

Proposta de um índice de sustentabilidade do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, Ceará, Brasil¹

Sustainability index approach for Baixo Acaraú Irrigated District, Ceará, Brazil

**Fernando Bezerra Lopes^{2*}, Eunice Maia de Andrade³, Deodato do Nascimento Aquino⁴
e José Frédson Bezerra Lopes⁵**

Resumo - Um índice de sustentabilidade (IS) foi proposto com o objetivo de se realizar uma análise integrada dos fatores determinantes da sustentabilidade dos irrigantes do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, Ceará. Estatística multivariada, Análise Fatorial/Análise de Componentes Principais (AF/ACP), foi empregada na elaboração do IS. Para tanto, empregou-se um modelo exploratório probabilístico, para se definir a população amostral, a qual foi composta por 22 irrigantes onde foram aplicados questionários do tipo “cross-over” e, também, efetuada a avaliação dos sistemas de irrigação. Cinco componentes foram responsáveis pela estrutura da sustentabilidade do Perímetro, explicando, aproximadamente, 80% da variância total. Os pesos atribuídos a cada componente indicaram que a sustentabilidade está, principalmente, relacionada à falta de conhecimento e do uso correto de técnicas de produção agrícola. O índice desenvolvido demonstrou claramente a diferença entre as unidades produtivas, no que concerne a sustentabilidade do modelo de exploração adotado pelos produtores do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, Ceará. Apenas 9,0% das unidades produtivas estudadas encontram-se numa situação de sustentabilidade equilibrada. Os lotes em condição sustentável são de proprietários que tem conhecimento técnico e já tinham experiência com agricultura irrigada. O valor do índice médio para todo o perímetro (0,54) expressa uma situação preocupante do Distrito de Irrigação do Baixo Acaraú, uma vez que 27,3% das unidades produtivas apresentam condições de insustentabilidade.

Palavras-chave - Impacto ambiental. Análise de componentes principais. Agricultura irrigada.

Abstract - This work was carried out to develop an integrated analysis of determinants factors on the farmers' sustainability in Baixo Acaraú Irrigated District, Ceará, Brazil. The study was performed through a sustainability index (SI) using Factor Analysis/Principal Component Analysis (FA/PCA). The approach was based on 22 cross-over form applied to small farms that lived in the irrigated district, as well as on evaluation of irrigation performance. Results pointed out that five components, explaining 80% of the total variance, supported the structure of sustainability of the irrigated district. Loads associated to each component indicated that sustainability is, principally, related to the educational degree and the use of suitable techniques for agricultural production. The index was also capable of demonstrating clear dissimilarity among the agricultural producers in relation to the sustainability of the used production model. Among them, only 9% presented a condition of stable sustainability, which are those that have higher level of training and have some experience in relation to irrigation management. The standard index of the District (0.54) point out a concerning condition, since 27.3% of the agricultural producers present an unsustainable condition.

Key words - Environmental impact. Principal component analysis. Irrigated agriculture.

*Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 16/09/2008; aprovado em 24/03/2009

Parte da Dissertação de mestrado apresentada pelo primeiro autor ao Depto. de Engenharia Agrícola, CCA/UFC

²Tecnólogo em Recursos Hídricos e Irrigação, M. Sc., Depto. de Engenharia Agrícola, UFC, Caixa Postal: 12168, CEP: 60 455 970, Fortaleza, CE, Fone: (85) 3366 9762, bolsista do CNPq lopesfb@yahoo.com.br

³Eng. Agrônoma, Ph. D., Prof^a do Depto. de Engenharia Agrícola, CCA/UFC, Fortaleza, CE, bolsista pesquisador do CNPq eandrade@ufc.br

⁴Eng. Agrônomo, M. Sc., Técnico do INCRA, Teresina, PI, deoagro@yahoo.com.br

⁵Eng. Agrônomo, Técnico do INCRA, Fortaleza, CE, fredsonufc@yahoo.com.br

Introdução

Um dos maiores desafios enfrentados na quantificação ou qualificação da sustentabilidade é a elaboração de metodologias adequadas que permitam avaliar a sustentabilidade de diferentes projetos, tecnologias ou agroecossistemas em situações concretas (MASERA et al., 1999). Este desafio tem como uma das suas causas a necessidade de questionamento das formas convencionais de se avaliar os sistemas de manejo de recursos naturais.

A inter-relação entre a sustentabilidade, o nível educacional dos pequenos produtores rurais, as condições climáticas locais, o uso da terra, da geologia, da qualidade da água de irrigação, da drenagem natural do solo e da comercialização, entre outros vem sendo discutidos por pesquisadores como Melo (1999); Souza et al. (2001) e Branco (2003). Sustentabilidade que não significa, simplesmente, a adoção de práticas comuns a toda agricultura desenvolvida no mundo e sim que sejam avaliadas as limitações e aptidões dos recursos naturais de cada região.

No momento de se estabelecer um indicador padrão de sustentabilidade de um sistema agrícola, as características multivariadas do mesmo devem ser consideradas. Pesquisadores como Toledo e Nicolella (2002) chamam a atenção para a dificuldade de se estabelecer esse padrão devido a pluralidade dos sistemas naturais. Um índice ou indicador é uma ferramenta que permite a obtenção de informações sobre uma dada realidade, tendo como principal característica o poder de sintetizar um conjunto complexo de informações, retendo apenas o significado essencial dos aspectos analisados (PALÁCIO, 2004). Nesta busca, técnicas de estatística multivariada como Análise Fatorial/Análise de Componentes Principais vem sendo empregada no desenvolvimento de índices de sustentabilidade que possa traçar resumidamente o diagnóstico das condições em que se encontra o meio devido às técnicas de produção adotadas, quer na agricultura irrigada, quer na agricultura de sequeiro (CARNEIRO NETO et al., 2008; PALÁCIO, 2004).

Nas últimas décadas, a técnica de estatística multivariada, como Análise Fatorial/Análise de Componentes Principais, vem sendo empregada com muita frequência na avaliação de dados de monitoramento ambiental, índice de sustentabilidade e índice de qualidade de água entre outros. A análise fatorial permite a seleção de indicadores de maior peso em um dado universo (ANDRADE et al., 2008; GIRÃO et al., 2007) facilitando assim, a extração de informações que serão de grande relevância na avaliação da sustentabilidade desse universo.

O objetivo do estudo foi elaborar uma análise integrada dos fatores determinantes da sustentabilidade dos irrigantes do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, Ceará, através do desenvolvimento de um Índice de Sustentabilidade (IS) pelo emprego da Análise Fatorial/Análise de Componentes Principais (AF/ACP).

Material e métodos

Área em estudo

A área onde se desenvolveu a pesquisa, Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, abrange uma área de 12.407 ha e está localizada no divisor topográfico na parte baixa das bacias do Acaraú e Litorânea, na região Norte do Estado do Ceará (Figura 1). O clima da região segundo a classificação de Köppen é Aw', tropical chuvoso com precipitações máximas de outono. Em geral, a região apresenta solos profundos, bem drenados, de textura média ou média/leve e muito permeáveis (DNOCS, 2008).

O suprimento hídrico ocorre através da barragem Santa Rosa com uma vazão contínua de aproximadamente 1,15 L s⁻¹ ha⁻¹ para o pequeno produtor e técnico, e de 1,3 L s⁻¹ ha⁻¹ para o irrigante tipo empresário. O método de irrigação empregado é o localizado (microaspersão e gotejamento). A água empregada na irrigação classifica-se como C₁S₂ (Tabela 1), com baixa salinidade e problemas crescentes do risco infiltração no solo devido a sodicidade das águas (ANDRADE et al., 2006)

O tamanho da amostra foi definido empregando-se a técnica probabilística, onde todo elemento que compõe a população têm igual probabilidade, diferente de zero, de compor a amostra. O erro amostral (d) considerado foi de 10% com um desvio-padrão (Z) de 1,645 em um universo de 189 irrigantes (N) e com os percentuais dos elementos da amostra favoráveis (p) e desfavoráveis (q) de 50% para cada um, determinou-se o tamanho da amostra (n) pela equação apresentada por Fonseca e Martins (1996):

$$n = \frac{Z^2 pqN}{d^2 (N-1) + Z^2 pq} \quad (1)$$

Assim, para um universo de 189, a amostra calculada foi de 16 irrigantes, mas para se ter uma margem de segurança a mesma foi composta por 22 irrigantes. Os lotes selecionados para a aplicação do questionário estão identificados na Figura 2. A análise de campo foi realizada em dois períodos: setembro de 2006, com a aplicação dos questionários aos irrigantes, e julho de 2007, quando foram realizadas as avaliações dos sistemas de irrigação dos produtores em que se havia aplicado os questionários.

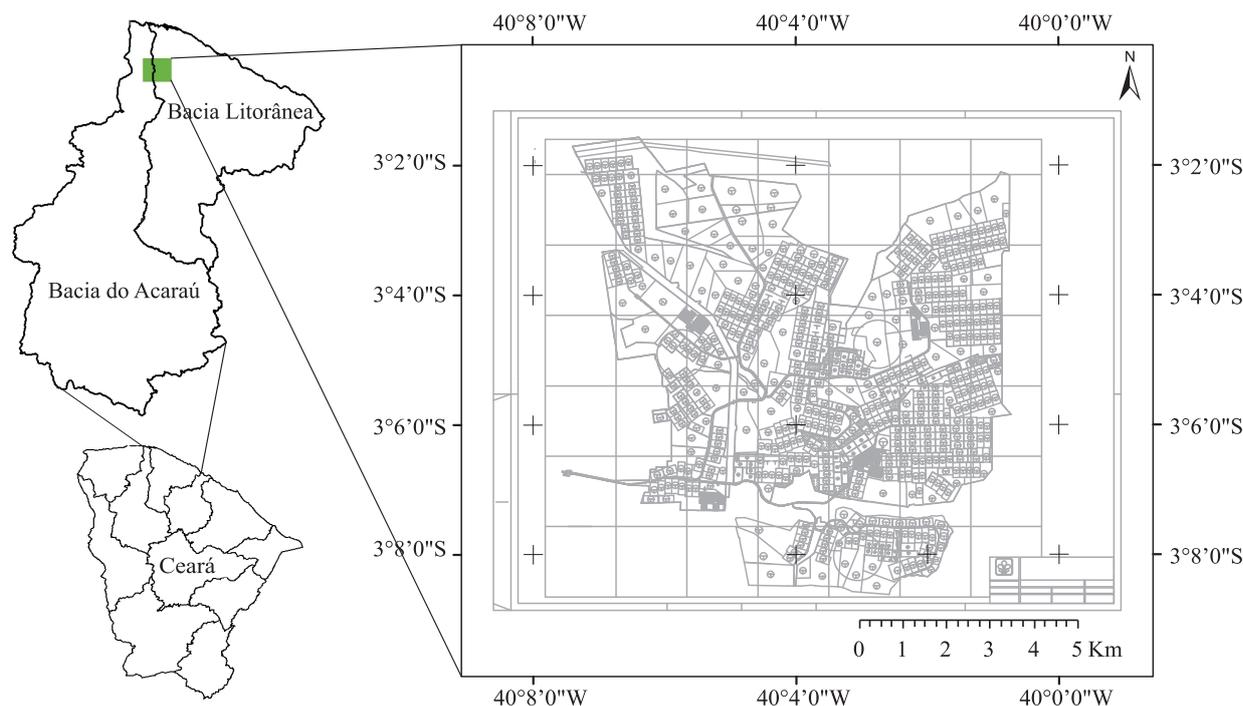


Figura 1 – Localização da área de estudo

Tabela 1 – Valores médios da análise das águas no período de estudo, com respectiva classificação

Fonte Hídrica	CE	RAS ⁰	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁰	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ³⁻	SO ⁴⁻	Classe
	dS m ⁻¹	-	mmol _c L ⁻¹							
Barragem Santa Rosa	0,29	1,54	1,51	0,17	1,30	0,62	1,41	1,46	0,14	C1S2

Fonte: Lobato et al., 2008. RAS0 (RAS corrigida) e Ca0 (Cálcio corrigido) de acordo com University of Califórnia Committee of Consultants – UCCC

O questionário aplicado aos irrigantes seguia o padrão *cross-section*, com perguntas objetivas e fechadas obtendo respostas diretas, de forma a padronizar os dados. As perguntas abordavam os aspectos sócio-econômicos (nível de instrução, destino do lixo domiciliar, destino do esgoto sanitário, custo com energia, custo com água, acesso a saúde pública) e os agrônômicos (uso e ocupação do solo, aplicação de técnicas de manejo e conservação do solo, manejo da irrigação, assistência técnica e uso de insumos agrícolas). Para se obter um melhor conhecimento da sustentabilidade do perímetro, as avaliações dos sistemas de irrigação foram efetuadas seguindo a metodologia proposta por Merriam e Keller (1978).

Elaboração do índice de sustentabilidade

Os fatores determinantes do Índice de Sustentabilidade (IS) foram selecionados pelo emprego da Análise Fatorial/Análise de Componentes Principais (AF/ACP). Esta metodologia se compõe das seguintes etapas:

preparação da matriz de correlação; extração dos fatores comuns com possível redução dos parâmetros que definem a sustentabilidade e rotação dos eixos relativos aos fatores comuns (SANDS; PODMORE, 2000). Para a análise dos dados foi utilizado o SPSS 16.0 (*Statistical Package for the Social Sciences*), por apresentar versatilidade no manuseio das operações necessárias à obtenção de componentes principais, contando inclusive com o tratamento prévio de padronização e escalonamento dos dados.

A primeira análise realizada foi de interdependência entre as variáveis. Antes de aplicar o método para a extração de fatores, verificou-se a partir da matriz de correlação, a adequabilidade do conjunto de variáveis ao procedimento estatístico. A consistência dos dados foi aferida pelo método Kayser Mayer Olkim (KMO). Maiores informações desse teste podem ser encontradas em Monteiro e Pinheiro (2004), Meyer e Braga (1999), Silveira e Andrade (2002).



Figura 2 – Lotes selecionados no Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, Ceará para o cálculo do índice de sustentabilidade

A extração dos fatores foi definida pela variância da combinação linear das variáveis observadas. O primeiro fator extraído representa a combinação linear que explica a variância máxima existente na amostra; o segundo, a combinação linear com a máxima explicação da variância remanescente e assim sucessivamente. A correlação de cada variável com os fatores é expressa, em termos algébricos, por:

$$X_i = A_{i1} \cdot f_1 + A_{i2} \cdot f_2 \dots A_{in} \cdot f_n + \xi \quad (2)$$

em que (X_1, X_2, \dots, X_n) - expressam a combinação linear dos fatores (f); A - representa as cargas fatoriais; e ξ - termo residual da variância não explicada pelos fatores.

O número de fatores extraídos foi definido pelo critério das raízes características, *eigenvalues*, onde se consideram somente componentes com autovalor superior a um, ou seja, o fator deve explicar uma variância superior àquela apresentada por uma simples variável (HAIR JÚNIOR et al., 2005). Para minimizar o elevado grau de dificuldade na identificação dos fatores significantes da matriz de cargas fatoriais empregou-se o procedimento de transformação ortogonal, *Varimax* ou simplesmente rotação da matriz das cargas fatoriais. A rotação de matriz tem por finalidade minimizar a contribuição das variáveis com menor significância no fator (HAIR JÚNIOR et al., 2005; NORUSIS, 1990;). Após a rotação, as variáveis passam a

apresentar pesos próximos a um ou a zero, eliminando os valores intermediários, que dificultam a interpretação dos fatores. O processo maximiza a variância entre os fatores, alterando a raiz característica sem modificar a proporção da variância total explicada pelo conjunto (MONTEIRO; PINHEIRO, 2004).

Após a seleção dos fatores determinantes elaborou-se o índice de sustentabilidade (IS) pelo somatório do produto entre o escore de cada variável (I_i) atribuído a cada unidade produtiva e o termo de ponderação dos indicadores no índice (p). A expressão algébrica do índice é dada por:

$$IS = p_1 \cdot I_1 + p_2 \cdot I_2 \dots + p_i \cdot I_i \quad (3)$$

Os escores aplicados a cada variável (I_i) são apresentados na Tabela 2 e foram fundamentados em Barreto et al. (2005) e Carneiro Neto et al. (2008). Já o valor do peso (p_i) atribuído a variável foi ponderado em função do autovalor da componente (raiz característica) associado à explicabilidade de cada variável, em relação às componentes principais extraídas (equação 4). O autovalor é utilizado como termo de ponderação por expressar a capacidade dos fatores em captar em níveis diferentes as variâncias das variáveis (PALÁCIO, 2004).

$$p_i = \frac{(F_1 \cdot C_1) + (F_2 \cdot C_2) \dots + (F_i \cdot C_i)}{\left(F_1 \cdot \sum_1^n C_1\right) + \left(F_2 \cdot \sum_1^n C_2\right) \dots + \left(F_i \cdot \sum_1^n C_i\right)} \quad (4)$$

em que p_i : peso a ser associado a cada parâmetro de sustentabilidade; F_i : autovalor de cada fator; C_i : explicabilidade da variável em relação a componente principal.

Uma vez que o índice, potencialmente, pode variar entre 0 e 1, optou-se por considerar a sugestão apresentada por Vasconcelos e Torres Filho (1994), em que o intervalo entre 0 e 1 é dividido em cinco intervalos iguais, representado cinco categorias, as quais foram, também adotadas por Melo (1999) e Carneiro Neto et al. (2008). As unidades produtivas foram categorizadas como se segue:

- Sustentável: $IS > 0,80$;
- Sustentabilidade Ameaçada: $0,60 < IS \leq 0,80$;
- Sustentabilidade Comprometida: $0,40 < IS \leq 0,60$;
- Insustentável: $0,20 < IS \leq 0,40$; e
- Seriamente Insustentável: $IS \leq 0,20$.

Tabela 2 – Escores (I) atribuídos as variáveis que compõem o índice de sustentabilidade

Variáveis	Respostas	(I)
Qual o grau instrução?	Analfabeto	0
	1º grau incompleto	0,15
	1º grau completo	0,30
	2º grau incompleto	0,45
	2º grau completo	0,6
	Superior incompleto	0,8
	Superior completo	1
Quais as práticas de conservação usadas?	Plantio direto	0,2
	Rotação de cultura	0,2
	Cobertura morta	0,2
	Quebra-vento	0,2
	Outra	0,2
Qual sua opinião sobre o projeto?	Boa	1
	Regular	0,5
	Ruim	0
Tem experiência com irrigação?	Sim	1
	Não	0
Quais os cuidados após aplicação dos defensivos?	Toma banho	0,5
	Lava as roupas	0,3
	Lava as mãos	0,2
	Nenhum	0
O que faz com as embalagens dos defensivos?	Devolve ao fornecedor	1
	Joga no lixão	0,4
	Deixa no terreno, depois enterra	0,1
	Reutiliza	0
	Outros (queima)	0,3
Com o desmatamento, o que faz com a vegetação?	Faz coivaras e deixa em decomposição	1
	Faz coivaras e queima	0,5
	Queima em toda área	0
Usa proteção na aplicação dos defensivos?	Máscara	0,4
	Luva	0,2
	Óculos	0,2
	Botas	0,1
	Avental	0,1
	Não usa proteção	0
Como é feito o armazenamento dos adubos?	Em local reservado	1
	Em casa	0
Coeficiente de Uniformidade de Distribuição - CUD?	Excelente	1
	Bom	0,7
	Regular	0,4
	Ruim	0

Continuação da Tabela 2

Qual o destino do lixo domiciliar?	Coletado	1
	Queimado	0,3
	Enterrado	0,4
	Céu aberto	0
Qual o destino do esgoto sanitário?	Rede coletora	1
	Fossa séptica	0,7
	Não há	0

Adaptado de LOPES et al. 2009

Resultados e discussão

Embora a matriz primária fosse composta por 27 variáveis e 22 repetições (tamanho amostral), o teste de sensibilidade efetuado pelo modelo da Análise Fatorial/Análise das Componentes Principais (AF/ACP) identificou que apenas 12 delas apresentavam alguma significância na explicação da variância total dos dados (Tabela 3). O teste de adequacidade, Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), apresentou um índice igual a 0,54 considerado aceitável por Meyer e Braga (1999). Valores de KMO semelhantes aos obtidos nesse estudo foram observados por Girão et al. (2007) na seleção dos indicadores da qualidade de água no rio Jaibaras, empregando a análise de componentes principais. Após a transformação ortogonal pelo emprego do algoritmo *varimax* verificou-se que as cinco primeiras componentes explicaram respectivamente 20,77; 16,53; 15,64; 13,12 e 13,06% da variância total dos dados, concentrando, assim, em cinco dimensões 79,14% das informações antes dissolvidas em doze dimensões. Pesquisadores como Palácio (2004), Silva e Sacomani (2001), Andrade et al. (2008), também fizeram uso do algoritmo *varimax* na elaboração da matriz de mais fácil interpretação.

Na Tabela 3, observa-se que todas as variáveis empregadas no desenvolvimento do índice apresentaram comunalidade superior a 0,5; expressando que mais de 50% da variância de cada variável foi reproduzida pelos pesos fatoriais atribuídos a referida variável (NORUSIS, 1990).

Ainda pela Tabela 3, verifica-se que C_1 expressou uma maior associação com as técnicas de produção agrícola. As variáveis mais significativas foram: “Quais as práticas de conservação usadas?” e “Qual sua opinião sobre o projeto?” (peso > 0,84). Na C_2 a variável mais significativa foi: “Quais os cuidados após aplicação dos defensivos?” (peso > 0,85), para a C_3 a variável “Usa proteção nas aplicações dos defensivos?”, foi a que apresentou maior significância (peso > 0,87), portanto, as componentes C_2 e C_3 expressaram uma associação forte com

riscos a saúde humana e a conservação do meio ambiente. A C_4 foi composta pela variável “CUD” (Coeficiente de Uniformidade de Distribuição), apresentando peso igual a 0,88, a qual expressa a eficiência de irrigação no Perímetro. Já a C_5 apresentou uma inter-relação com as variáveis: “Qual o destino do lixo domiciliar?” e “Qual o destino do esgoto sanitário?”, sendo a primeira variável a mais significativa na componente com peso superior a 0,77. Essa componente expressa a questão da educação ambiental do Perímetro.

Após a elaboração da matriz dos pesos fatoriais, estimou-se o valor do peso (π) a ser atribuído a cada variável em função da raiz característica (Tabela 3) de cada fator, associado a explicabilidade de cada variável em relação aos fatores extraídos, aplicando-se a equação 4. Os referidos pesos a serem empregados no cálculo do índice de sustentabilidade podem ser vistos na Tabela 4. Procedimento semelhante foi adotado por Palácio (2004), na confecção de um índice de qualidade de água proposta para o vale do rio Trussu, Ceará.

Observa-se que os maiores coeficientes do índice de sustentabilidade estão associados às variáveis: “qual o grau de instrução?”, “quais os cuidados após aplicação dos defensivos?”, “tem experiência com irrigação?” e “quais as práticas de conservação usadas?” (Tabela 4), as quais estão associadas ao nível de conhecimento técnico dos produtores, demonstrando a importância de treinamentos práticos de forma continuada. Estes resultados confirmam a tese de que a adoção das técnicas de produção pelos agricultores depende da constância de uma educação continuada como defendida por Branco (2003).

Definidos os pesos a serem associados aos indicadores de sustentabilidade de cada unidade produtiva, determinou-se o índice de sustentabilidade pelo emprego da equação 3. Os índices de sustentabilidade (IS) e a classificação de cada unidade produtiva no *ranking* do universo estudado podem ser vistos na Tabela 5.

Os índices de sustentabilidade obtidos variaram de 0,283 a 0,916. Os menores valores significam níveis de

Tabela 3 – Matriz de cargas fatoriais das variáveis transformadas pelo algoritmo *varimax* nos cinco componentes principais selecionados do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, Ceará

Nº	Variáveis	Componentes					C*
		C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	
1	Quais as práticas de conservação usadas?	0,858	0,170	-0,138	0,137	-0,192	0,839
2	Qual sua opinião sobre o projeto?	0,846	-0,015	0,054	-0,169	-0,074	0,753
3	Tem experiência com irrigação?	0,591	-0,261	0,162	0,316	0,505	0,798
4	Qual o grau de instrução?	0,539	0,337	0,478	0,310	-0,123	0,744
5	Quais os cuidados após aplicação dos defensivos?	0,370	0,853	-0,022	0,021	0,169	0,895
6	O que faz com as embalagens dos defensivos?	-0,356	0,767	0,242	0,154	-0,191	0,835
7	Após o desmatamento, o que faz com vegetação?	0,312	0,544	-0,430	0,113	-0,507	0,848
8	Usa proteção nas aplicações dos defensivos?	-0,075	0,231	0,877	-0,240	-0,196	0,924
9	Como é feito o armazenamento dos adubos?	0,107	-0,203	0,702	0,447	-0,001	0,745
10	Coefficiente de Uniformidade de Distribuição?	0,018	0,107	0,050	0,887	-0,093	0,809
11	Qual o destino do lixo domiciliar?	-0,152	-0,035	-0,144	-0,155	0,776	0,671
12	Qual o destino do esgoto sanitário?	-0,028	0,229	-0,268	0,476	0,533	0,636
Somatórios das componentes – ΣC		3,028	2,726	1,562	2,296	0,608	
Autovalor (raiz característica) – F		2,493	1,984	1,877	1,575	1,568	
Variância (%)		20,775	16,533	15,642	13,125	13,066	
Variância acumulada (%)		20,775	37,308	52,950	66,075	79,141	

*C: Comunalidade - quando superior a 0,5 significa que o fator correspondente reproduz mais da metade da variância da variável correspondente

Tabela 4 – Pesos (*pi*) a serem associados aos indicadores de sustentabilidade

Variáveis	Pesos
Qual o grau de instrução?	0,157
Quais os cuidados após aplicação dos defensivos?	0,140
Tem experiência com irrigação?	0,125
Quais as práticas de conservação usadas?	0,104
Como é feito o armazenamento dos adubos?	0,092
Qual sua opinião sobre o projeto?	0,088
CUD?	0,078
Qual o destino do esgoto sanitário?	0,072
Usa proteção nas aplicações dos defensivos?	0,060
O que faz com as embalagens dos defensivos?	0,050
Desmatamento, o que faz com a vegetação?	0,021
Qual o destino do lixo domiciliar?	0,012
Total	1,000

menor sustentabilidade, enquanto os valores mais elevados identificam níveis de maior sustentabilidade. Melo (1999), estimando um índice de agricultura sustentável em áreas irrigadas do Vale do Sub-médio São Francisco, encontrou valores do índice de sustentabilidade variando de 0 a 0,589. Porém, a autora supracitada considerou, na elaboração do índice de sustentabilidade, uma classificação inversa à considerada nesta pesquisa, na qual o valor do índice próximo de zero representava alto nível de sustentabilidade e próximo de um, representava a insustentabilidade.

A média global de sustentabilidade entre os produtores foi de 0,538, representando uma condição de sustentabilidade comprometida ($0,40 < ISP \leq 0,60$). Resultados semelhantes foram observados nas unidades produtivas do Perímetro Irrigado Ayres de Sousa por Carneiro Neto et al. (2008) e em três assentamentos federais que fazem uso da agricultura convencional situados no município de Caucaia, Ceará por Barreto et al. (2005). Esses resultados apontam que a agricultura familiar se encontra com uma sustentabilidade comprometida, seja na agricultura irrigada seja na agricultura de sequeiro.

Tabela 5 – Índices de sustentabilidade e ranking entre as 22 unidades produtivas

Unidade Produtiva	IS	Rank
12	0,916	1
13	0,880	2
1	0,741	3
19	0,729	4
22	0,716	5
11	0,671	6
9	0,590	7
4	0,562	8
7	0,543	9
16	0,541	10
18	0,539	11
3	0,522	12
2	0,489	13
6	0,488	14
14	0,485	15
21	0,428	16
10	0,371	17
15	0,362	18
17	0,350	19
20	0,327	20
5	0,296	21
8	0,283	22
Média	0,538	
Desvio Padrão	0,179	

De acordo com a Tabela 6, observa-se que apenas duas unidades produtivas apresentaram um Índice de Sustentabilidade $> 0,80$, ou seja, em condição sustentável, o que corresponde a 9%. Essas unidades são de propriedade de um técnico agrícola com o IS igual a 0,916 e de um engenheiro agrônomo com IS igual 0,880 (Tabela 5). Salienta-se que ambos já haviam vivenciado experiências com a agricultura irrigada, antes de se tornarem proprietários dos lotes no Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú, Ceará.

Os seis lotes (27%) que se encontram em condições insustentáveis ($0,20 < IS \leq 0,40$), pertencem a proprietários sem experiências anteriores com a agricultura irrigada ou de sequeiro. Identificou-se também, que dois desses seis lotes pertencem a colonos que não apresentam nenhum nível escolar e que os proprietários dos quatro lotes restantes, freqüentaram a escola por período inferior a três anos. Esse fato mostra a estreita dependência entre o desenvolvimento de uma região e o nível educacional da população, a qual vem sendo mostrada e discutida por diversos pesquisadores (NETO LACERDA; OLIVEIRA, 2007; PIMENTEL; SOUZA, 2003). A pesquisa aponta para a necessidade da adoção de treinamentos práticos continuados e uma assistência técnica mais atuante.

Uma informação importante a ser adicionada é o fato de que 50% dos entrevistados consideraram a situação atual do perímetro boa e 36% regular, o que mostrou a falta de conhecimento por parte dos irrigantes das ações a serem executadas para uma maior sustentabilidade do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, Ceará.

Tabela 6 – Classificação dos produtores com relação à sustentabilidade do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, Ceará

Classificação	Intervalos	Números de Produtores	Proporção (%)
Sustentável	$IS > 0,80$	2	9,0
Sustentabilidade Ameaçada	$0,60 < IS \leq 0,80$	4	18,2
Sustentabilidade Comprometida	$0,40 < IS \leq 0,60$	10	45,5
Insustentável	$0,20 < IS \leq 0,40$	6	27,3
Seramente Insustentável	$IS \leq 0,20$	0	0,0
Total		22	100,0

Conclusão

1. O índice desenvolvido demonstrou claramente a diferença entre as unidades produtivas, no que concerne a sustentabilidade do modelo de exploração adotado pelos produtores do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, Ceará.

2. O valor do índice médio para todo o perímetro (0,54), aponta para uma sustentabilidade comprometida, expressando uma situação preocupante do Perímetro, dado que 27,3% das unidades produtivas apresentam condições de insustentabilidade.

3. Os lotes em condição sustentável são de proprietários

que tem conhecimento técnico e já tinham experiência com agricultura irrigada.

4. Os produtores do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, Ceará, necessitam de treinamentos práticos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo suporte financeiro dado a essa pesquisa.

Referências

ANDRADE, E. M. et al. Land use effects in groundwater composition of an alluvial aquifer (Trussu River, Brazil) by multivariate techniques. **Environmental Research**, v. 106, n. 02, p. 170-177, 2008.

ANDRADE et al. Mapa de vulnerabilidade da bacia do Acaraú, Ceará, à qualidade das águas de irrigação, pelo emprego do GIS. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 37, n. 03, p. 279-286 2006

BARRETO, R. C. S.; KHAN, A. S.; LIMA, P. V. P. S. Sustentabilidade dos assentamentos do município de Caucaia – CE. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 43, n. 02, p. 225-247, 2005.

BRANCO, M. C. Avaliação do conhecimento do rótulo dos inseticidas por agricultores em uma área agrícola do Distrito Federal. **Revista Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 03, p. 570-573, 2003.

CARNEIRO NETO et al. Índice de Sustentabilidade Agroambiental para o Perímetro Irrigado Ayres de Souza. **Revista Ciência Agrotécnica**, v. 32, n. 04, p. 1272-1279, 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS – DNOCS. Perímetro Irrigado Baixo Acaraú. Disponível em: <<http://apoena.dnocs.gov.br/~apoena/php/projetos/projetos.php>>. Acesso em: **22 abr. 2008**.

FONSECA, J. S.; MARTINS, G. A. **Curso de estatística**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 1996, 320 p.

GIRÃO, E. G. et al. Seleção dos indicadores da qualidade de água no Rio Jaibas pelo emprego da análise da componente principal. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 38, n. 01, p. 17-24, 2007.

HAIR, JÚNIOR, F. et al. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593 p.

HELENA, B. et al. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga river, Spain) by principal component analysis. **Water Research**, v. 34, n. 03, p. 807-816, 2000.

LACERDA, N. B.; OLIVEIRA, T. S. Agricultura irrigada e a qualidade de vida dos agricultores em perímetros do Estado do Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 38, n. 02, p. 216-223, 2007.

LOBATO, F. A. de O. et al. Sazonalidade na qualidade da água de irrigação do Distrito Irrigado Baixo Acaraú, Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 39, n. 01, p.167-172, 2008.

MASERA, O.; ASTIER, M.; RIDAURA, S. L. **Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco de evaluación (MESMIS)**. México: Mundi-Prensa, 1999. 107 p.

LOPES et al. Indicadores de sustentabilidade do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, Ceará, empregando a análise multivariada. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 40, n. 01, p. 17-26, 2009.

MELO, A. S. S. A. **Estimação de um Índice de Agricultura Sustentável: o caso da área irrigada do Vale do Submédio São Francisco**. 1999. 167 f. Tese (Doutorado em Economia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.

MEYER, L. F. F.; BRAGA, M. J. Elementos para uma tipologia do uso do solo Agrícola no Estado do Para: uma discussão sobre análise fatorial... In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 37., 1999, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SOBER, 1999.

MONTEIRO, V. P.; PINHEIRO, J. C. V. Critério para Implantação de Tecnologias de Suprimentos de Água Potável em Municípios Cearenses Afetados pelo Alto Teor de Sal. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 42, n. 02, p. 365-387, 2004.

NORUSIS, M. J. **SPSS Base System User's Guide**. Chicago: SPSS Inc, 1990. 520 p.

PALÁCIO, H. A. Q. **Índice de qualidade das águas na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu Ceará**. 2004. 96 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

PIMENTEL, C. R. M.; SOUZA NETO, J. de. **Perfil técnico econômico dos perímetros irrigados das Bacias do Curu e Baixo Acaraú**. Fortaleza: EMBRAPA AGROINDÚSTRIA TROPICAL, 2003. 28 p. (Documento, 80).

SANDS, G. R.; PODMORE, T. H. A generalized environmental sustainability index for agricultural systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 79, n. 01, p. 29-41, 2000.

SILVA, A. M. M.; SACOMANI, L. B. Using chemical and physical parameters to define the quality of Pardo river water (Botucatu- SP-Brasil). **Water Research**, v. 35, n. 06, p. 1609-1616, 2001.

SILVEIRA, S. S.; ANDRADE, E. M. Análise de componentes principais na investigação da estrutura multivariada da evapotranspiração. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 22, n. 02, p. 174-177, 2002.

SOUZA, G. H. F. et al. Desempenho do Distrito de Irrigação Senador Nilo Coelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 05, n. 02, p. 204-209, 2001.

TOLEDO, L. G.; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 01, p. 181-186, 2002.

VASCONCELOS, R. R.; TORRES FILHO, W. **Impactos Ambientais das Atividades Humanas sobre a Base de Recursos Renováveis no Semi-árido: relatório preliminar**. Brasília: IPEA/SEPLAN, 1994.