

# NOTA

## APTIDÃO AGRÍCOLA E ALGORITMOS GENÉTICOS NA ORGANIZAÇÃO ESPACIAL EM PROJETOS DE REFORMA AGRÁRIA<sup>(1)</sup>

Jose Ambrósio Ferreira Neto<sup>(2)</sup>, Mayron César de Oliveira Moreira<sup>(3)</sup>, Edgard Carneiro dos Santos Junior<sup>(4)</sup>, Urbano Fra Paleo<sup>(5)</sup> & João Luiz Lani<sup>(6)</sup>

### RESUMO

A definição das parcelas familiares em projetos de reforma agrária envolve questões técnicas e sociais. Essas questões estão associadas principalmente às diferentes aptidões agrícolas do solo nestes projetos. O objetivo deste trabalho foi apresentar método para realizar o processo de ordenamento territorial em assentamentos de reforma agrária empregando Algoritmo Genético (AG). O AG foi testado no Projeto de Assentamento Veredas, em Minas Gerais, e implementado com base no sistema de aptidão agrícola das terras.

**Termos de indexação:** ordenamento territorial, assentamentos rurais, algoritmos heurísticos.

**SUMMARY:** *SOIL SUITABILITY AND GENETIC ALGORITHMS FOR SPATIAL ORGANIZATION OF AGRARIAN REFORM PROJECTS*

*The definition of family settlement plots in land reform projects involves technical and social issues. These aspects are mainly related to differences in the agricultural suitability of the soil in these projects. The objective of this study was to introduce a procedure for an optimal subdivision of the land by cross-linking projects by a Genetic Algorithm (GA). The GA was tested in the rural settlement Veredas, located in Padre Paraíso, in the region of the Vale do Jequitinhonha, State of Minas Gerais, Brazil. It was implemented based on the soil suitability and productivity index.*

*Index terms:* Territorial Order, Rural Settlements, Heuristic Algorithms.

---

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em outubro de 2009 e aprovado em novembro de 2010.

<sup>(2)</sup> Professor Associado II, Departamento de Economia Rural, Universidade Federal de Viçosa – UFV. Bolsista CAPES; Professor Visitante, Universidade de Santiago de Compostela, Lugo, Espanha. E-mail: ambrosioufv@gmail.com

<sup>(3)</sup> Mestrando, Universidade de São Paulo, ICMC, São Carlos, Brasil, E-mail: mayron@icmc.usp.br

<sup>(4)</sup> Mestrando, Departamento de Economia Rural, UFV. E-mail: edgard.junior@yahoo.com.br

<sup>(5)</sup> Professor efetivo, Universidade de Santiago de Compostela, Lugo, Espanha, E-mail: urbano.fra@usc.es

<sup>(6)</sup> Professor Associado II, Departamento de Solos, NEPUT, Universidade Federal de Viçosa – UFV. E-mail: lani@ufv.br

## INTRODUÇÃO

Na constituição dos assentamentos rurais de reforma agrária, o planejamento do espaço de produção agrícola é realizado obedecendo a critérios relativos aos diferentes tipos de unidades produtivas e formas de uso da terra. Nesse sentido, a organização territorial dos projetos leva em consideração apenas o caráter produtivo das unidades delineadas, não dando relevância às questões relacionadas à convivência e à participação das famílias envolvidas. Embora possam ocorrer alterações, o processo de organização territorial dos assentamentos rurais geralmente envolve o zoneamento e delimitação dos seguintes elementos: Áreas de Preservação Permanente (APP), Reserva Legal (RL), Áreas Comunitárias (AC) e Parcelas ou Lotes Familiares. Apesar de no Brasil o INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – ser o órgão responsável pela condução da reforma agrária, nem sempre ele é o encarregado da execução dos planos de ordenamento territorial nos assentamentos. É comum esse trabalho ser transferido a instituições como universidades, empresas estaduais de assistência técnica, ONGs e outras. Como responsável pelos projetos, o INCRA estabelece normas que servem de orientação para as equipes que elaboram o PDA (Plano de Desenvolvimento Sustentável do Assentamento), que contempla também a organização territorial. Essas normas devem orientar o trabalho das equipes encarregadas da discussão com a comunidade sobre a forma de organização territorial e produtiva do assentamento, buscando o atendimento das expectativas dela e o cumprimento da legislação, para posterior execução dos trabalhos de medição, demarcação e georreferenciamento dos lotes.

A etapa do parcelamento das terras nos assentamentos constitui um dos principais desafios, uma vez que não se encontra um método específico para implementá-la. No processo de obtenção de terras para a reforma agrária realizado pelos técnicos do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, o Manual de Obtenção de Terras e Perícia Judicial (INCRA, 2006b) recomenda que o Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras seja realizado com base no Sistema de Capacidade de Uso (Lepsch et al., 1991) e nas normas do Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Embrapa, 1988). Por outro lado, no processo de preparação do anteprojeto de parcelamento do assentamento, geralmente realizado por entidades contratadas para elaboração do Plano de Desenvolvimento do Assentamento (PDA), a Norma de Execução/INCRA/DD/No.71/2008 apenas recomenda que essa atividade se oriente pelo diagnóstico das condições físicas e edafoclimáticas do imóvel, sem especificar como essas informações serão utilizadas no delineamento do número e tamanho das parcelas. Do mesmo modo, o Roteiro para Elaboração dos Anteprojetos de Parcelamento (INCRA, 2006) sequer faz menção a

essas condições físicas do imóvel como referência para o parcelamento. Para orientar essa atividade, Schneider & Klampt (2002) sugerem método para o parcelamento de lotes que leva em consideração a qualidade das terras, segundo a qual são atribuídos índices de qualidade a elas, gerando-se lotes cuja área será inversamente proporcional à qualidade das terras que possuem.

Por outro lado, é importante salientar que o processo de parcelamento nos projetos de reforma agrária não é uma questão de ordem exclusivamente técnica. O delineamento dos lotes depende do nível de organização social das famílias envolvidas, bem como da capacidade e do interesse dos técnicos encarregados das ações em focalizar o processo em critérios participativos e adaptados às necessidades e demandas da agricultura familiar, além, é claro, da qualidade das terras.

Por isso, faz-se necessário realizar adaptações nos critérios agrônômicos convencionais relacionados ao Sistema de Capacidade de Uso ou ao Sistema de Aptidão Agrícola das Terras, sem deixar de valorizar o conhecimento “tradicional” das populações locais. No entanto, como mostram os trabalhos de Freitas (2004), Ferreira Neto & Doula (2006) e Milagres et al. (2010), não é isso o que ocorre na prática. Tanto o INCRA quanto as entidades contratadas têm optado pelo delineamento de lotes homogêneos e regulares, sem levar em consideração nem os critérios agrônômicos mencionados nem a participação efetiva das famílias envolvidas. Assim, de forma geral, no parcelamento dos lotes nos assentamentos rurais organizados pelo INCRA, predomina a opção pelo chamado “quadrado burro”, em que são delineados lotes com poucos ângulos e com áreas muito semelhantes, apesar de possuírem aptidões agrícolas, condições de relevo, disponibilidade hídrica e outras características físicas distintas.

O objetivo deste trabalho foi apresentar um método que realiza o delineamento dos lotes, ou áreas de interesse, a partir de critérios técnicos definidos previamente. Essa demanda é especialmente relevante em países como Brasil, Bolívia, Paraguai, Colômbia, Equador e vários países da África que ainda estão envolvidos com processos de reforma agrária ou de ordenamento territorial no meio rural. O método proposto baseia-se no uso de um Algoritmo Genético (Tanomaru, 1995) e de mapas temáticos de aptidão agrícola para definir lotes com capacidade produtiva mais homogênea.

Outros critérios podem ser adotados, incluindo outras variáveis técnicas, o conhecimento local e pontos de interesse específicos das famílias assentadas como função de entrada para o algoritmo. Por isso, esse método pode ser utilizado no parcelamento de projetos de reforma agrária e em outras atividades de ordenamento territorial e de planejamento do uso da terra.

O método foi testado em um projeto de reforma agrária denominado Projeto de Assentamento (PA)

Veredas, criado em 1998 e localizado no município de Padre Paraíso, na mesorregião do Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais, onde 26 famílias foram assentadas em lotes individuais, numa área total de 1.200 ha.

## ALGORITMOS GENÉTICOS E ORGANIZAÇÃO TERRITORIAL

Grande parte dos problemas científicos pode ser formulada por meio de um problema de otimização, em que o objetivo é encontrar a combinação dos fatores que influenciam o problema que proporcione a melhor solução possível. O número de combinações possíveis para os fatores constitui o espaço de busca, que pode ser restringido por um conjunto de regras ou restrições. Um problema é dito algorítmico quando admite um algoritmo capaz de receber os dados de entrada e encontrar uma solução que seja adequada (Goldberg, 1989). Ao considerar problemas de otimização, existem, basicamente, dois caminhos que podem ser seguidos: algoritmos exatos e heurísticos. Os algoritmos exatos apresentam como vantagem fornecer a solução exata do problema, ou seja, a solução ótima. Entretanto, encontrar essa solução, ao se considerarem os recursos computacionais disponíveis, pode ser muito demorado. Problemas de otimização em geral possuem uma natureza combinatória, o que esgota os recursos de máquina e faz com que questões relativamente simples, com um número pequeno de dados de entrada, tenham soluções inviáveis com o uso de computadores convencionais. Os algoritmos heurísticos, embora não forneçam a solução ótima, são capazes de fornecer soluções razoáveis em um tempo considerado viável.

Entre os diversos algoritmos conhecidos e que estão classificados como heurísticos encontram-se: GRASP, busca tabu, *simulated annealing*, algoritmos genéticos, entre outros (Tsuruta, et al., 2001; Santé-Riveira, et al., 2008). Os Algoritmos Genéticos (AGs) tentam simular computacionalmente o mecanismo de evolução natural. Em AGs, uma população de possíveis soluções para o problema analisado evolui de acordo com operadores probabilísticos concebidos a partir de metáforas biológicas, de modo que há uma tendência de que, na média, os indivíduos representem soluções cada vez melhores à medida que o processo evolutivo prossegue (Tanomaru, 1995). Geração após geração, os indivíduos da espécie competem com outros para ver qual irá sobreviver. Os mais adaptados, com melhor *fitness*, são mais propensos a passar suas características para as próximas gerações, ou seja, sobrevivem e se reproduzem em seus ambientes.

Existe na literatura um grande número de métodos evolutivos considerados como AGs. Alguns desses métodos podem apresentar características particulares de acordo com a classe de problemas que se propõe resolver. No entanto, todos possuem os seguintes

conceitos comuns: Cromossomo: Possível solução dentro do conjunto de soluções candidatas. É codificado como uma sequência de valores que expressam o ajuste dos fatores que influenciam o problema. Fitness: A avaliação de cada cromossomo resulta em um valor numérico, que quantifica a qualidade ou adequabilidade da solução proposta. População: É formada por um conjunto de indivíduos e tem como propriedade fundamental o seu cromossomo. Seleção: Esse operador escolhe os indivíduos da população que irão se “reproduzir”, ou seja, serão combinados para produzir um novo indivíduo. Crossover: Escolhe um ou mais pontos aleatórios do cromossomo e realiza a permutação das subsequências alternadas dos dois cromossomos “pais”, criando os novos descendentes. Mutação: Atua aleatoriamente, trocando os valores de algumas das posições do cromossomo, inserindo assim variabilidade entre indivíduos. Critério de Parada: Pode ser estabelecido por diversos fatores: número máximo de gerações; valor mínimo a ser atingido pela função objetivo; identificação de uma solução viável; e uma combinação desses critérios. É importante a implementação de mecanismos de recuperação do cromossomo do melhor indivíduo encontrado nas diversas gerações, uma vez que ele pode ser perdido nesse processo.

## MÉTODO DO ALGORITMO GENÉTICO PARA ORDENAMENTO TERRITORIAL

A etapa de parcelamento dos assentamentos rurais e em processos de ordenamento territorial rural representa um desafio para os técnicos encarregados de sua implementação. Isso deve-se à dificuldade de criar lotes que tenham capacidade produtiva semelhante. Essa dificuldade está relacionada ao fato de que um mesmo lote pode apresentar várias classes de solos, que por sua vez podem ter aptidões agrícolas distintas. Por esse motivo, algumas famílias conseguem obter em seus lotes melhor desempenho produtivo que outras. Para o problema estudado, a questão foi buscar o parcelamento de uma zona de interesse, ajustando a área ocupada pelos lotes, minimizando as disparidades produtivas entre os diferentes tipos de solos encontrados em cada um, a fim de que as famílias assentadas pudessem desenvolver suas atividades agrícolas de forma semelhante, em termos de produtividade. Tendo em vista que as possibilidades de parcelamento de uma área são muito grandes, a utilização de métodos exatos torna-se inviável; por isso, buscou-se na utilização de um algoritmo genético (AG) um método alternativo para solucionar o problema em questão.

O AG implementado possui pequenas alterações em relação à estrutura básica geralmente descrita na literatura. Essas alterações foram necessárias para adequar o método ao problema de parcelamento de áreas. Foi desenvolvido um método para geração do

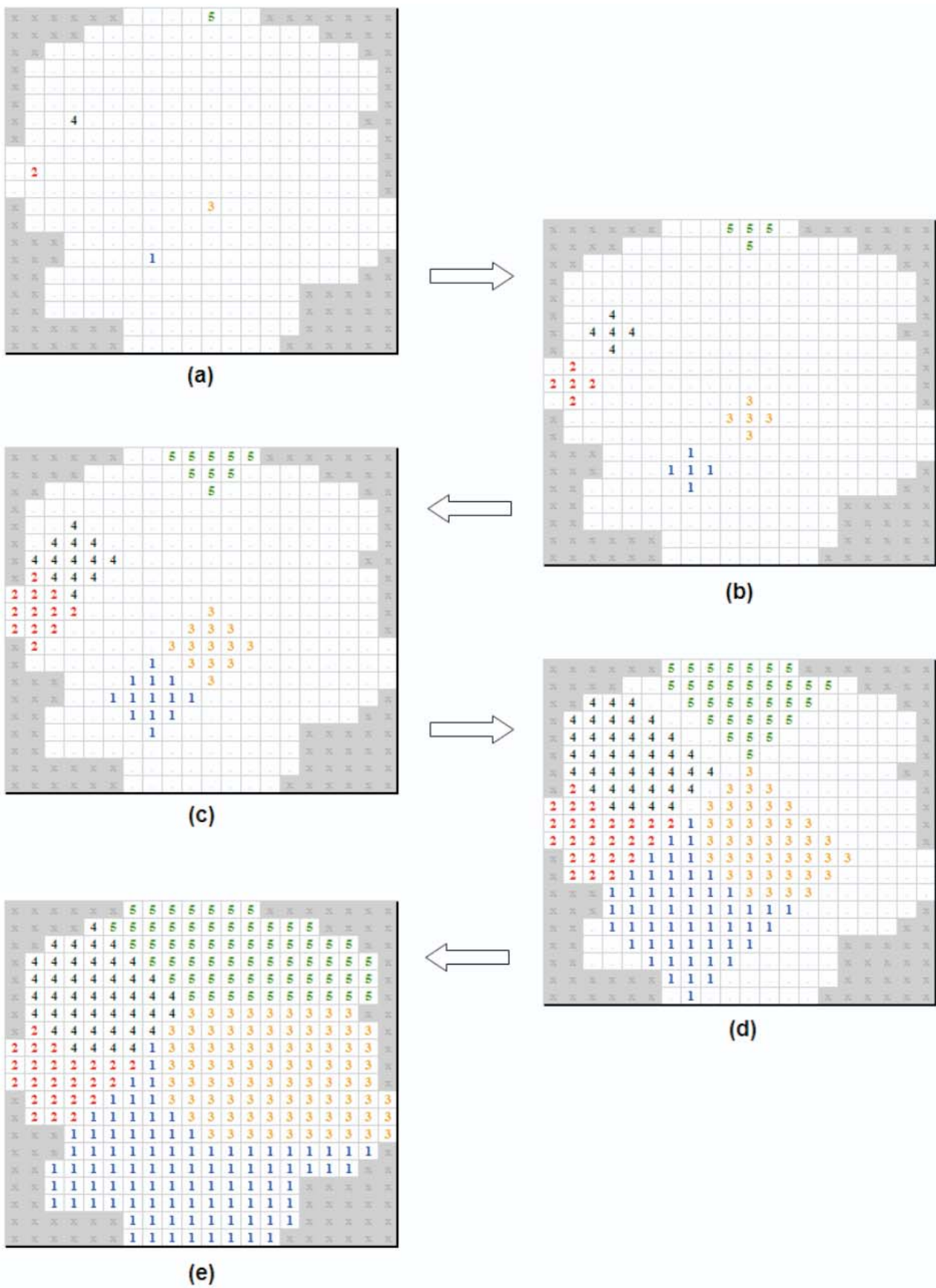


Figura 1. Procedimento de geração de uma solução inicial, os números indicam os lotes gerados.

conjunto inicial de soluções e incluído, como apresentado na figura 1, que consiste em um procedimento de renovação da população: a cada geração, um determinado número ( $n_r$ ) de novos indivíduos aleatórios é gerado e inserido na nova população. Essas mudanças foram feitas no sentido de garantir maior diversidade entre os elementos da população, evitando a convergência prematura do conjunto de solução. Além disso, os operadores de *crossover* e mutação foram incorporados ao procedimento de combinação de indivíduos e adequados à codificação adotada para solução. A estrutura do algoritmo implementado segue o padrão geral dos algoritmos genéticos, como descrito em Goldberg (1989) e Tonomaru (1995).

Na operacionalização de um AG, o ponto fundamental é a definição do conjunto inicial de soluções (indivíduos) que servirá de base para a criação das novas gerações. Esse conjunto recebe a denominação de população inicial. O procedimento de geração de uma solução inicial adotado neste trabalho (Figura 1), é realizado da seguinte forma: aleatoriamente, escolhe-se um conjunto de pontos que servirão para posicionar os lotes dentro do imóvel (a). A partir daí, os limites dos lotes são expandidos, respeitando-se o limite da área de interesse e ocupando os pixels vizinhos ainda não ocupados até que cada pixel da propriedade esteja associado a um lote (b) a (e).

### Definição da função de avaliação

A função de avaliação do algoritmo genético, denominada de função de aptidão ou *fitness*, é utilizada para medir o desempenho dos indivíduos. Nesse caso, o objetivo foi buscar uma função matemática que permitisse quantificar a variação dos índices de produtividade dos lotes. Foi utilizado como base para definição da função de avaliação o conceito de índice de produtividade aplicado aos lotes. Para isso, na operacionalização do algoritmo adotou-se o Sistema de Aptidão Agrícola das Terras (Ramalho Filho & Beek, 1994). Esse índice é calculado tomando-se o somatório da área de cada classe de aptidão, multiplicado pela constante de produtividade associada à classe (1).

$$iPLote_i = \sum_{j=1}^{n_c} (\text{Área Classe}_{j,i} * \text{Constante Classe}_j) \quad (1)$$

em que  $iPLote_i$ : índice de produtividade do lote  $i$ ; Área Classe $_{j,i}$ : área do lote  $i$  pertencente à classe de aptidão  $j$ ; Constante Classe $_j$ : constante de produtividade da classe de aptidão  $j$ ;  $n_l$ : número de lotes;  $n_c$ : número de classes de aptidão; e  $i \in \{1 \dots n_l\}$

A constante de produtividade (ConstanteClasse) foi definida com o objetivo de estabelecer um padrão de comparação e compensação entre as produtividades das diferentes classes de aptidão. Os índices adotados foram definidos estabelecendo-se uma ordem crescente, de acordo com o aumento da intensidade de

uso dos solos e de forma a favorecer os níveis de Manejo A, por melhor representarem a realidade dos assentados no que diz respeito ao emprego de capital e tecnologia. Uma vez definido o conjunto de valores que representam os índices de produtividade dos lotes, o *fitness* dessa solução é então calculado como o desvio-padrão desse conjunto de valores (2).

$$f(S) = \sigma(iPLote_1, \dots, iPLote_{n_l}) \quad (2)$$

em que  $f(S)$ : *fitness* da solução  $S$ .

Finalmente, a função objetivo do problema de otimização é definida (3). Minimizando  $f(S)$ , busca-se encontrar a solução  $S$ , que minimiza a dispersão estatística entre os lotes, ou seja, aquela que mais se aproxima de um conjunto de lotes equiprodutivos.

$$\text{MIN } f(S) \quad (3)$$

### Aplicação do método

Para aplicar o método proposto foram realizados testes com o objetivo de definir a melhor combinação dos componentes do AG a serem aplicados na determinação do componente. A sequência de testes foi realizada sobre duas áreas, contendo sete classes de aptidão agrícola: uma área com 391,9 ha, parcelada em 12 lotes, e outra com 404,7 ha, parcelada em 14 lotes. Foram adotados valores de referência para as classes de aptidão encontradas no PA Veredas (Quadro 1). Utilizou-se como medida de eficácia o valor do desvio-padrão dos índices de produtividade dos lotes de um parcelamento. A cada componente avaliado foram realizadas 15 repetições, anotando-se a média do *fitness* do melhor indivíduo (MMI) encontrada para cada variação do valor do componente.

Os componentes avaliados foram: número de gerações, tamanho da população, taxa de mutação e taxa de renovação. A cada teste, o valor do componente avaliado foi variado, fixando-se os demais conforme os valores de referência. O número de gerações corresponde ao número máximo de interações do algoritmo a cada rodada. Os testes confirmaram que

**Quadro 1. Índices de produtividade utilizados para as classes de aptidão agrícola encontradas no PA Veredas**

Classe de aptidão agrícola	Índice de produtividade
2a(bc)	32
3(bc)	16
4(p)	12
5(n)	3
5(n)	4
5(n)	8
6	2
6	1
Estradas	0
APP's	1

o aumento do número de gerações conduz à melhoria da solução final obtida. No entanto, a curva possui comportamento logarítmico, ou seja, deve-se avaliar em que medida o aumento do número de gerações justifica a melhoria obtida no *fitness*, considerando o tempo adicional gasto para atingir a solução, já que o aumento do número de gerações aumenta linearmente o tempo de execução do programa. Após os testes iniciais, foram definidos os seguintes componentes para operacionalização do algoritmo genético: número de gerações: 320; tamanho da população: 40 indivíduos; taxa de mutação: 0,8; e taxa de renovação: 0,3.

## RESULTADOS

Com o método empregado, foi possível o parcelamento de duas zonas adjacentes, gerando 12 lotes na área 1 e 14 lotes na área 2, totalizando 26 unidades – número apresentado no parcelamento realizado pelo INCRA. O teste do método mantendo-se o mesmo número de lotes delineados pelo INCRA deu-se com o objetivo de comparar a produtividade das parcelas geradas pelo AG. A alteração nesse número poderia ter implicações na qualidade das parcelas, pelo aumento ou diminuição da área de cada novo lote. Optou-se por dividir a área do projeto de assentamento em duas zonas distintas, porque o AG apresenta melhores resultados, menor desvio-padrão, quanto menor for o número de lotes gerados e para aproveitar a hidrografia existente como delimitadora de lotes.

As áreas de reserva legal, áreas comunitárias e coletivas, definidas pelo INCRA, foram excluídas da área de estudo, uma vez que o principal objetivo foi estabelecer um quadro comparativo de qualidade dos lotes individuais, com base em sua aptidão agrícola, entre o parcelamento original e o proposto. Nesse sentido, outra possível aplicação do método proposto seria a definição prévia das áreas de reserva legal e de preservação permanente, visto que se pode determinar que as áreas com maior interesse ambiental sejam excluídas do processo de parcelamento realizado pelo algoritmo. Nos testes, as estradas vicinais existentes no imóvel foram tratadas como áreas não produtivas, com índice de produtividade igual a zero dentro da função de avaliação, de modo que não influenciasse o cálculo de qualidade dos lotes. Nas APPs, adotou-se um valor baixo, igual a 1, como índice de produtividade no cálculo da função de avaliação, por apresentarem grande limitação de uso, prestando-se basicamente à preservação da fauna e flora. Os valores dos componentes utilizados para gerar a proposta de parcelamento pelo AG foram escolhidos com base nos melhores resultados individuais obtidos no teste inicial, conforme apresentado anteriormente. Com esses componentes previamente fixados, foram realizadas 15 tentativas, de onde foi extraído o melhor resultado para cada uma das áreas de estudo. Em seguida,

essas áreas foram agrupadas, constituindo a área total de interesse de parcelamento do PA Veredas.

O resultado final do parcelamento obtido pelo emprego do AG foi uma imagem, que passou por um processo de vetorização por meio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Confrontando o resultado obtido pelo AG com o parcelamento original realizado pelo INCRA (Figura 2) e empregando os mesmos componentes para cálculo da função de avaliação desenvolvida para o novo parcelamento, percebe-se que houve melhora no *fitness* dos novos lotes, bem como menor desvio-padrão entre eles (Quadros 2 e 3). Ou seja, o método adotado possibilitou

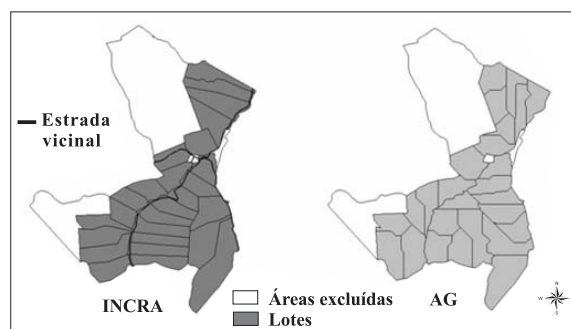


Figura 2. Parcelamento do INCRA e resultado do AG, PA Veredas, Padre Paraíso, MG, 2008.

Quadro 2. *Fitness* e área dos lotes do parcelamento realizado pelo INCRA e do resultado do AG

Nº lote	Parcelamento INCRA		Resultado AG	
	<i>Fitness</i>	Área Lote	<i>Fitness</i>	Área Lote
		ha		ha
1	12541.15	83	6238.70	59
2	6600.76	48	6354.69	43
3	8022.71	35	6354.38	26
4	3855.30	26	6266.39	30
5	4110.77	28	6288.24	24
6	5196.66	24	6340.25	26
7	5728.59	29	6132.75	22
8	5166.10	25	6265.05	47
9	6154.59	25	6302.23	32
10	5912.69	19	6192.39	30
11	5793.95	24	6378.45	28
12	6230.93	23	6249.52	21
13	2741.64	28	5884.80	43
14	4524.95	35	5780.43	42
15	6085.34	34	5857.72	27
16	5929.03	23	5892.93	24
17	4662.73	21	5847.10	27
18	4622.21	21	5833.50	28
19	4726.95	21	5879.36	38
20	3951.81	23	5920.49	26
21	4128.20	26	5872.78	20
22	7115.94	27	5857.91	26
23	9107.19	38	5853.23	28
24	9731.76	42	5961.81	24
25	7865.27	32	5686.85	23
26	6734.09	30	5751.40	26

**Quadro 3. Comparação dos resultados de *fitness*: parcelamento do INCRA e Algoritmo Genético**

<i>Fitness</i>	Lote	
	Parcelamento INCRA	Parcelamento AG
	ha	
Desvio-padrão	2.071,28	225,73
Média	6.047,74	6.047,82
Maior	12.541,15	6.378,45
Menor	2.741,64	5.686,85

a obtenção de lotes com maior homogeneidade em termos de aptidão agrícola, minimizando as discrepâncias entre as áreas acessadas pelas famílias no processo de reforma agrária.

Pelos resultados, verificou-se que o método proposto contribuiu para melhorar o parcelamento da área, equilibrando os fatores especificados pela função de avaliação. Assim, os Algoritmos Genéticos podem ser utilizados como ferramenta de suporte para realização de ordenamento territorial. A qualidade dos resultados finais obtidos dependerá dos índices de produtividade atribuídos às classes de aptidão agrícola das terras e da possibilidade de incorporar ao programa outras variáveis, como capacidade de uso dos solos, cobertura vegetal, malha hidrográfica, bem como da definição de uma função de entrada com base em critérios econômicos e sociais.

### LITERATURA CITADA

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento; normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro, 1988. 119p.

FERREIRA NETO, J.A. & DOULA, S.M., orgs. Assentamentos rurais e meio ambiente no Brasil: Atores sociais, processos produtivos e legislação. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2006. 307p.

FREITAS, H.R. Distinção de ambientes e parcelamento de assentamentos rurais: Uma abordagem metodológica. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. 152p. (Tese de Mestrado)

GOLDBERG, D.E. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. Boston, Addison-Wesley, 1989. 432p.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA – INCRA. Manual de obtenção de terras e perícia judicial. Brasília, 2006a. 140p.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA – INCRA. Roteiro para elaboração dos anteprojetos de parcelamento. Belo Horizonte, 2006b. (SR INCRA-06)

LEPSCH, J.F., coord. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.

MILAGRES, C.S.F.; FERREIRA NETO, J.A.; MOURA, R.A. & MOREIRA, M.C.O. Princípios de cartografia social em diagnósticos participativos em projetos de reforma agrária. In: CONGRESSO DE ESTUDOS RURAIS, 4., Aveiro, 2010. Anais... Aveiro, CER - Mundos Rurais em Portugal: Múltiplos Olhares e Múltiplos Futuros, 2010. 11p.

SCHINEIDER, P. & KLAMT, E. Divisão racional de terras em projetos de assentamento. Porto Alegre, INCRA, Gabinete de Reforma Agrária, 2002. 25p.

RAMALHO FILHO, A. & BEEK, K.S. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 3.ed. Rio de Janeiro, Embrapa-CNPS, 1994. 65p.

SANTÉ-RIVEIRA, I.; BOULLÓN-MAGÁN, M.; CRECENTE-MASEDA, R. & MIRANDA-BARROS, D. Algorithm based on simulated annealing for land-use allocation. Tarrytown, Pergamon Press, 2008. v.34. 10p.

TANOMARU, J. Motivação, fundamentos e aplicações de algoritmos genéticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE REDES NEURAI, 2., Curitiba, 1995. Anais... Curitiba, 1995. 30p.

TSURUTA, J.H.; HOSHI, T. & SUGAI, Y. Seleção de áreas adaptativas ao desenvolvimento agrícola, usando-se algoritmos genéticos. Brasília, Embrapa, 2001. 48p.