

Avaliação de projetos de fruticultura irrigada aplicada a pequenas propriedades rurais do município de Botucatu-SP.

M.O.M. Oliveira¹, L. F. R. Reis².

RESUMO: A produção de alimentos é resultado de processos produtivos muitas vezes responsáveis pelo consumo desordenado de recursos naturais. Há, portanto, a necessidade de ordenamento de tais sistemas produtivos para contemplar critérios múltiplos e muitas vezes conflitantes inerentes à produção agrícola, de maneira a garantir que a sustentabilidade seja atingida. O presente trabalho representa um esforço no sentido de mostrar como uma ferramenta de otimização multiobjetivo, no caso o SPEA (*Strenght Pareto Evolutionary Algorithm*), pode ser empregada na resolução do problema de escolha de determinada frutífera a cultivar e sistema de irrigação a implantar, considerando os critérios de maximização de benefício econômico, minimização de consumo hídrico, minimização do consumo de energia elétrica, maximização de geração de empregos e maximização da produção de alimentos. Assim, diversos resultados de ordem prática puderam ser obtidos, inclusive sobre o valor a ser pago pelo uso da água na agricultura.

Palavras chave: Planejamento agrícola, recursos hídricos, tomada de decisão multiobjetivo.

Evaluation of projects of irrigated fruticultura applied the small country properties of the city of Botucatu-SP.

SUMMARY: Food production results from agricultural activities many times responsible for disorderly consumption of natural resources. It is necessary, therefore, ordering productive systems to consider multiple conflicting criteria in order to reach sustainability. This paper represents an effort to show the manner how a multiobjective technique, more specifically SPEA (*Strenght Pareto Evolutionary Algorithm*), can be used to consider criteria such as economic income, environmental impact, employment generation and workforce utilization, to obtain solutions in terms of the irrigation system to be adopted and fruit crop to be implemented. Many practical results could be obtained, including those about the value to be paid for water use in agricultural activities.

Keywords: agricultural planning, water resources, multiobjective decision making.

¹Eng. Agro., QRSW7 Bloco B8 Apto 106, CEP 70675-728, Brasília, DF. Fone (61) 32641027. e-mail: morato@sc.usp.br.

² Prof(a). Doutora, Depto de Hidráulica e Saneamento, USP, São Carlos, SP.

INTRODUÇÃO: As mudanças causadas pela poluição e esgotamento dos recursos naturais vêm fomentando questionamentos e cobrança por sustentabilidade em praticamente todas as atividades produtivas, inclusive agrícolas. Porém, atualmente, no limiar da escassez dos recursos naturais, as atividades agrícolas devem buscar preservá-los, ao mesmo tempo em que há a necessidade de que estas atividades sejam economicamente viáveis.

A produção do campo para atender a crescente demanda de alimentos passou pela chamada “Revolução Verde”, com o advento de insumos, material genético de alto rendimento, emprego de maquinário agrícola e utilização de técnicas avançadas. Esta revolução foi capaz de atender a demanda crescente de alimentos, e também gerou problemas como o consumo indiscriminado dos recursos naturais e poluição dos mesmos. A consequente produção maior reduziu a margem de lucro. Assim, o produtor, para manter sua renda, a cada ano teria que produzir mais e assim consumir mais recursos naturais e insumos agrícolas, agravando ainda mais os problemas já citados.

As comunidades rurais, carentes de assistência e capacitação, são conduzidas a um comportamento ecologicamente incorreto e à utilização de técnicas de produção de baixo rendimento, ou, ainda, a utilização de técnicas avançadas sob manejo inadequado. Sem falar na capacidade limitada de planejamento.

Um elevado custo ambiental imposto por essas práticas agrícolas precárias ainda impera nessas comunidades, de forma que poucos são os que têm conhecimento do inestimável valor dos recursos naturais e são também capazes de produzir de maneira economicamente viável ao longo da vida útil de uma cultura perene.

No Brasil, poucas comunidades rurais apresentam características favoráveis à manutenção das mesmas no setor rural. O correto manejo das culturas, economia dos recursos naturais, assistência técnica e noções sobre planejamento são escassos. O uso de técnicas deficientes de produção e a precariedade da vida no campo conduzem os agricultores e seus descendentes à procura por melhor qualidade de vida nas cidades, fomentando o êxodo rural.

A comunidade rural tomada como objeto do presente estudo pertence à região de Botucatu, SP, mais precisamente à Microbacia do Rio Pardo. A fruticultura temperada da região passa por dificuldades, muitas vezes suas atividades não são capazes de suprir as necessidades econômicas dos agricultores. Há necessidade também de monitoramento rigoroso dos recursos naturais, pois a principal fonte de água para irrigação é de escoamento superficial, e o rio formado na microbacia é também a principal fonte de abastecimento de urbano na cidade de Botucatu. A microbacia do rio Pardo destaca-se na produção de frutas temperadas e hortaliças e pelo emprego, por parte dos agricultores, de modernas técnicas de produção.

Entre as técnicas de produção adotadas pelas propriedades destaca-se a irrigação, que por sua vez deve ser afetada pela perspectiva de cobrança pelo uso da água no futuro próximo. Tais dificuldades motivaram o desenvolvimento do presente trabalho, que consiste da elaboração de modelo computacional que venha oferecer subsídios aos agricultores da região na escolha de alternativas relativas à implantação de novas áreas de cultivo irrigadas.

MATERIAL E MÉTODOS: O modelo computacional proposto foi desenvolvido em duas fases distintas. A primeira fase, denominada etapa preliminar, contempla os estudos que envolvem a busca por informações dos processos. Essas informações englobam: culturas a serem desenvolvidas para região, dados produtivos das respectivas culturas, remuneração pelo produto, custos de implantação e manutenção do pomar e sistemas de irrigação, e consumo de água e energia elétrica das culturas e sistemas de irrigação. Na segunda fase, denominada etapa de avaliação, identificam-se soluções de melhor compromisso através de algoritmos de otimização que contemplam vários objetivos simultaneamente. Para esse fim, é utilizado um algoritmo genético multiobjetivo denominado *Strength Pareto Evolutionary Algorithm* – *SPEA*. Cinco funções objetivo (maximização de benefício econômico, minimização de consumo hídrico, minimização do consumo de energia elétrica, maximização de geração de empregos e maximização da produção de alimentos) são propostas para serem otimizadas simultaneamente. Quanto à cobrança pelo uso da água, discriminada na Lei Federal 9.433 de 8 de janeiro de 1997, foram investigados valores de U\$5, U\$ 10, U\$15, U\$20 e U\$ 25 por mil metros cúbicos, valores estes comumente encontrados na literatura.

SPEA: O *SPEA* emprega a tecnologia dos algoritmos genéticos (AGs) para produzir uma população inicial de soluções (dita interna) e promover a evolução delas de acordo com a lógica da evolução natural e genética das populações (MICHALEVICZ, 1992) e a proposta de ZITZLER & THIELE (1999) de modificação da função de aptidão de maneira a garantir a diversidade das soluções e um maior número de cópias das soluções não-dominadas para as próximas iterações, em conformidade com princípio de dominância de Pareto. O algoritmo introduz o elitismo através da criação de uma população externa que armazena um número fixo de soluções não-dominadas encontradas ao longo das gerações, de forma que a cada geração, novas soluções não-dominadas são comparadas com a população externa existente e as soluções não-dominadas resultantes são armazenadas. O algoritmo não somente preserva as melhores soluções, mas também as utiliza para participar das operações genéticas com o objetivo de atingir melhores regiões dentro do espaço de busca. Constituem dados de entrada necessários ao *SPEA*: dimensão da população interna (POP), probabilidade de recombinação

(Pr), probabilidade de mutação (Pm), dimensão da população externa: POPE e número máximo de gerações (GER).

Implementação do algoritmo: As soluções do problema foram codificadas de maneira a representar as culturas e os sistemas de irrigação para a área subdividida em quatro glebas, de maneira que as primeiras quatro variáveis podem assumir os valores inteiros na faixa de 0 a 5, representativos das culturas de ameixa (0), atemóia (1), caqui (2), goiaba (3), pêssgo (4) e maçã (5), e as quatro variáveis seguintes podem assumir os valores inteiros 0, 1 e 2, representativos dos sistemas de irrigação por gotejamento (0), microaspersão (1) e aspersão (2), respectivamente.

A resolução desse problema via enumeração completa examinaria $1296 \times 81 (=104976)$ possíveis soluções para posterior construção da frente Pareto correspondente. Assim, optou-se pelo uso do algoritmo genético multiobjetivo SPEA (Strength Pareto Evolutionary Algorithm), como ferramenta de identificação das soluções não-dominadas do problema.

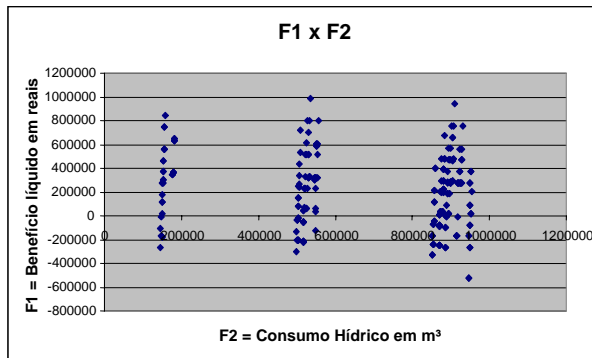
O algoritmo SPEA foi implementado com o suporte da biblioteca MOMLIB ++. Esse código exige a construção de três arquivos em C++, main.cpp, TP.cpp e TS.cpp. No arquivo main.cpp são definidos os parâmetros para desenvolvimento do algoritmo. O arquivo TP.cpp define a dimensão da cadeia representativa das soluções, no caso de dimensão oito (=8, 1 cultura para cada gleba, totalizando 4 glebas, e 1 sistema de irrigação, por gleba, totalizando 4 glebas), a faixa de valores que cada variável de decisão da cadeia pode assumir e se cada qual dos objetivos do problema é de minimização ou maximização. No arquivo TS.cpp são introduzidas as rotinas de leitura de dados, avaliação das funções objetivo e os operadores de recombinação e mutação. Os operadores de recombinação e mutação adotados foram BL-X e a mutação não uniforme, os quais foram codificados na linguagem C++, juntamente com a função de avaliação dos objetivos específicos para o problema em estudo.

Utilizaram-se as probabilidades de recombinação e mutação de 0,7 e 0,1 ($<1/\text{comprimento da cadeia representativa das soluções}$).

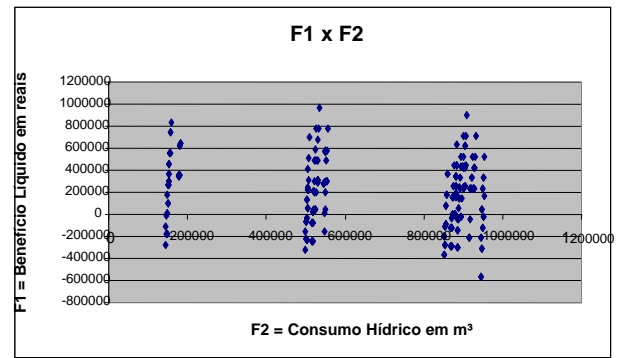
RESULTADOS E DISCUSSÃO: Como resultados das simulações realizadas considerando seis frutíferas (atemóia, ameixa, caqui, goiaba, pêssgo e maçã) e três sistemas de irrigação (gotejamento, microaspersão e aspersão), para as diferentes combinações de custo da água e preço de venda da produção agrícola, soluções Pareto ótimas foram produzidas, permitindo diversas conclusões (OLIVEIRA, 2008).

A Figura 1 ilustra a quantidade de soluções apontadas no espaço de objetivos, onde se pode observar que muitas delas implicam em benefícios líquidos negativos para o agricultor, ou

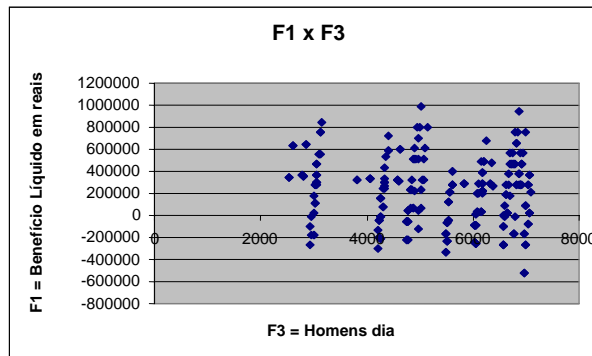
seja, muitas combinações de culturas e sistemas de irrigação implicaram em prejuízo econômico, evidenciando que o produtor necessita do suporte de análises dessa natureza.



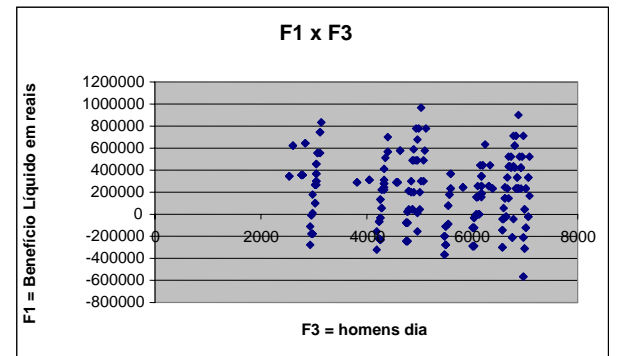
(a) preço médio de venda do produto e sem cobrança pelo uso da água



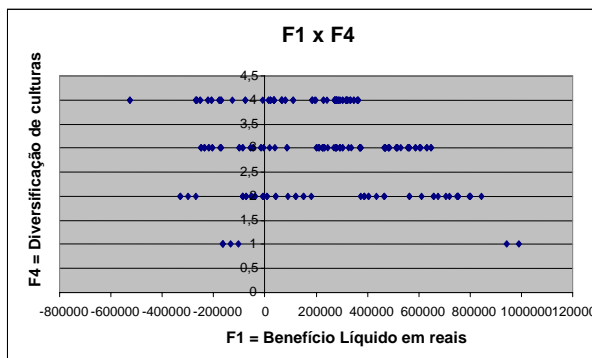
(b) preço médio de venda do produto e US\$ 25,00/1000 m³ H₂O



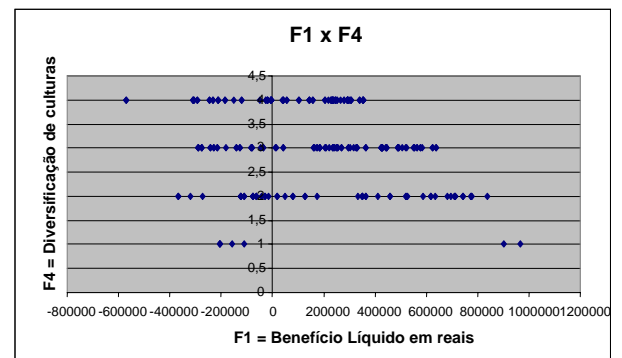
(c) preço médio de venda do produto e sem cobrança pelo uso da água



(d) preço médio de venda do produto e US\$ 25,00/1000 m³ H₂O



(e) preço médio de venda do produto e sem cobrança pelo uso da água



(f) preço médio de venda do produto e US\$ 25,00/1000 m³ H₂O

Figura 1. Resultados típicos obtidos em termos dos objetivos (anualizados)

Examinando as soluções no espaço de decisões, aqui não apresentadas por razões de espaço, pode-se dizer, por exemplo, que a cultura da atemóia mostrou-se uma alternativa atraente para a região, independentemente do custo da água (na faixa estudada), até mesmo sob condições

de venda da produção ao preço mínimo de mercado praticado no período considerado (2004-2006).

O sistema de irrigação por gotejamento foi apontado como a melhor alternativa associada às diversas culturas. Tal fato se deve ao baixo consumo de energia elétrica característico desse sistema e maior eficiência (90%), quando comparado ao sistema de aspersão (80%), por exemplo. O preço final de venda influenciou sensivelmente a escolha dos sistemas de irrigação, evidenciando ainda mais que para a produção em condições de remuneração mínima(média mínima histórica) o sistema de irrigação por gotejamento como a melhor opção. Já o sistema de irrigação por aspersão demonstrou certa robustez devido a seu baixo custo de implantação e manutenção e também pela pequena interferência dos valores cobrados pela água.

Os valores investigados para a água, na faixa de \$5/1000 m³ a \$25/1000 m³, não interferiram de maneira significativa nas alternativas economicamente viáveis de produção de frutíferas. Essa indiferença se deve ao fato de que o custo da água é muito inferior aos custos de produção de frutíferas. Observa-se que conclusões muito diferentes são esperadas para a produção de grãos ou hortaliças, por exemplo, para as quais o custo da água pode representar grande contribuição no custo total.

Da maneira como os problemas de otimização foram formulados neste trabalho, não foram considerados os riscos inerentes à atividade agrícola, a não ser através de preços de venda reduzidos. Apesar dos riscos relativos a condições climáticas desfavoráveis não terem sido admitidos, devem constituir alvos de investigações futuras. Contudo, o presente trabalho representou um incentivo à utilização de instrumentos mais elaborados na atividade de planejamento agrícola, no caso, os algoritmos genéticos multiobjetivo, e espera-se que, como “semente”, ela possa gerar “muitos frutos” no futuro próximo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- OLIVEIRA, M.O.M. Avaliação de Projetos de Fruticultura Irrigada Aplicada a Pequenas Propriedades Rurais do Município de Botucatu-SP. 2008. São Carlos, 2004. 267p.
(Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo.
- MICHALEVICH, Z. “Genetic Algorithms + Data Structure = Evolutionary Programs”, Berlin: Springer-Verlag, 1992
- ZITZLER, E., THIELE, L. Multiobjective Evolutionary Algorithms: A Comparative Case Study and the Strength Pareto Evolutionary Algorithm. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol.3, n°4, p.257-271,1999.