

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XVII Jornada de Extensão

LÓGICA FUZZY NA SIMULAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE BIOMASSA DO TRIGO PELO INCREMENTO DO NITROGÊNIO E HIDROGEL¹

Ari Higino Scremin², Anderson Marolli³, Osmar Bruneslau Scremin⁴, Ângela Teresinha Woschinski De Mamann⁵, Eldair F. Dornelles⁶, José Antonio Gonzales Da Silva⁷.

¹ Projeto de Pesquisa realizado no curso de Mestrado em Modelagem Matemática da Unijuí

² Mestrando em Modelagem Matemática do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ.

³ Doutorando em Modelagem Matemática do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ.

⁴ Doutorando em Modelagem Matemática do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ.

⁵ Mestre em Modelagem Matemática pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ.

⁶ Mestrando em Modelagem Matemática do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ.

⁷ Professor do Departamento de Estudos Agrários, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ.

INTRODUÇÃO

O trigo é um dos cereais mais produzidos no mundo, principalmente pela grande demanda de seus derivados, principalmente os diferentes tipos de farinhas (PINNOW et al., 2013). Além da farinha, o trigo é utilizado na alimentação animal na forma de farelo e pastagens e na rotação de culturas, garante adequada cobertura de solo ao sistema de semeadura direta (PINNOW et al., 2013;). No entanto, por ser uma gramínea exige um manejo adequado do N-fertilizante, pois este pode ser lixiviado ou volatilizado gerando contaminação ambiental e aumento nos custos de produção (MANTAI et al., 2015). Neste sentido, o uso de hidrorretentores de água, pode ser uma alternativa ao armazenando água, pois absorve a água em seu interior, inchando e liberando-a gradativamente. (AZEVEDO, 2014).

O uso de modelos que permitem a manipulação e entendimento destes dados, muitas vezes imprecisos, pode representar uma tecnologia inovadora à tomada de decisões quanto ao manejo e ao desempenho das culturas (STEFANOSKI et al., 2013). Neste contexto, a modelagem via lógica fuzzy propicia a inserção destes valores permitindo o entendimento e a explicação da interação entre as diferentes áreas e processos existentes (CASTRO, 2005).

O objetivo é adequar o modelo de Lógica Fuzzy para simulação da produtividade de biomassa do trigo nas condições de uso de nitrogênio e hidrogel junto ação combinada da temperatura média do ar, considerando as condições reais de cultivo nos sistemas de cultivo soja/aveia e milho/aveia.

MATERIAL E MÉTODOS

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XVII Jornada de Extensão

Os trabalhos foram desenvolvidos a campo, nos anos agrícolas de 2014 e 2015, no município de Augusto Pestana, RS. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições, seguindo um esquema fatorial 5 x 5 nas fontes de variação doses de hidrogel nos níveis 0, 30, 60, 90 e 120 kg/ha (aplicados junto ao sulco na semeadura), e doses de N-fertilizante (fonte ureia) nos níveis 0, 30, 60, 90 e 120 kg/ha (aplicado em cobertura no estágio de quarta folha expandida), com o uso da cultivar de trigo TEC 10-CCGL, no sistema de cultivo soja/aveia e milho/aveia. No experimento visando quantificar a produtividade de biomassa da planta, a colheita do material vegetal foi realizada rente ao solo, a partir da coleta de um metro linear das três linhas centrais de cada parcela, no ciclo final de maturação. As amostras com a biomassa verde foram direcionadas à estufa de ar forçado na temperatura de 65 °C, até atingir peso constante. Após, foram pesadas em balança de precisão e com posterior estimativa da produtividade biológica total convertida em kg/ha. Os dados climáticos foram obtidos através da estação meteorológica do IRDer (Instituto Regional de Desenvolvimento e Extensão Rural), próxima aos experimentos.

Para o desenvolvimento da programação da Lógica Fuzzy na previsibilidade da produtividade biológica, foi utilizado o Toolbox "fuzzy", do software Matlab. A programação foi implementada para as entradas Nitrogênio e Temperatura Máxima, com o conectivo "e" para a avaliação das regras. A base de regras foi construída a partir dos dados reais da produtividade de biológica nas condições de uso de hidrogel e nitrogênio. O método de inferência utilizado nesta pesquisa é o método de Mamdani ou método MAX-MIN. Para a diferenciação dos anos de cultivo foi usada a variável temperatura máxima, e mostrou-se importante nas simulações devido à variação da mesma durante os anos de estudo.

As variáveis de entrada utilizadas pela Lógica Fuzzy formam: as doses de N-fertilizante e a temperatura média máxima de cada ano de cultivo. Para cada condição de uso do hidrogel, foi construído um simulador fuzzy, num total de 10 simuladores. Para a variável de saída (Produtividade de biológica), o intervalo teve como limite inferior e superior a produtividade de biológica observada do efeito cumulativo dos anos. Na sequência, foi feita a validação dos simuladores fuzzy, para o efeito cumulativo dos anos, sendo que as saídas ficaram dentro do intervalo de confiança, a 5% de probabilidade de erro.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta a base de regras da Lógica Fuzzy, considerando as variáveis de entrada nitrogênio e temperatura máxima à simulação da produtividade biológica o trigo.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XVII Jornada de Extensão

Tabela 1. Base de regras Lógica Fuzzy para a simulação da produtividade biológica do trigo no sistema de sucessão soja/trigo.

| N (kg ha ⁻¹) | | Ano | T _{máx} (°C) | | Variáveis Linguísticas de Saída | | | | |
|--------------------------|----------------|------|-----------------------|----------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| V _L | V _Q | | V _L | V _Q | PB _{H0} | PB _{H30} | PB _{H60} | PB _{H90} | PB _{H120} |
| MB | 0 | 2015 | B | 21 | MB | MB | B | B | B |
| | | 2014 | A | 25 | MB | MB | MB | MB | MB |
| B | 30 | 2015 | B | 21 | B | B | A | M | B |
| | | 2014 | A | 25 | MB | MB | MB | MB | MB |
| M | 60 | 2015 | B | 21 | M | M | A | A | MA |
| | | 2014 | A | 25 | MB | MB | MB | MB | MB |
| A | 90 | 2015 | B | 21 | MA | MA | MA | MA | MA |
| | | 2014 | A | 25 | B | B | B | B | B |
| MA | 120 | 2015 | B | 21 | MA | MA | MA | MA | MA |
| | | 2014 | A | 25 | B | M | M | M | M |
| Valor real (2014+2015) | | | Mínimo | | 4400 | 4763 | 4453 | 4466 | 4287 |
| | | | Máximo | | 11671 | 12451 | 12786 | 12168 | 11789 |

N= nitrogênio (kg/ha); TMÁX= temperatura média máxima; VL= variáveis linguísticas; VQ= variáveis quantitativas; PB= produtividade de biomassa (kg ha⁻¹); MB= muito baixa; B= baixa; M= média; A= alta; MA= muito alta; H= hidrogel (kg/ha).

As classificações estabelecidas foram por ano de cultivo, permitindo mostrar as diferenças envolvidas pela temperatura máxima entre os anos e qualificar a simulação da produtividade biológica via lógica nebulosa nas doses de nitrogênio e hidrogel.

Na Tabela 2, está apresentada a média e os limites inferior e superior do intervalo de confiança dos valores reais e simulados por Lógica Fuzzy à produtividade biológica no uso do hidrogel e nitrogênio no sistema soja/trigo. Na análise da produtividade biológica, percebe-se comportamento linear, com maior quantidade de biomassa na dose 120 kg/ha de N-fertilizante, sendo que a partir da dose 60 kg/ha de hidrogel, combinada com a dose 120 kg/ha de nitrogênio, esta produtividade se torna estável.

Na simulação da produtividade biológica pela Lógica Fuzzy foi observado que os resultados obtidos foram próximos da média observada, porém, quando mais distante, representou valor dentro do intervalo de confiança estabelecido, independente das condições de uso de nitrogênio e hidrogel.

Nas Tabelas 1 e 3, no uso do nitrogênio, as variáveis linguísticas (VL) e seu correspondente valor quantitativo (VQ) foram definidos por especialista nas condições de uso das doses N-fertilizante, sendo muito baixo (MB, 0 kg/ha), baixo (B, 30 kg/ha), médio (M, 60 kg/ha), alto (A, 90 kg/ha) e muito alto (MA, 120 kg/ha). Para a temperatura máxima (TMÁX), as variáveis linguísticas e seu correspondente valor quantitativo foram definidos como baixo (B, 21°C) e alto (25 °C). Para as regras das variáveis linguísticas de saída da produtividade biológica, cinco intervalos foram definidos, em muito baixa (MB), baixa(B), média (M), alta (A) e muito alta (MA). Destaca-se que para a simulação da produtividade biológica via fuzzy, foram empregados os valores reais de mínimo e máximo do efeito cumulativo dos anos testados, independente de N-fertilizante, para

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XVII Jornada de Extensão

inferências do comportamento real e simulado nas doses de hidrogel. Para se atribuir um significado aos termos linguísticos, associa-se cada um destes a um conjunto fuzzy definido sobre um universo de discurso comum (SANTOS & NÄÄS, 2006).

Destaca-se que as classificações estabelecidas foram por ano de cultivo, como mostra a Figura 1, permitindo mostrar as diferenças envolvidas pela temperatura máxima entre os anos e qualificar a simulação da produtividade biológica via lógica nebulosa nas doses de nitrogênio e hidrogel.

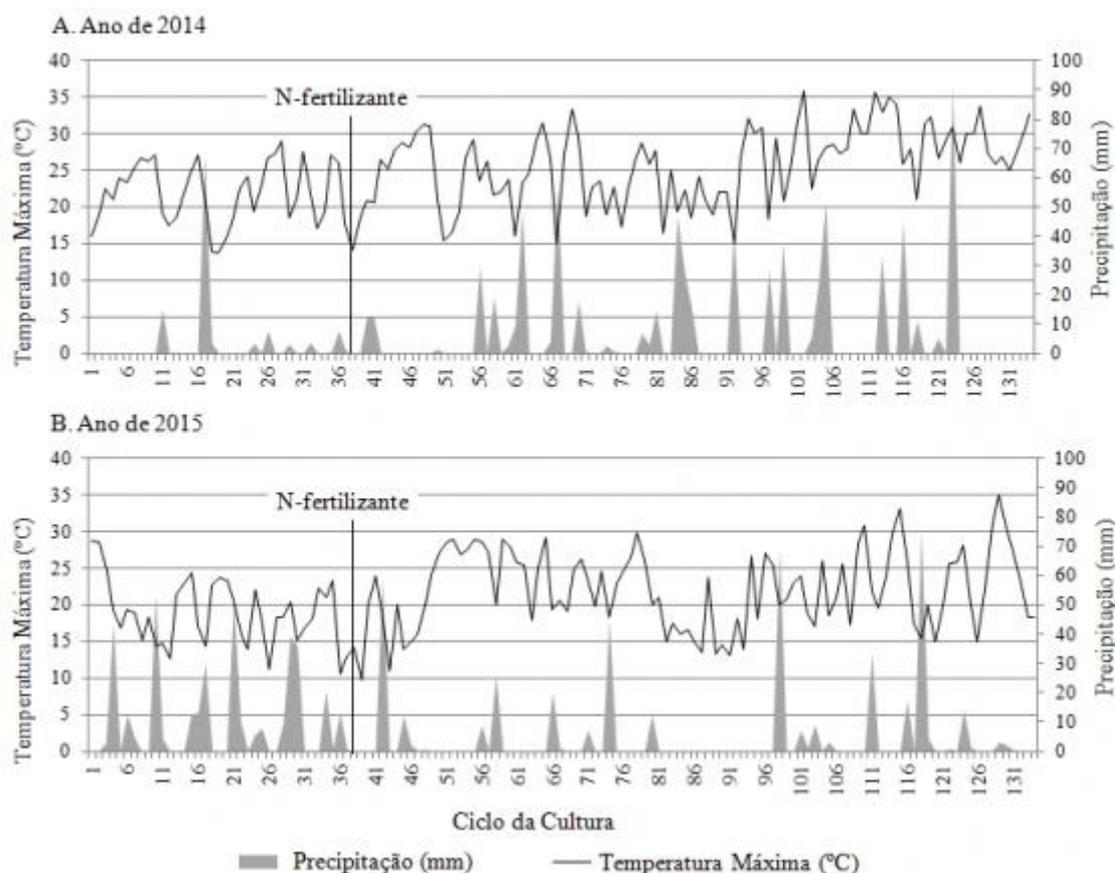


Figura 1. Precipitação pluviométrica e temperatura máxima no ciclo da aveia.

Na Tabela 2, está apresentada a média e os limites inferior e superior do intervalo de confiança dos valores reais e simulados por Lógica Fuzzy. Na análise da produtividade biológica, de modo geral, o incremento de N-fertilizante promoveu maior expressão desta variável indicando uma tendência de linearidade.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XVII Jornada de Extensão

Tabela 2- Lógica Fuzzy na simulação da produtividade biológica do trigo por nitrogênio e temperatura no uso do hidrogel, no sistema soja/aveia.

| H (kg ha ⁻¹) | N (kg ha ⁻¹) | PB (kg ha ⁻¹) | | | Simulação/Fuzzy PB (kg ha ⁻¹) |
|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------|----------------|--|
| | | L _i | \bar{X} | L _s | |
| 0 | 0 | 6096 | 6552 | 6944 | 6430 |
| | 30 | 7473 | 7811 | 8101 | 7590 |
| | 60 | 8344 | 8659 | 8929 | 8630 |
| | 90 | 9138 | 9725 | 9799 | 9140 |
| | 120 | 10328 | 10697 | 10928 | 10400 |
| Média H ₀ | | 8276 | 8689 | 8940 | 8438 |
| 30 | 0 | 5882 | 7034 | 8022 | 6390 |
| | 30 | 8241 | 8613 | 8932 | 8520 |
| | 60 | 8777 | 9128 | 9428 | 9170 |
| | 90 | 5580 | 8580 | 11153 | 9090 |
| | 120 | 10460 | 10961 | 11391 | 10800 |
| Média H ₃₀ | | 7788 | 8863 | 9785 | 8794 |
| 60 | 0 | 6831 | 7481 | 8038 | 7500 |
| | 30 | 8037 | 8290 | 8507 | 8040 |
| | 60 | 8802 | 9183 | 9509 | 9110 |
| | 90 | 9681 | 10109 | 10476 | 10300 |
| | 120 | 10413 | 11073 | 11639 | 11000 |
| Média H ₆₀ | | 8753 | 9227 | 9634 | 9190 |
| 90 | 0 | 6565 | 7211 | 7764 | 7560 |
| | 30 | 7330 | 8224 | 8990 | 8730 |
| | 60 | 8170 | 9071 | 9843 | 9320 |
| | 90 | 8938 | 9806 | 10651 | 10600 |
| | 120 | 9795 | 10912 | 11870 | 11000 |
| Média H ₉₀ | | 8160 | 9045 | 9824 | 9442 |
| 120 | 0 | 6071 | 7137 | 8050 | 7020 |
| | 30 | 6607 | 8094 | 9369 | 8660 |
| | 60 | 7597 | 9001 | 10206 | 9520 |
| | 90 | 8370 | 9962 | 11327 | 10300 |
| | 120 | 9126 | 10820 | 12273 | 11000 |
| Média H ₁₂₀ | | 7554 | 9003 | 10245 | 9300 |

H= hidrogel; N= nitrogênio; Li e Ls= limite inferior e superior do intervalo de confiança a 5% de probabilidade de erro; \bar{X} = média; PB= produtividade de biomassa; Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada condição de uso do hidrogel constituem grupo estatisticamente homogêneo pelo modelo Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Na simulação da produtividade biológica pela Lógica Fuzzy foi observado que os resultados obtidos foram próximos da média observada, porém, independente das condições de uso de nitrogênio e hidrogel. Contudo, os resultados da simulação via lógica fuzzy, também sugerem um comportamento linear sobre a produtividade biológica, como ocorrida nos valores reais testados no sistema soja/trigo.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XVII Jornada de Extensão

Tabela 3. Lógica Fuzzy na simulação da produtividade biológica do trigo por nitrogênio e temperatura no uso do hidrogel, no sistema milho/aveia.

| N | | Ano | T _{MÁX} (°C) | | Regras/Variáveis Linguísticas de Saída | | | | |
|------------------------|----------------|--------|-----------------------|----------------|--|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| V _L | V _Q | | V _L | V _Q | PB _{H0} | PB _{H30} | PB _{H60} | PB _{H90} | PB _{H120} |
| MB | 0 | 2015 | B | 21 | B | B | M | M | B |
| | | 2014 | A | 25 | MB | MB | B | MB | MB |
| B | 30 | 2015 | B | 21 | A | A | A | M | M |
| | | 2014 | A | 25 | M | B | MB | B | B |
| M | 60 | 2015 | B | 21 | A | A | A | A | A |
| | | 2014 | A | 25 | A | M | M | M | M |
| A | 90 | 2015 | B | 21 | MA | A | MA | A | A |
| | | 2014 | A | 25 | A | A | A | A | A |
| MA | 120 | 2015 | B | 21 | MA | MA | MA | MA | MA |
| | | 2014 | A | 25 | MA | A | MA | MA | MA |
| Valor real (2014+2015) | | Mínimo | | | 4231 | 4122 | 5601 | 4659 | 4066 |
| | | Máximo | | | 12534 | 12132 | 12982 | 13167 | 13572 |

H= hidrogel; N= nitrogênio; Li e Ls= limite inferior e superior do intervalo de confiança a 5% de probabilidade de erro; X_̄= média; PG= produtividade de grãos; PB= produtividade de biomassa; Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada condição de uso do hidrogel constituem grupo estatisticamente homogêneo pelo modelo Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Na simulação da produtividade biológica pela Lógica Fuzzy foi observado que os resultados obtidos foram próximos da média observada, porém, independente das condições de uso de nitrogênio e hidrogel. Contudo, os resultados da simulação via Lógica Fuzzy, também sugerem um comportamento linear sobre a produtividade biológica, como ocorrida nos valores reais testados no sistema soja/trigo.

Na tabela 4, no sistema milho/trigo, observa-se que em cada dose de hidrogel, o incremento de N-fertilizante promoveu aumento na produtividade biológica, indicando uma tendência à linearidade. Contudo, em média, a melhor produtividade de biomassa se dá na dose 60 kg/ha de hidrogel, com produtividade biológica de 8598 kg/ha.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XVII Jornada de Extensão

Tabela 4- Lógica Fuzzy na simulação da produtividade biológica no trigo por nitrogênio e temperatura no uso do hidrogel, no sistema milho/trigo.

| H (kg ha ⁻¹) | N (kg ha ⁻¹) | PB (kg ha ⁻¹) | | | Simulação/Fuzzy PB (kg ha ⁻¹) |
|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------|----------------|--|
| | | L _i | \bar{X} | L _s | |
| 0 | 0 | 4557 | 5027 | 5429 | 5090 |
| | 30 | 5582 | 6600 | 7473 | 5980 |
| | 60 | 5770 | 7247 | 8514 | 7040 |
| | 90 | 6634 | 8894 | 10831 | 7770 |
| | 120 | 7499 | 9276 | 10800 | 7770 |
| Média H ₀ | | 6008 | 7409 | 8609 | 6730 |
| 30 | 0 | 5060 | 5733 | 6309 | 5490 |
| | 30 | 5533 | 6469 | 7272 | 6440 |
| | 60 | 5514 | 7173 | 8595 | 7550 |
| | 90 | 7280 | 8889 | 10269 | 8320 |
| | 120 | 8441 | 10302 | 11897 | 9620 |
| Média H ₃₀ | | 6366 | 7713 | 8868 | 7484 |
| 60 | 0 | 4907 | 6566 | 7989 | 6270 |
| | 30 | 5088 | 7434 | 9446 | 8850 |
| | 60 | 5723 | 7689 | 9376 | 8850 |
| | 90 | 7417 | 9252 | 10825 | 9310 |
| | 120 | 8827 | 10437 | 11818 | 9710 |
| Média H ₆₀ | | 6392 | 8276 | 9891 | 8598 |
| 90 | 0 | 4735 | 6275 | 7596 | 6140 |
| | 30 | 5406 | 6750 | 7904 | 6140 |
| | 60 | 5672 | 7838 | 9696 | 8520 |
| | 90 | 7148 | 8845 | 10301 | 8030 |
| | 120 | 8307 | 9950 | 11358 | 9330 |
| Média H ₉₀ | | 6253 | 7932 | 9371 | 7632 |
| 120 | 0 | 4548 | 6274 | 7755 | 5920 |
| | 30 | 5512 | 6480 | 7311 | 5920 |
| | 60 | 5678 | 8080 | 10140 | 7940 |
| | 90 | 6959 | 8631 | 10066 | 7760 |
| | 120 | 7965 | 9619 | 11037 | 9020 |
| Média H ₁₂₀ | | 6132 | 7817 | 9262 | 7312 |

H= hidrogel; N= nitrogênio; Li e Ls= limite inferior e superior do intervalo de confiança a 5% de probabilidade de erro; \bar{X} = média; PB= produtividade de biomassa; Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada condição de uso do hidrogel constituem grupo estatisticamente homogêneo pelo modelo Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Destaca-se que na simulação pela Lógica Fuzzy, no sistema milho/trigo, os resultados obtidos da simulação representam pontos dentro do intervalo de confiança da média, confirmando a adequada base de regras estabelecida e a possibilidade de uso da lógica nebulosa na previsibilidade da produtividade biológica de trigo no uso de nitrogênio e hidrogel.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XVII Jornada de Extensão

CONCLUSÃO

Independente do sistema de sucessão (soja/trigo e milho/trigo) as simulações via Lógica Fuzzy mostraram-se adequadas e com alta confiabilidade na estimativa da produtividade de biomassa do trigo nas condições reais de cultivo com doses de hidrogel e nitrogênio. A tecnologia de emprego do biopolímero hidrogel mostrou-se mais eficiente até a dose 60 kg/ha, independente do sistema de sucessão.

PALAVRAS-CHAVE: Triticum Aestivum, novas tecnologias, temperatura, relação C/N.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, FAPERGS e à UNIJUI pelo aporte dos recursos destinados ao desenvolvimento deste estudo e pelas bolsas de Iniciação Científica e de Apoio Técnico, de Pós-graduação e de Produtividade em Pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, GLAUCE TAÍS DE OLIVEIRA SOUSA. Produção de mudas clonais de Eucalyptus spp. com polímero hidrotentor incorporado ao substrato. 2014. xiv, 60 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Universidade de Brasília, Brasília, 2014.
- CASTRO, Evaristo Mauro de et al. Aspectos anatômicos e fisiológicos de plantas de guaco submetidas a diferentes fotoperíodos. Horticultura Brasileira, v. 23, n. 3, p. 846-850, 2005.
- MANTAI, R.D.; SILVA, J.A.G.; ARENHARDT, E.G., SAUSEN, A.T.Z.R., BINELLO, M.O., BIANCHI, V.; SILVA, D.R.; BANDEIRA, L.M. The Dynamics of Relation Oat Panicle with Grain Yield by Nitrogen. American Journal of Plant Sciences, v. 7, n. 01, p. 17, 2016.
- PINNOW, C.; BENIN, G.; VIOLA, R.; SILVA, C. L. S.; GUTKOSKI, L. C.; CASSOL, L. C. Qualidade industrial do trigo em resposta à adubação verde e doses de nitrogênio. Bragantia, v.72, p.20-28, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052013005000019>.
- STEFANOSKI, Diane C. et al. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013.
- SANTOS, R.C.; NÄÄS, I.A. Utilização da lógica fuzzy para a simulação do estro de bovino leiteiro exposto a diferentes valores de temperatura e UR. In: SIMPÓSIO DE CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIENTES PROTEGIDOS, 2006, Campinas, SP. Anais. Campinas: FEAGRI/UNICAMP, 2006. 1 CD.