J. V. Substrato para produção de mudas de hortaliças com casca de arroz carbonizada, composto orgânico e desinfecção à vapor. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 18, suplemento, p. 805-806, 2000.

FERNANDES, E. J.; TURCO, J. E. P. Evapotranspiração de Referência para Manejo da Irrigação em Cultura de Soja, Irriga, Botucatu, v.8, n.2, p.132-141, maio-agosto,

2003.

FERNANDES, E. T. Fotossíntese e crescimento inicial de clones de eucalipto sob diferentes regimes hídricos. 2012. 113f. Dissertação. (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2012.

GHAMARNIA, H.; ARJI, I.; SEPEHRI, S.; NOROZPOUR, S.; KHODAEI, E. Evaluation and comparision of drip and conventional irrigation methods on sugar beets in a semiarid region. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 138, p. 90-97, 2012.

GHOUSH, M. A.; SAMHOURI, M.; AL-HOLY, M.; HERALD, T. Formulation and *fuzzy* modeling of emulsion stability and viscosity of a gum-protein emulsifier in a model mayonnaise system. **Journal of Food Engineering**, v.84, p.348-357, 2008.

HAYKIN, S. Redes neurais: princípios e prática. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 900 p.

GONÇALVES, M. P. M.; SCHLAEFLI, R. C. ; CHAGAS, A. O. V.; NASCIMENTO, E. R. S.; SILVA, A. P. Efeito da Cobertura Morta e Hidrogel na Sobrevivência de Mudas Nativas da Caatinga. In: IX simpósio nacional sobre recuperação de áreas degradadas, 2012, Rio de Janeiro, 2012.

HASSAN, A. Z. A.; MAHMOUD, A.W.M. The combined effect of bentonite and natural zeolite on sandy soil properties and productivity of some crops. Topclass Journal of Agricultural Research, v.1, n.(3), p.22-28, 2013.

HIRATA, A. C. S. et al. Cobertura morta no manejo de plantas daninhas em cebola. Apta Regional, Pesquisa & Tecnologia, Sorocabana, v. 11, n. 1, jan-jun 2014.

JETTER R; KUNST L. 2008. Plant surface lipid biosynthetic pathways and their utility for metabolic engineering of waxes and hydrocarbon biofuels. The Plant Journal 54: 670-683, 2008.

JI, X.B.; KANG, E.S.; CHEN, R.S.; ZHAO, W.Z.; ZHANG, Z.H.; JIN, B.W. A mathematical model for simulating water balances in cropped sandy soil with conventional flood irrigation applied. **Agricultural Water Management**.v. 87, n. 3, Fev., p. 337-346,2007.

LABABIDI, H. M. S.; BAKER, C. G. J. *Fuzzy* modelling. In: CÁNOVAS, G. V. B. et al. Handbook of Food and Bioprocress Modeling Technique, 2006, p. 452-494

LIRA, R. M. et al. Production, water consumption and nutrient content of Chinese cabbage grown hydroponically in brackish water. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p. 497-505, 2015.

LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; LYRA, G. B.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JUNIOR, R. A. Conteúdo de água no solo em cultivo de milho sem e

com cobertura morta na entrelinha na região de Arapiraca. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 2, p.173-183, 2010.

MACIEL, G. M.; COSTA, C. P.; SALA, F. C. Linhagens de coentro com pendoamento tardio sob dois sistemas de plantio. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 607-612, 2012.

MEZA, E. B. M., SOUZA, J. C., SCHILLING, M. T.; COUTTO FILHO, M. B. Utilização de um modelo neuro-*fuzzy* para a localização de defeitos em sistemas de potência. **Sba: Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automática**, v. 17, n. 1, p. 103-114, 2006.

MORGAN, K. T.; PARSONS, L. R.; WHEATON, T. A. Comparison of laboratory-and field-derived soil water retention curves for a fine sand soil using tensiometric resistance and capacitance methods. **Plant and Soil**, v. 234, n. 2, p. 153-157. jul. 2001.

MONTENEGRO, A. A. A.; ABRANTES, J. R. C. B.; LIMA, J. L. M. P.; SINGH, V. P.; SANTOS, T. E. M. Inpact of mulching on soil and water dynamics under intermittents simulated rainfall. Catena, Alemanha, v. 109, p. 139-149, 2013.

PEREIRA, A. C. S. et al. Produtividade do coentro em função de diferentes quantidades e formas de aplicação do mata-pasto (*Senna uniflora* L.). 2018.

PEJIĆ, B.; ĆUPINA, B.; DIMITRIJEVIĆ, M.; PETROVIĆ, S.; MILIĆ, S.; KRSTIĆ, D.; JAĆIMOVIĆ, G. Response of sugar beet to soil water deficit. **Romanian Agricultural Research,** v. 28, p. 151-155, 2011.

SAMPAIO, R. A.; ARAÚJO, W. F. Importância da Cobertura Plástica do Solo sobre o Cultivo de Hortaliças. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 22, n.1/2, 2001.

SANTOS, P. S. Estudo da vulnerabilidade ambiental no município de Santo Amaro-BA. 2016. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia - Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências. 2007.

SILVA, F. A. M.; PINTO, H.S.; SCOPEL, E.; CORBEELS, M.; AFFHOLDER, F. Dinâmica da água nas palhadas de milho, milheto e soja utilizadas em plantio direto**.** **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.5, p 717-724, 2006.

SOUZA; E. R; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G.; MATOS, J. A. Temporal stability of soil moisture in irrigated carrot crops in Northeast Brazil. Agricultural Water Management, Amsterdam, v. 99, p. 26-32, 2011.

SOUSA, P. G. R.; SOUSA, J. P. F.; SOUSA, A. M.; COSTA, R. N. T. Produtividade do mamoeiro cultivado sob aplicação de cinzas vegetais e bagana de carnaúba. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v. 11, n. 1, p. 1201-1212, 2017.

SYAHPUTRA, R. et al. A novel *fuzzy* approach for multi-objective optimization of distribution network configuration in complex system. **Int. J. Appl. Eng. Res.**, v. 13, n. 2, p. 1120-1127, 2018.

TEÓFILO, T. M. S. et al. Eficiência no uso da água e interferência de plantas daninhas no meloeiro cultivado nos sistemas de plantio direto e convencional. **Planta daninha**, v. 30, n. 3, p. 547-556, 2012.

TOLEDO, F. H.; VENTURIN, N.; CARLOS, L.; DIAS, B. A.; VENTURIN, R. P.; MACEDO, R. L. Compost of residues of pulp and paper in the production of eucalyptus seedlings. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 19, n. 7, p. 711-716, 2015.

TOPAK, R.; SÜHERI, S.; ACAR, B. Effect of different drip irrigation regimes on sugar beet (Beta vulgaris L.) yield, quality and water use efficiency in Middle Anatolian, Turkey. **Irrigation Science**, v. 29, p.79-89, 2011.

ZIEGLER, H. R. S; BARBOSA, M. M; PESSOA, J. P. M; VIEIRA, L. V; ARAUJO FILHO, J. A; FURTADO, F. M. V . Efeito da bagana de carnaúba e da adubação orgânica sobre a produção de forragem e grãos na cultura do milho. In: II CONGRESSO CEARENSE DE AGROECOLOGIA, 2010, Juazeiro do Norte, CE. Anais... Ceará: II Congresso Cearense de Agroecologia, 2010.