



HEURÍSTICA PARA O PROBLEMA ROTAÇÃO DE CULTURAS AGRÍCOLAS

Soline Maria Gonçalves Ikeda¹ Marcelo Dib Cruz¹, Wagner De Souza Tassinari¹ & Angel Ramon Sanches Delgado¹

(1) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro Brasil.

Ikeda, S.M.G, Cruz, M.D., Tassinari, W. S., Delgado, A. R. S., (2023) HEURÍSTICA PARA O PROBLEMA ROTAÇÃO DE CULTURAS AGRÍCOLAS. *Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza*, 7: e1961 <http://dx.doi.org/10.56814/pecen.v7i1.1961>

Editor acadêmico: Edilson Leite da Silva. **Recebido:** 09 setembro 2022. **Aceito:** 14 março 2023. **Publicado:** 30 maio 2023.

Resumo: o objetivo deste trabalho é a construção de uma heurística computacional que utiliza a metaheurística GRASP para simular a rotação de culturas agrícolas, de tal modo que o agricultor possa planejar as culturas a serem plantadas em cada época e em cada lote (s) ao longo do ano (s). Trata-se de um método iterativo de duas fases. Na primeira gera-se uma solução inicial e a partir desta, em uma segunda fase, são realizadas buscas locais com o objetivo de melhorar a solução encontrada. Ensaios numéricos para testar a heurística com trinta culturas agrícolas, e dez, quinze e vinte lotes, foram realizados. Os resultados obtidos melhoram aqueles conhecidos na literatura.

Palavras chave: Rotação de Cultura, Heurística, GRASP, sustentabilidade.

HEURISTIC FOR THE ROTATION PROBLEM OF AGRICULTURAL CROPS

ABSTRACT: The objective of this work is the construction computational heuristic that uses the GRASP metaheuristic to simulate the rotation of agricultural crops, in such a way that the farmer can plan the crops to be planted in each season and in each lot(s) throughout the year(s). It is a two-phase iterative method. In the first, an initial solution is generated and from this, in a second phase, local searches are carried out in order to improve the solution found. Numerical essay to test the heuristic with thirty agricultural crops, and ten, fifteen and twenty batches, were carried out. The results obtained were satisfactory when compared with those known in the literature.

Key words: Crop Rotation, Heuristic, GRASP, sustainability.

Introdução

O Brasil ocupa um lugar de destaque no cenário agrícola mundial, sendo um dos maiores produtores e exportadores de produtos agropecuários do mundo. Além de cumprir com sua função de produção de alimentos para abastecer o mercado interno, a agricultura tem exercido papel fundamental para o equilíbrio da balança comercial brasileira (Franchini *et al.* 2011; Delgado *et al.* 2019).

A produção agrícola convencional se baseia principalmente na monocultura (Kluthcouski *et al.* 2011; Tillman *et al.* 2002) motivada pelo baixo custo operacional e facilidade de cultivo. Mas, isto acarreta uma série de problemas, tais como o uso de pesticidas tóxicos, que são altamente prejudiciais ao meio ambiente, facilitando a ação e prevalência de pragas e patógenos (Altieri 1997; Filho 2012).

A agricultura ecológica se baseia em estratégias de diversificação, tais como policulturas, rotações, cultivos de cobertura e integração animal, para melhorar a produtividade, e garantir a saúde do agro ecossistema (Lemalade *et al.* 2011; Penteado 2011).

A rotação de culturas é uma alternativa para a agricultura ecológica. Ela consiste em alternar espécies vegetais, numa mesma área agrícola em épocas diferentes. Trata-se da separação de cultivos da mesma família botânica em lotes adjacentes seguindo algumas restrições. Uma mesma família botânica de plantas não pode ser cultivada em uma mesma área consecutivamente, tem que ter um período de pousio, tem que possuir adubação verde e respeitar os ciclos e períodos de plantio de cada cultura.

As vantagens da rotação de culturas são inúmeras (Arf O *et al.* 1999; Santos *et al.* 2007; Alvarenga & Neto 2008). Proporciona a produção diversificada de alimentos e outros produtos agrícolas. Conduzida de modo adequado e por um período suficientemente longo, essa prática melhora as características físicas, químicas e biológicas do solo. Auxiliar no controle de plantas daninhas, doenças e pragas. Repõe matéria orgânica e protege o solo da ação dos agentes climáticos.

É importante destacar que a manutenção e melhoria do desempenho econômico e social do agronegócio passam, necessariamente, pelo desenvolvimento e adoção de tecnologias capazes de manter e incrementar o potencial produtivo do solo. (Franchini *et al.* 2011).

O planejamento das culturas a serem plantadas é um problema complexo, combinatório e de difícil solução, devido ao conjunto de restrições (Oliveira *et al.* 2019). Uma maneira de resolver este problema é através de heurísticas (técnicas computacionais projetadas) para resolver um problema mais rapidamente quando os métodos clássicos são muito lentos ou para encontrar uma solução aproximada quando os métodos clássicos não conseguem encontrar uma solução exata, (Lacerda & Carvalho 1999).

O objetivo deste trabalho é a construção de uma heurística para simular a rotação de culturas, de tal modo que o agricultor possa planejar as culturas a serem plantadas em cada época e em cada lote ao longo do(s) ano(s). Para isso é utilizado a *metaheurística Greedy Randomized Adaptive Search Procedures* (GRASP) (Feo & Resende 1995). É um método iterativo que possui duas fases. A primeira gera uma solução inicial e a partir desta, na segunda fase, são realizadas buscas locais com o objetivo de melhorar a solução encontrada. Os resultados obtidos melhoram aqueles conhecidos na literatura.

MATERIAL E MÉTODOS

A rotação de culturas é uma técnica vantajosa que consiste em variar as culturas em uma mesma área de plantio em épocas diferentes do ano. Por este motivo tem ganhado destaque na literatura, pois é um meio de produção cujos princípios práticos viabilizam uma agricultura ecológica e produtiva.

O espaço em que as espécies podem ser cultivadas é dividido em lotes capazes de receber um determinado tipo de cultura vegetal naquele determinado período. Cada lote possui uma área e diversas culturas podem ser plantadas em um mesmo local, evitando assim o desgaste

do solo. Além disso, deve-se ter pelo menos um período de descanso do solo (pousio) em cada lote durante o período de plantio, assim como pelo menos uma adubação verde, que é feita através do plantio das leguminosas. Cada cultura tem um valor de venda ou lucratividade, e o nosso objetivo é a maximização do lucro retornado ao final de um determinado período.

Existem diversos estudos sobre métodos heurísticos aplicados à rotação de culturas a fim de aumentar a lucratividade, mas a heurística aqui apresentada utilizando a metaheurística GRASP (HGARC), tem como característica principal evitar o complexo espaço combinatório do problema, através da geração de uma solução inicial em cada iteração do procedimento computacional implementado, e que seguidamente refinada através de uma avaliação da função objetivo (lucratividade) entre os elementos disponíveis, para assim verificar se estes melhoram a solução atual. Ao final de cada iteração, obtém-se uma solução melhor ou igual a encontrada na iteração anterior (Feo & Resende 1995).

Uma etapa importante na construção de uma heurística é a representação da solução. Na rotação de culturas, isto pode ser feito com tabelas ou matrizes. No caso matricial, as colunas da matriz representam os períodos de plantio. Um período é um intervalo de tempo que pode ser de 10 dias, 15 dias, 30 dias (mês), ou um número de dias qualquer. Neste trabalho foram considerados intervalos de 30 dias ou os meses do ano. As linhas da matriz representam os lotes que o local de plantio possui, e cada posição da matriz representa uma identificação da cultura (código numérico representando cada cultura). Na HGARC, em cada iteração, esta matriz solução é atualizada, avaliando a viabilidade de uma cultura ser desenvolvida em um determinado lote e período, com máxima lucratividade total definida por:

$$L_t = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n LC_i a_k$$

Em que, LC_i representa a lucratividade por ciclo de vida da cultura $i = 1, 2, \dots, n$, e a_k , área do lote $k = 1, 2, \dots, m$.

Como foi dito, na primeira fase da HGARC se constrói uma solução inicial, primeiro o algoritmo gera uma lista com o chamado Retorno Relativo das Culturas (RRC). RRC ordena as culturas em ordem decrescente da razão lucratividade por ciclo, ou seja, o valor da lucratividade fixa de cada cultura, dividido pelo número de meses do ciclo da cultura. O Algoritmo1 mostra o pseudocódigo do RRC.

Algoritmo 1: Pseudocódigo do procedimento Retorno Relativo de Culturas (RRC) na HGARC.

```
Procedimento Constrói_RRC (n)
  Para i = 1 até n fazer
     $RRC(i) = \frac{LC_i}{duraçãodociclodaculturali}$ 
  Ordenar RRC
  Fim para
Retornar RRC
```

Fonte: Autores (2023)

Para construir uma solução inicial, primeiro o algoritmo executa um método que retorna uma lista com o Retorno Relativo da Cultura (RRC). Nesse trabalho, a RRC ordena as culturas em ordem decrescente da razão lucratividade por ciclo, ou seja, o valor da lucratividade de cada cultura é dividido pelo número de meses para que ela complete um ciclo.

A HGARC gera uma nova solução inicial a cada iteração do algoritmo. Este construtivo insere uma nova cultura em cada lote em cada período (respeitando as restrições) até formar uma solução. Para isso, o método constrói, para cada inserção, uma Lista de Candidatas

Heurística para rotação de culturas agrícolas

Restritas (LCR). Esta lista é gerada a partir da RRC, utilizando os valores associados a cada cultura.

A LCR é gerada a cada inserção com as culturas que podem ser incluídas (respeitando as restrições) em cada lote. A cada iteração, a cardinalidade da lista será multiplicada por um α , com valor entre [0,1]. O valor do α será escolhido aleatoriamente.

A LCR é ordenada em ordem decrescente de valor. A escolha da cultura a ser incluída na solução será aleatória. Esta escolha aleatória é feita para que as culturas escolhidas possam ser diversificadas, e com isso, as soluções também sejam diversificadas.

A solução é construída em cada linha da matriz, sempre respeitando as restrições do problema. O pseudocódigo está descrito no Algoritmo 2.

Após a geração da solução inicial, tem a fase de busca local onde os resultados encontrados tentam ser melhorados.

Para a solução poder ser modificada, primeiramente é selecionada aleatoriamente uma posição da matriz solução para ser modificada. Após escolhida a posição é selecionada uma cultura usando a RRC ordenada, sempre pegando a cultura com o maior valor relativo. Então essa cultura é testada e se estiver conforme todas as restrições impostas, ela é inserida na matriz solução.

A nova solução encontrada será aceita se melhorar a solução anterior. O pseudocódigo para a fase da busca local pode ser visto no Algoritmo 3 a seguir.

Algoritmo 2: Pseudocódigo da fase construtiva aplicada ao HGARC.

```
Procedimento Constrói_solução_Inicial (RRC, k)
S = ∅
Enquanto (todas as posições da matriz não estiverem ocupadas) Faça
    Para cada i = 1 até k faça
        Gerar a LRC (RRC)
        Determinar aleatoriamente  $\alpha$ 
         $LCR = \alpha * LCR$ 
        Seleciona aleatoriamente um elemento s da LRC
         $S = S \cup s$ 
    Fim Para
Fim Enquanto
Retorna (S)
Fim Constrói_solução_Inicial
```

Fonte: Autores (2023)

Algoritmo 3: Pseudocódigo da fase de busca local aplicada ao HGARC.

```
Procedimento Busca local RC (S, RRC, interMAX)
Enquanto ( $i < interMAX$ ) Faça
    Escolha aleatoriamente um elemento s na solução S
    Encontrar x o melhor elemento de RRC
    Se  $L_t(S \cup x) > L_t(S)$  Então
         $S = S \cup x$ 
    Fim se
Fim Enquanto
Retorna S
Fim Busca Local RC.
```

Fonte: Autores (2023)

Finalmente no Algoritmo 4 , o pseudocódigo completo é mostrado.

Algoritmo 4: Pseudocódigo do procedimento HGARC.

```

Procedimento HGARC (n, kiterMax, iterBI)
   $S^* = \emptyset$ 
  Procedimento Constrói_RRC (n)
    Para i = 1 até n Faça
       $RRC(i) = \frac{LC_i}{duraçãodociclodaculturai}$ 
    Ordenar RRC
  Fim para
  Retorna RRC
  Fim Procedimento Constrói_RRC

  Para k = 1 até iterMax Faça
     $S = \emptyset$ 
    Procedimento Constrói_solução_Inicial (RRC)
      Enquanto (todas as posições da matriz não estiverem ocupadas) Faça
        Para cada i = 1 até k Faça
          Gerar a LRC (RRC)
           $\alpha$  é determinado aleatoriamente
           $LCR = \alpha * LC$ 
          Seleciona aleatoriamente um elemento s da LRC
           $S = S \cup x$ 
        Fim Enquanto
        Retorna (S)
      Fim Procedimento Constrói_solução_Inicial (RRC)
    Procedimento Busca Local RC (S, RRC, iterBL)
      Enquanto (i < iterBL) Faça
        Escolha aleatoriamente um elemento s na solução S
        Encontrar x o melhor elemento de RRC
        Se  $L_t(S \cup x) > L_t(S)$  Então
           $S = S \cup x$ 
        Fim se
      Fim Enquanto
      Retorna S
    Fim procedimento Busca Local RC
    Se  $S^* > S$  então
       $S^* = S$ 
    Fim para
  Retorna  $S^*$ 
  Fim HGARC
  
```

Fonte: Autores (2023)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o desenvolvimento do algoritmo, foram utilizadas a seguinte configuração. O algoritmo foi desenvolvido na linguagem Java utilizando o software gratuito NetBeans IDE, versão 8.0.2 em um computador Core i7, com 6GB de memória RAM e 1TB de memória de disco rígido. Os

Heurística para rotação de culturas agrícolas

parâmetros para execução foram gerados empiricamente e são mostrados, assim como o tempo de execução do algoritmo, na tabela 1:

Tabela 1: Informações dos parâmetros aplicados o HGARC.

Número de Lotes (<i>k</i>)	Número de culturas (<i>n</i>)	Número de períodos	Número de famílias	Iter Max	Ite rBL	Tempo médio da execução (segundos)
10	30	12	10	200	100	10,2
15	30	12	10	200	100	12,6
20	30	12	10	200	100	13,7

Fonte: Autores(2022)

Na Tabela 2 apresenta-se o conjunto de culturas agrícolas consideradas em todos os ensaios numéricos realizados. A primeira coluna é o Id de cada cultura que aparece nas matrizes com as soluções, a segunda os nomes das culturas, em seguida a qual família pertence, épocas de plantio, ciclos de vida e lucratividade.

Tabela 2: Informações das culturas agrícolas com suas respectivas lucratividades.

Id	Cultura	Família	Época de Plantio		Ciclo de vida	Lucratividade (R\$)
			Início	Fim		
1	Alface	1 <i>Compositae</i>	Ano todo		2	300
2	Almeirão	1 <i>Compositae</i>	Ano todo		4	150
3	Couve	2 <i>Brassicaceae</i>	Março	Julho	3	300
4	Brócolis	2 <i>Brassicaceae</i>	Fevereiro	Julho	7	400
5	Repolho	2 <i>Brassicaceae</i>	Fevereiro	Julho	4	400
6	Couve-Flor	2 <i>Brassicaceae</i>	Março	Julho	4	900
7	Beterraba	3 <i>Chenopodiaceae</i>	Março	Julho	2	810
8	Espinafre	3 <i>Chenopodiaceae</i>	Fevereiro	Julho	2	600
9	Abobrinha	4 <i>Cucurbitaceae</i>	Agosto	Março	4	400
10	Moranga	4 <i>Cucurbitaceae</i>	Setembro	Janeiro	5	200
11	Pepino	4 <i>Cucurbitaceae</i>	Ano todo		4	450
12	Melancia	4 <i>Cucurbitaceae</i>	Agosto	Outubro	3	900
13	Alho	5 <i>Liliaceae</i>	Março	Abril	6	810
14	Cebola	5 <i>Liliaceae</i>	Março	Junho	4	430
15	Quiabo	6 <i>Malvaceae</i>	Agosto	Março	7	710
16	Milho	7 <i>Gramineae</i>	Agosto	Abril	3	350
17	Aveia	7 <i>Gramineae</i>	Março	Maio	6	350
18	Tomate	8 <i>Solanaceae</i>	Ano todo		5	810
19	Pimentão	8 <i>Solanaceae</i>	Ano todo		5	550
20	Batata	8 <i>Solanaceae</i>	Agosto	Outubro	3	240
21	Cenoura	9 <i>Umbelliferae</i>	Março	Julho	4	620
22	Salsinha	9 <i>Umbelliferae</i>	Setembro	Março	6	400
23	Feijão-Vagem	10 <i>Leguminosae</i>	Agosto	Abril	4	750
24	Ervilha	10 <i>Leguminosae</i>	Março	Abril	3	830
25	Feijão	10 <i>Leguminosae</i>	Agosto	Setembro	3	720
26	Crotalália	10 <i>Leguminosae</i>	Setembro	Dezembro	3	-
27	Feijão-de-Porco	10 <i>Leguminosae</i>	Setembro	Dezembro	3	-
28	Mucuna	10 <i>Leguminosae</i>	Setembro	Janeiro	3	-
29	Ervilha Peluda	10 <i>Leguminosae</i>	Março	Junho	4	-
30	Pousio	-	Ano todo		1	-

Fonte: (Araújo & Mauri 2013; Filho 2012).

Heurística para rotação de culturas agrícolas

Cada lote possui uma determinada área que é apresentado na Tabela 3 e na Figura 5 estão as configurações de adjacência para 10, 15 e 20 lotes. (Araújo & Mauri, 2013, Filho, 2012).

Tabela 3: Tamanho dos lotes

Lote	Área	Lote	Área
1	1,50	11	2,00
2	2,00	12	3,00
3	2,00	13	4,00
4	2,25	14	3,00
5	3,00	15	5,50
6	3,00	16	2,50
7	3,00	17	3,75
8	4,00	18	5,00
9	4,00	19	3,75
10	8,25	20	2,50

Fonte: (Araújo & Mauri 2013; Filho 2012).

Figura 5: Configurações para 10, 15 e 20 lotes

				1	2	3	11			1	2	3	11	16
1	2	3		4	5	6	12			4	5	6	12	17
4	5	6		7	8	9	13			7	8	9	13	18
7	8	9		10			14			10			14	19
10				15						15				20

Fonte: (Araújo & Mauri 2013; Filho 2012).

O HCARC foi executado com 10, 15 e 20 lotes. Foram realizadas 10 execuções para cada lote. As culturas são inseridas na matriz uma de cada vez. Todo lote deve ter no mínimo uma leguminosa e um pousio. O número de períodos utilizado foram 12, correspondendo de janeiro-dezembro. Como foi explicitado anteriormente nas restrições que devem ser seguidas para ocorrer o plantio da rotação de culturas, cada linha (lote) possui ao menos um pousio representado pelo id 30 (trinta) e também em cada lote deve haver ao menos uma leguminosa, representadas pelos id entre 23 e 29. A Tabela 4 contém os resultados da melhor solução inicial e a respectiva solução final após a aplicar a busca local.

Heurística para rotação de culturas agrícolas

Tabela 4: Resultados com as melhores soluções para solução inicial e após aplicar a busca local na mesma.

Lotes	Solução Inicial(R\$)	Solução após busca local (R\$)
10	R\$ 83.532,00	R\$ 85.932,50
15	R\$ 129.285,50	R\$ 130.195,00
20	R\$ 163.195,00	R\$ 165.305,00

Fonte: Autores (2023)

A Tabela 5 mostra o melhor resultado obtido e o valor médio após 10 execuções. É importante ressaltar que os resultados a seguir são compostos por culturas que têm seu início no fim do ano e continuam a ser plantadas no início do ano. O ideal seria todas as culturas iniciarem e terminarem no mesmo ano. Porém, ao executar o algoritmo da forma que seria o ideal, ou seja, com o plantio todo em 12 meses, a lucratividade diminui em relação aos outros estudos encontrados na literatura. Dessa forma o algoritmo foi adaptado para que os resultados pudessem ser comparados com os de outros autores, utilizando o mesmo meio de alocação das culturas.

Tabela 5: Resultados com as melhores soluções e com as médias dos valores encontrados após 10 execuções

Lotes	Melhor Solução (R\$)	Solução Média (R\$)
10	R\$ 85.932,50	R\$ 83.298,50
15	R\$ 130.195,00	R\$ 129.285,50
20	R\$ 165.305,00	R\$ 163.735,50

Fonte: Autores(2022)

A Tabela 6 apresenta a comparação das médias dos resultados obtidos pelo HGARC com o *Clustering Search (CS)* (Araújo & Mauri 2013) além do trabalho de (Filho 2012), que utilizou o mesmo problema, mas utilizando o *Algoritmo Genético (AG)*, *Simulated Annealing (SA)*, *Algoritmo Memético (AM)* e *AG com SA*.

Tabela 6: Comparação dos resultados da HGARC com a literatura.

Lotes/Método	HGARC(R\$)	CS(R\$)	AG(R\$)	AS(R\$)	AM(R\$)	AG+AS(R\$)
10	83.298,50	78.149,40	55.022,00	68.304,00	55.369,00	66.985,00
15	129.285,50	118.457,90	74.910,00	101.200,00	86.916,00	91.796,00
20	163.735,50	168.048,30	90.590,00	128.890,00	119.140,00	136.708,00
Total	376.319,50	364.655,60	220.522,00	298.394,00	261.425,00	295.489,00
Diferença (%)	0,0	3,19	42,50	20,75	30,60	21,54

Fonte: Autores (2023)

Finalmente, os resultados nas Figuras 6-8 ilustram, respectivamente, os melhores resultados obtidos pelo HGARC para 10, 15 e 20 lotes.

Heurística para rotação de culturas agrícolas

Figura 6: Resultado com restrição de adjacências para dez lotes com mais de doze meses

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	1.0	1.0	24.0	24.0	24.0	7.0	7.0	12.0	12.0	12.0	30.0	30.0
2	18.0	8.0	8.0	30.0	30.0	25.0	25.0	25.0	18.0	18.0	18.0	18.0
3	23.0	23.0	23.0	23.0	7.0	7.0	30.0	12.0	12.0	12.0	30.0	30.0
4	30.0	30.0	6.0	6.0	6.0	6.0	30.0	23.0	23.0	23.0	23.0	30.0
5	1.0	1.0	24.0	24.0	24.0	8.0	8.0	12.0	12.0	12.0	30.0	30.0
6	18.0	30.0	7.0	7.0	30.0	25.0	25.0	25.0	18.0	18.0	18.0	18.0
7	1.0	1.0	24.0	24.0	24.0	8.0	8.0	12.0	12.0	12.0	30.0	30.0
8	18.0	18.0	30.0	30.0	7.0	7.0	25.0	25.0	25.0	18.0	18.0	18.0
9	1.0	1.0	24.0	24.0	24.0	8.0	8.0	12.0	12.0	12.0	30.0	30.0
10	23.0	30.0	7.0	7.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	23.0	23.0	23.0

Fonte: Autores (2023)

Figura 7: Resultado com restrição de adjacências para quinze lotes com mais de doze meses.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	1.0	1.0	7.0	7.0	1.0	1.0	30.0	23.0	23.0	23.0	23.0	30.0
2	16.0	30.0	24.0	24.0	24.0	7.0	7.0	1.0	1.0	30.0	16.0	16.0
3	18.0	30.0	7.0	7.0	30.0	25.0	25.0	25.0	18.0	18.0	18.0	18.0
4	16.0	30.0	24.0	24.0	24.0	7.0	7.0	1.0	1.0	30.0	16.0	16.0
5	1.0	1.0	7.0	7.0	1.0	1.0	30.0	23.0	23.0	23.0	23.0	30.0
6	16.0	30.0	24.0	24.0	24.0	7.0	7.0	1.0	1.0	30.0	16.0	16.0
7	23.0	30.0	7.0	7.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	23.0	23.0	23.0
8	16.0	30.0	24.0	24.0	24.0	7.0	7.0	1.0	1.0	30.0	16.0	16.0
9	23.0	30.0	1.0	1.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	23.0	23.0	23.0
10	30.0	30.0	7.0	7.0	30.0	25.0	25.0	25.0	7.0	7.0	30.0	30.0
11	1.0	1.0	24.0	24.0	24.0	7.0	7.0	1.0	1.0	30.0	30.0	30.0
12	18.0	30.0	7.0	7.0	30.0	25.0	25.0	25.0	18.0	18.0	18.0	18.0
13	1.0	1.0	24.0	24.0	24.0	7.0	7.0	1.0	1.0	30.0	30.0	30.0
14	23.0	30.0	7.0	7.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	23.0	23.0	23.0
15	16.0	30.0	24.0	24.0	24.0	7.0	7.0	1.0	1.0	30.0	16.0	16.0

Fonte: Autores (2023)

Heurística para rotação de culturas agrícolas

Figura 8: Resultado com restrição de adjacências para vinte lotes com mais de doze meses.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	23.0	23.0	7.0	7.0	1.0	1.0	30.0	12.0	12.0	12.0	23.0	23.0
2	1.0	1.0	24.0	24.0	24.0	7.0	7.0	25.0	25.0	25.0	30.0	30.0
3	23.0	23.0	7.0	7.0	1.0	1.0	30.0	12.0	12.0	12.0	23.0	23.0
4	1.0	1.0	24.0	24.0	24.0	8.0	8.0	25.0	25.0	25.0	30.0	30.0
5	23.0	23.0	7.0	7.0	1.0	1.0	30.0	12.0	12.0	12.0	23.0	23.0
6	1.0	1.0	24.0	24.0	24.0	8.0	8.0	25.0	25.0	25.0	30.0	30.0
7	23.0	23.0	7.0	7.0	1.0	1.0	30.0	12.0	12.0	12.0	23.0	23.0
8	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	25.0	25.0	25.0	1.0	1.0	30.0	30.0
9	23.0	23.0	7.0	7.0	1.0	1.0	30.0	12.0	12.0	12.0	23.0	23.0
10	30.0	30.0	24.0	24.0	24.0	7.0	7.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
11	1.0	1.0	24.0	24.0	24.0	8.0	8.0	25.0	25.0	25.0	30.0	30.0
12	23.0	23.0	7.0	7.0	1.0	1.0	30.0	12.0	12.0	12.0	23.0	23.0
13	1.0	1.0	24.0	24.0	24.0	7.0	7.0	25.0	25.0	25.0	30.0	30.0
14	23.0	23.0	7.0	7.0	1.0	1.0	30.0	12.0	12.0	12.0	23.0	23.0
15	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	25.0	25.0	25.0	1.0	1.0	30.0	30.0
16	23.0	23.0	7.0	7.0	1.0	1.0	30.0	12.0	12.0	12.0	23.0	23.0
17	1.0	1.0	24.0	24.0	24.0	8.0	8.0	25.0	25.0	25.0	30.0	30.0
18	23.0	23.0	7.0	7.0	1.0	1.0	30.0	12.0	12.0	12.0	23.0	23.0
19	1.0	1.0	24.0	24.0	24.0	8.0	8.0	25.0	25.0	25.0	30.0	30.0
20	23.0	23.0	7.0	7.0	1.0	1.0	30.0	12.0	12.0	12.0	23.0	23.0

Fonte: Autores (2023)

Observando os resultados foi possível notar que algumas culturas aparecem com mais frequência que outras e isto ocorre devido a elas serem mais flexíveis em questão de época de plantio, ou seja, elas podem ser plantadas em muitas épocas do ano, enquanto outras são restritas a apenas poucos meses. Um exemplo seria a alface, representado pelo número 1, que aparece que grande frequência em todos os resultados e isso ocorre pelos motivos explicitados anteriormente, ela é uma cultura flexível, pode ser plantada o ano inteiro e o ciclo dura apenas dois meses, o que possibilita alocá-la em qualquer lote e período com espaços livres suficientes.

CONCLUSÕES

O HGARC representa uma heurística flexível dimensionalmente, pode-se aumentar o número de culturas, períodos, lotes, e considerar diferentes quantidades de dias para cada período. A heurística pode ser adaptada a variados tipos de problemas reais, auxiliando ao produtor nas tomadas de decisões.

A ferramenta computacional apresentada para resolver problemas de rotação de culturas agrícolas e de fácil implementação, pode representar uma ferramenta de utilidade para alcançar níveis maiores de lucro, já que com alocação das culturas certas, no tempo e locais adequados, o retorno resulta maior.

Uma das dificuldades encontradas é a variação dos preços das culturas, pois o planejamento prévio prever um determinado preço. Isso pode ser resolvido, refazendo o planejamento.

Para um trabalho futuro o HGARC poderia ser testado com problemas maiores, ou seja, com uma gama maior de culturas, lotes, períodos de plantio, entre outros.

Também pode ser feita uma pesquisa de campo a fim de adquirir dados reais de todos os lotes, culturas e seus respectivos períodos de plantio e para tornar o resultado do trabalho mais real ainda, adicionar informações do clima ao problema.

Referências

- Bernstein B. (1996) A Estrutura do Discurso Pedagógico: Classe, códigos e controle. Petrópolis: Vozes. 302 p.
- Bernstein B. (1999) Vertical and horizontal discourse: an essay. *British Journal of Sociology of Education*, 20(2): 157–173.
- Bertoldo T.A.T. (2018) Roda de conversa como estratégia promotora de capacidades de pensamento crítico. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática). Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe.
- Bertoldo T.A.T. & Wartha E.J. (2020) A roda de conversa como estratégia para o desenvolvimento de pensamento crítico. *ACTIO*, 5(2): 1–20. <https://doi.org/10.3895/actio.v5n2.10431>
- Bourdieu P. (1996) Razões práticas: sobre a teoria da ação. Tradução de Mariza Corrêa. Campinas: Papirus. 230p.
- Candela A. (1998) A construção discursiva de contextos argumentativos no ensino de ciências (p. 143–170). *In*: Coll C. & Edwards D. (Orgs). Ensino, aprendizagem discurso em sala de aula. Porto Alegre: Artes Médicas. 342 p.
- Capecchi M.C.V.M., Carvalho A.M.P. & Silva D. (2000) Relações entre o discurso do professor e a argumentação dos alunos em uma aula de física. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 2(2): 152–166. <https://doi.org/10.1590/1983-2117200002020>
- Carlsen W.S. (2007) Language and science learning (p. 57–74). *In*: Abell S.K. & Lederman N.G. (Eds). Handbook of research on science education. London: Lawrence Erlbaum Associates Publishers. 1330 p.
- Driver R., Asoko H., Leach J., Scott P. & Mortimer E. (1994) Constructing Scientific Knowledge in the Classroom. *Educational Researcher*, 23(7): 5–12. <https://doi.org/10.3102/0013189X023007005>
- Ennis R. (1985) A Logical Basis for Measuring Critical Thinking Skills. *Educational Leadership*, 43(2): 44–48. <https://jgregorymcverry.com/readings/ennis1985assessingcriticalthinking.pdf>
- Jiménez-Aleixandre M.P. & Bustamante J.D. (2003) Discurso de aula y argumentación en la clase de ciências: cuestiones teóricas y metodológicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 21: 359–370.
- Jiménez-Aleixandre M.P., Mortimer E.F., Silva A.C.T. & Díaz J. (2008) Epistemic Practices: an analytical framework for science classrooms. Paper presented to AERA. New York City.
- Jiménez-Aleixandre M.P. & Crujeiras B. (2017) Epistemic Practices and Scientific Practices in Science Education (p. 69–80). *In*: Taber K. & Akpan B. (Eds). Science Education: An International Course Companion. Rotterdam: Sense Publishers. 616 p.
- Jiménez J.P.C., Melo G., Bacigalupo F. & Manghi D. (2016) Olas de significado en la interacción profesor-alumno: análisis de dos clases de ciências naturales de um 6to. de primaria. *Ciência & Educação*, 22(2): 335–350. <http://doi.org/10.1590/1516-731320160020005>
- Kelly G.J. (2005) Inquiry, activity, and epistemic practices. *In*: Inquiry conference on developing a consensus research agenda. New Brunswick: Proceeding of Inquiry Conference on Developing a Consensus Research Agenda.
- Kelly G.J. (2007) Discourse in science classrooms (p. 443–470). *In*: Abell S. & Lederman N. (Eds). Handbook of research on science teaching. Mahwah: Lawrence Erlbaum. 1344 p.
- Kelly G.J. (2008) Inquiry, activity and epistemic practice (p. 99–117). *In*: Duschl R. & Grandy R. (Eds). Teaching Scientific Inquiry: Recommendations for research and implementation. Rotterdam: Sense Publishers. 380 p. https://doi.org/10.1163/9789460911453_009
- Kelly G. & Duschl R. (2002) Toward a research agenda for epistemological studies in science education. *In*: Annual Meeting of The National Association for Research In Science Education. Nova Orleans: NARST.

- Lidar M., Lundqvist E. & Östman L. (2005) Teaching and Learning in the Science Classroom: The Interplay between Teachers' Epistemological Moves and Students' Practical Epistemology. *Science Education*, 90: 148–163. <https://doi.org/10.1002/sce.20092>
- Lima M.C.B. & Carvalho A.M.P. (2003) Linguagem e o Ensino de Física na Escola Fundamental. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 20(1): 86–97. <http://doi.org/10.5007/%25x>
- Lima-Tavares M. (2009) Argumentação em sala de aula de biologia sobre a teoria sintética da evolução. Tese (Programa de Pós-Graduação em Educação). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais.
- Maton K. (2011) Theories and things: The semantics of disciplinarity (p. 62–86). *In*: Christie F. & Maton K. (Eds). *Disciplinarity: Functional linguistic and sociological perspectives*. London: Continuum. 272 p.
- Maton K. (2013) Making semantic waves: A key to cumulative knowledge-building. *Linguistics and Education*, 24(1): 8–22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.linged.2012.11.005>
- Maton K. (2014a) A TALL order? Legitimation Code Theory for academic language and learning. *Journal of Academic Language & Learning*, 8(3): A34–A48. <http://journal.aall.org.au/index.php/jall/article/viewArticle/348>
- Maton K. (2014b) Knowledge and knowers: Towards a realist sociology of education. London: Routledge. 256 p.
- Maton K. (2016) Legitimation code theory: building knowledge about knowledge-building (p. 1–22). *In*: Maton K., Hood S. & Shay S. (Eds). *Knowledge-building: educational studies in legitimation code theory*. New York: Routledge. 282 p.
- Méheut M. & Psillos D. (2004) Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5): 515–535.
- Mortimer E.F. (2000) Linguagem e formação de conceitos no ensino de Ciências. Belo Horizonte: Editora UFMG. 383 p.
- Mortimer E.F. & Scott P.H. (2002) Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(3): 283–306. http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID94/v7_n3_a2002.pdf
- Mortimer E.F. & Scott P. (2003) Meaning making in secondary science classrooms. Buckingham: Open University Press. 157 p.
- Motokane M.T. (2015) Sequências didáticas investigativas e argumentação no ensino de ecologia. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 17(extra): 115–138. <https://doi.org/10.1590/1983-2117201517s07>
- Patrício M. (1993) Lições de axiologia educacional. Lisboa: Universidade Aberta. 353 p. <http://id.bnportugal.gov.pt/bib/bibnacional/1080001>
- Sasseron L.H. (2015) Alfabetização Científica, Ensino por Investigação e Argumentação: relações entre Ciências da Natureza e escola. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 17(spe): 49–67. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-2117201517s04>
- Silva A.C.T. & Mortimer E.F. (2013) Contrastando professores de estilos diferentes: uma análise das estratégias enunciativas desenvolvidas em salas e aula de Química. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 12: 524–524.
- Silva A.C.T. (2015) Interações discursivas e práticas epistêmicas em salas de aula de ciências. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 17: 69–96. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-2117201517s05>
- Silva A.C.T. (2011) Práticas e movimentos epistêmicos em atividades investigativas de Química. *In*: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação, 5, 2011, Campinas.
- Silva E.L. & Wartha E.J. (2018) Estabelecendo relações entre as dimensões pedagógica e epistemológica no Ensino de Ciências. *Ciência & Educação*, 24(2): 337–354. <https://doi.org/10.1590/1516-731320180020006>
- Smolka A.L.B. (1995) A concepção de linguagem como instrumento: um questionamento sobre práticas discursivas e educação formal. *Temas em Psicologia*, 3(2): 11–21. http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-

Heurística para rotação de culturas agrícolas

389X1995000200003&lng=pt&tlng=PT

Tenreiro-Vieira C. & Vieira R.M. (2005) Estratégias de Ensino/Aprendizagem. Lisboa: Instituto Piaget. 164 p.

Warschauer C. (2001) Rodas em rede: oportunidades formativas na escola e fora dela. Rio de Janeiro: Paz e Terra. 378 p.

Anexos

PE (práticas epistêmicas), ME (movimentos epistêmicos), GS (gravidade semântica) e DS (densidade semântica).

Unidades de análise – Episódio B (Roda 2)

Transcrição das falas	PE	ME	GS	DS
Professora: Em 1831 Darwin era naturalista, porque em 1826 ele não saiu da faculdade de medicina, aí ele foi estudar história natural, foi aprender empalhar pássaros, inclusive não mostra no filme ele com os pássaros empalhados guardando no navio, lembram? Então ele foi aprender, ele foi estudar história natural e aí em 1831 ele já era um naturalista, ou seja, ele já tinha o conhecimento científico da academia, da universidade, e aí ele foi convidado pra viagem... Não foi isso que a gente perguntou...		Elaboração	2	3
Aluno: Professora, também tem o caso ele tinha 20 anos na época né?	Comunicação		2	3
Professora: 22...		Instrução	2	3
Aluno: Além de ser um naturalista experiente, ele também tinha condições físicas para isso, ele não era idoso nem nada, ele tinha condições, se precisasse de uma tarefa que precisasse de força, ele... Professora: É, pode ser. Aluno: Professora, tipo ou é porque o pai dele poderia ter contratado, esses caras no meio do barco.	Produção		2	2
Professora: Não eles não eram donos do barco, era um barco que iria fazer um percurso grande, lembram que nessa época, no século XIX, havia grandes viagens marítimas, Darwin foi convidado porque aproveitaria esse percurso...		Reelaboração	2	1
Aluno: Mas o pai dele era famoso, era médico, então tipo, eles começaram a saber que o filho do médico muito famoso era naturalista então tiveram a ideia de chamar ele.	Avaliação		2	1
Professora: Ela pediu primeiro...		Instrução	2	1
Aluna: É, é. Professora: É porque a gente fica com tanta vontade de falar né?	Comunicação		2	

Heurística para rotação de culturas agrícolas

Que na hora que diz esquece... Lembrou...				
Aluna: A sim, ele deve ter pensado que, ele com tanta pressão em cima dele, tipo, o pai dele médico renomado, ele queria que ele fizesse medicina, daí ele largou o curso, mesmo o pai botando pressão, e tantas coisas, ele passou por isso e também ele sendo naturalista experiente, eles pensaram eu acho que ele vai aguentar muita coisa aqui, sabe, eu acho que ele vai ajudar muita coisa e ele também vai ajudar com a experiência dele.	Produção	2	1	
Aluna: Ô tia, o pai dele num era pastor?	Comunicação	2	2	
Professora: O pai dele era médico profissional, mas ele tinha uma função na igreja...	Confirmação			
Aluna: Ahhh...		2	2	
Professora: E Darwin estava sendo preparado para ocupar essa função, só que Darwin viajando durante 5 anos fora como é que ia ver essa preparação... Alguém pode falar... Depois eu tenho uma cartinha aqui que Darwin enviou no outro dia, ele não enviou uma carta pro professor, no outro dia ele enviou para o pai, e aí eu vou ler um trequinho pra vocês, pra gente ver aqui pegar fogo pra acender essa discussão... É.	Reelaboração	2	2	
Aluna: Eu acho que ele, meio que, como era o que ele queria fazer, ser naturalista, tá certo professora?	Avaliação	2	2	
Professora: Sim.				
Aluna: Enfim, ele se desempenhava muito, e ele tinha muita curiosidade, ele queria saber mais, mas não por livros, mais sim por ele vendo, ele sentindo e por isso ele falou assim, eu vou, quero muito descobrir, aprender algo novo então acho que ele falou assim, eu vou...	Compreensão	2		

Unidades de análise – Episódio C (Roda 3)

Transcrição das falas	PE	ME	GS	DS
Professora: E aí, ele se prepara para enviar os seus escritos para a comunidade científica ler, interpretar e aceitar ou não a ideia que... Pode falar.	Comunicação	Elaboração	3	1
Aluna: Ô Tia, na verdade eu acho o seguinte, eu acho que ele se sentiu ameaçado por Wallace e tipo assim como ele descobriu há mais tempo que Wallace ele vai roubar, não roubar porque ele não sabia que ele tinha, mas ele vai tipo roubar as ideias dele. Ele que descobriu há mais tempo não publicou, mas Wallace que descobriu há pouco tempo vai publicar? Aí vai parecer que a ideia é de Wallace e não de Darwin. Eu acho que é tipo isso.	Produção	Comunicação	2	1
Professora: Então...		Instrução	2	1
Aluna: Eu acho que assim *não dá para entender*... Ele pode ter ficado pensando que ele ia perder essa oportunidade porque Wallace ia publicar primeiro	Avaliação	Produção		
Professora: Então Darwin publicou ou quis publicar antes de Wallace por mera vaidade? Como vocês explicariam isso?	Comunicação	Reelaboração	2	1
Aluna: Eu acho sim que era vaidade dele. Eu fiquei pensando, tanto tempo ele colheu tanta coisa, estudando e acho que ele realmente sentiu medo de	Produção	Avaliação	2	1

Heurística para rotação de culturas agrícolas

perder algo que ele passou um grande tempo procurando. Aí acho que ele quis: "Não vou perder os meus estudos agora e por causa de um simples medo. Eu vou publicar porque isso pode ser uma grande descoberta".				
Professora: Por que nas liberdades que nós temos hoje, às vezes fica mais difícil a gente imaginar que alguém tinha medo de divulgar algo que discutia, porque hoje é a primeira coisa que se faz, né? Com tanta internet, se descobre algo e a primeira coisa que se faz é divulgar, né? Mas em 1831, discutir sobre Evolução e dizer que Deus não fez todas as espécies e que elas eram fixas, era desafiador. Então, como vocês justificariam esse medo que Darwin sentia? Esse receio... Alguém seria corajoso aqui?	Comunicação	Síntese	3	3
Aluna: Eu não sei.		Comunicação	3	3
Professora: 'Pere' aí, falou você e falou... Diga.		Instrução	3	3
Aluna: Eu acho que tipo assim, naquela época muitos cientistas não podiam provar o que falavam, porque tinham medo até de morrer. Porque naquela época, qualquer descoberta dessa a Igreja poderia matar, sei lá tia. Eu não sei explicar não, mas tipo sei lá, pena de morte?	Produção	Avaliação	2	3
Aluna: Tia, acho que tipo completando o que ela falou, a igreja era o centro de tudo naquela época e você tentar *não dá para entender*... Algo que a igreja fala, todo mundo ia olhar estranho, feio pra você, porque você 'tá' tentando provar o contrário do que, tipo é o centro vital daquela época era a igreja.	Avaliação	Produção	2	3
Aluna: Porque eles achavam isso. *não dá para entender*. Se na Bíblia diz que a gente foi feito por ele, você vir e dizer que é uma farsa. Também é algo que é meio que um susto para todo mundo.	Avaliação	Produção	2	3
Aluno: Eu acho que ele possui medo, eles já teriam relatado a história sobre Galileu Galilei, que foi o homem que morreu... Não... Amigo dele não... Foi morto ao tentar provar ao contrário do que eles diziam.	Produção	Avaliação	2	3
Aluno: A terra não é o centro do universo.	Comunicação		2	3
Aluno: Sim. Então como eu acho que já existem relatos, eu acho que eles já sabiam que a igreja poderia matar pessoas. Então eu acho que ele possuía esse medo mais pela igreja. Você acha que se não tivesse igreja assim, ele teria, logo que ele já tivesse descoberto, ele já teria divulgado e eu acho que ele aprimoraria estudando para aprimorar. Eu acho que ele não postou por vaidade, eu acho que ele teria postado se a igreja não existisse, mas por tentar mostrar ao mundo algo novo, algo que eles desconheciam. Não vaidade, não por ele ser vaidoso, mas por puro e mero conhecimento. Obrigado. É isso.	Avaliação			
Professora: Se vocês tivessem, se vocês tivessem que tomar algumas decisões de Darwin tomou, pensando na vida dele de quando ele entrou na faculdade de medicina até a publicação do livro, por aquela história que ele viveu... O que é que vocês teriam feito igual e o que é que vocês teriam feito diferente? De Darwin.	Comunicação	Compreensão	2	3
Aluno: Feito igual largar a medicina.	Avaliação		2	3
Professora: O que vocês poderiam... O que vocês... Diga.		Instrução	2	3
Aluno: Eu ia fazer a faculdade de Medicina. Só isso. Ia ser diferente. Ele deixou, num foi, a medicina para ser naturalista, num é isso?	Produção		2	3

REFERÊNCIAS

- Altieri M. A. (1997) *Agroecology, The science of sustainable agriculture*. second edition Westview Press, 448p.
- Alvarenga R.C., Neto M.M.G. (2008) Sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) de corte da Embrapa Milho e sorgo. Ed. Embrapa, 6p.
- Araújo D. L., Mauri G. R. (2013) Clustering search para resolução de um problema de rotação de culturas com restrições de adjacências. Dissertação. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES.
- Arf O., Silva L.S., Buzetti S., Alves M.C., Sá M.E., Rodrigues R. A.F., Hernandez F.B.T. (1999) Efeito da rotação de culturas, adubação verde e nitrogenada sobre o rendimento do feijão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, n.11, p.2029-2036.
- Delgado A. R. S., Drumond Ventura S. (2019) *Leituras em Agromatemática*, 1ª edição. Editora Appris, 267 p.
- Feo T., Resende M. (1995) Greedy randomized adaptive search procedures. *Journal of Global Optimization*, Ed. 6, p. 109-133.
- Filho A. A. Metaheurísticas (2012) Em Um Problema De Rotação De Culturas. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Botucatu - SP. p. 62.
- Franchini J. C., Costa M. J., Debiasi H., Torres H. (2011) Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná. Londrina . Ed. Embrapa Soja. p.47
- Kluthcouski J., Stone L.F., Aidar H. (2011) Integração Lavoura-Pecuária. Embrapa. Equipe Sistemas Santa Fé, p.570.
- Lacerda E.G.M., Carvalho A.C.P.L. (1999) Introdução aos algoritmos genéticos. In: Galvão, C.O., Valença, M.J.S. (org.) *Sistemas inteligentes: aplicações a recursos hídricos e ciências ambientais*. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. p. 99-150.
- Lemalade J.L., Nagih A., Plateau G.A. (2011) MIP flow model for crop-rotation planning in a context of forest sustainable development, *Annals of operations Research* 190, p.149-164.
- Penteadó S.R. (2012) *Implantação do cultivo orgânico: planejamento e plantio*. 2a ed. Campinas: Via Orgânica, 62 p.
- Santos L.M.R., Santos R.H., Arenales M.N. (2007) Raggi, L.A. Um modelo para a programação de rotação de culturas. *Pesq. Operacional*, v. 27, n.3, p.535-547.
- Tillman D., Cassman K.G, Matson P.A, Naylor R., Polask S. (2002) "Agricultural sustainability and intensive production practices". *Nature*, 418, 671–677.