

# Indicadores de sustentabilidade do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, Ceará, empregando a análise multivariada<sup>1</sup>

Sustainability indicators using multivariate analysis for irrigation low area of Acaraú Valley, Ceará

Fernando Bezerra Lopes<sup>2\*</sup>, Eunice Maia de Andrade<sup>3</sup>, Deodato do Nascimento Aquino<sup>4</sup>, Francisco Antonio de Oliveira Lobato<sup>5</sup> e Marcos Amauri Bezerra Mendonça<sup>5</sup>

**Resumo** - O objetivo do estudo foi o desenvolvimento de uma análise integrada dos fatores determinantes da sustentabilidade do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú (PIBAU), Ceará, pelo emprego da Análise Fatorial/Análise da Componente Principal (AF/ACP). A análise de campo foi realizada em duas etapas: setembro de 2006, com a aplicação de questionários a 22 irrigantes, e julho de 2007, quando foram efetuadas as avaliações dos sistemas de irrigação dos produtores que haviam participado da pesquisa. Pelo emprego da AF/ACP identificou-se que o modelo de melhor ajuste para expressar a sustentabilidade do PIBAU foi aquele composto por cinco fatores, explicando 79,14% da variância total, antes dissolvida em 12 dimensões. O primeiro fator (20,77% da variância total) é indicador do conhecimento e do uso de técnicas de produção agrícola. O segundo e terceiro fatores compõem um indicador relativo à saúde e conservação do meio ambiente. Os dois fatores restantes explicam 26,19% da variância total e são indicadores da eficiência de irrigação e educação ambiental, respectivamente. Outro ponto observado é que a análise fatorial resultou em grande redução no número de variáveis, uma vez que o melhor ajuste do modelo ocorreu com 12 das 27 variáveis analisadas.

**Palavras-chave** - Análise fatorial. Agricultura sustentável. Impacto ambiental.

**Abstract** - This study was carried out to develop an integrated analysis of sustainability determinant factors in the Perímetro Irrigado Baixo Acaraú (PIBAU), Ceará, Brazil. This study was performed by Factor Analysis/Principal Component Analysis (FA/PCA). The approach was developed at two different times: In September/2006, 22 cross-over forms were applied to small farmers; and in July/2007, when the evaluation of farmers' irrigation systems were performed. The FA/PCA use allowed the identification of the best fit model to explain the sustainability of PIBAU. Five components were identified as responsible for the data structure, explaining 79.14% of the total variance, dissolved previously in 12 dimensions. The first factor (20.77% of variance) pointed to the acknowledgment and the use of agricultural production techniques. The second and the third factors represented a health and environmental group. The last two factors explained 26, 19% of the total variance assigned as irrigation efficiency and environmental education, respectively. Factor analysis reduced the number of variables, since the model best fitted occurred with 12 of the 27 analyzed variables.

**Key words** - Factor analysis. Sustainable agriculture. Environmental impacts.

\* Autor para correspondência

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 21/05/2008; aprovado em 08/12/2008

Parte da Dissertação de mestrado apresentado pelo primeiro autor ao Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC, Fortaleza - Ceará

<sup>2</sup>Graduado em Recursos Hídricos e Irrigação, M. Sc. Depto. de Eng. Agrícola, CCA/UFC, Caixa Postal: 12.168, CEP: 60455-970, Fortaleza - CE, bolsista do CNPq, lopesfb@yahoo.com.br

<sup>3</sup>Eng. Agrônoma, Ph. D, Prof<sup>a</sup> do Depto. de Eng. Agrícola, CCA/UFC, Fortaleza - CE, eandrade@ufc.br

<sup>4</sup>Eng. Agrônomo, M. Sc., Depto de Eng. Agrícola, CCA/UFC, Fortaleza - CE, deoagro@yahoo.com.br

<sup>5</sup>Estudante de Agronomia, Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC, Fortaleza - CE, amauri\_bm@hotmail.com

## Introdução

A crise ambiental no setor agropecuário, no início deste novo milênio, é profunda e multifacetada. Problemas como: concentração da posse da terra e da renda; êxodo rural; desemprego; erosão e perda da fertilidade dos solos; contaminação dos alimentos, do solo, da água; destruição florestal, bem como o esgotamento dos recursos naturais e a deterioração dos ecossistemas fazem parte do nosso cotidiano. Pode-se dizer que a maior parte dos impactos agroambientais está relacionada com a agricultura moderna que foi disseminada com a revolução verde, baseando-se num padrão tecnológico de utilização de insumos químicos, vasta maquinaria e sementes melhoradas (LOVELOCK, 2006; VILLIERS, 2002). A procura de lucros imediatos, utilizando os recursos naturais até exauri-los, gerou a insustentabilidade ambiental da agricultura moderna.

Face a esse quadro, torna-se necessária uma avaliação do sistema de produção que está presente nos dias atuais e lança à humanidade e, em especial ao Brasil, um desafio: a busca por um desenvolvimento sustentável. Para que as gerações futuras tenham acesso aos recursos que dão base à atividade agrícola, é preciso que se adote uma visão de desenvolvimento sustentável onde a capacidade de suporte dos recursos seja avaliada.

A sustentabilidade dos projetos de irrigação depende do uso da terra, geologia, qualidade da água de irrigação, drenagem natural do solo, condições climáticas locais, comercialização, nível educacional do irrigante, entre outros (MELO, 1999). Diversos estudos mostram a estreita dependência entre o desenvolvimento de uma região e o nível educacional da população (LACERDA; OLIVEIRA, 2007; PIMENTEL; SOUZA NETO 2003; SOUZA, 2003;).

Embora a sustentabilidade seja vista como um tema de primordial importância para a vida do planeta, a agricultura sustentável continua como uma concepção não muito clara. A complexidade deste sistema, em decorrência da sua característica multivariada torna difícil estabelecer um indicador padrão de sustentabilidade para qualquer projeto de irrigação (GALLOPÍN, 1997; TOLEDO; NICOLELLA, 2002). Sustentabilidade que, neste caso, não implica necessariamente na criação de práticas comuns a toda agricultura desenvolvida no mundo, mas sim, que sejam avaliadas as limitações e aptidões dos recursos naturais de cada região.

Os métodos de análise exploratória de dados multivariados são largamente utilizados quando se deseja promover a redução do número de variáveis com o mínimo de perda de informação (HELENA et al., 2000; PALÁCIO, 2004). Na avaliação de dados de monitoramento

ambiental, técnicas de estatística multivariada, como Análise Fatorial/Análise da Componente Principal, vêm sendo empregadas com muita frequência (ANDRADE et al., 2007; ANDRADE et al., 2008; CARNEIRO NETO, 2005; GIRÃO et al., 2007;). O método das componentes principais é um dos mais usados para resolver problemas clássicos de análise fatorial. Essa análise permite a redução da dimensão de dados, facilitando a extração de informações que serão de grande relevância na avaliação da sustentabilidade do perímetro.

O objetivo do estudo foi a identificação dos fatores determinantes da sustentabilidade do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, Ceará, bem como o desenvolvimento de uma análise integrada dos referidos fatores, pelo emprego da Análise Fatorial/Análise da Componente Principal.

## Material e métodos

A área de estudo foi o Perímetro Irrigado Baixo Acaraú (PIBAU), com extensão de 12.407,00 ha, localizada na região Norte do Estado do Ceará, entre as coordenadas 3° 3' 40" e 40° 8' 20"; 3° 8' 45" e 40° 0' 0". O clima da região de acordo com a classificação de Köppen é Aw', tropical chuvoso. Em geral, os solos são profundos, bem drenados, de textura média ou média/leve e muito permeáveis.

O suprimento hídrico ocorre através de uma vazão contínua de aproximadamente 1,15 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>, para pequeno produtor e técnico, enquanto que para o irrigante tipo empresário é de 1,3 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>. A fonte hídrica do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, Ceará, é a Barragem Santa Rosa. O método de irrigação adotado é o localizado: microaspersão e gotejamento. A Tabela 1 apresenta as características da água usada na irrigação.

Para o cálculo amostral, utilizou-se a técnica probabilística em que todos os elementos da população têm igual probabilidade, diferente de zero, de serem selecionados para compor a amostra. Considerando a população total (N) de 189 elementos (irrigantes), um erro amostral (d) definido de 10%, o nível de confiança expresso em desvio-padrão (Z) de 1,645, correspondente a um nível de confiança de 90% e os percentuais dos elementos da amostra favoráveis (p) e desfavoráveis (q) ao atributo pesquisado de 50% para cada um. O tamanho da amostra foi calculado pela equação apresentada por Fonseca e Martins (1996):

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

Assim, a amostra calculada foi de 16 irrigantes, no entanto adotou-se uma mostra composta por 22 irrigantes, e assim se ter uma maior margem de segurança.

Tabela 1 – Valores médios da análise das águas no período de estudo, com respectiva classificação (LOBATO et al., 2008)

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

RAS<sup>0</sup> (RAS corrigida) e Ca<sup>0</sup> (Cálcio corrigido) de acordo com University of Califórnia Committee of Consultants – UCCC

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 aos quais se havia aplicado os questionários. O questionário aplicado aos irrigantes segue o padrão cross-section, com perguntas objetivas e fechadas, obtendo respostas diretas de forma a padronizar os dados. Foram realizadas 53 perguntas onde se abordaram os seguintes aspectos: sócio-econômicos (qual o destino do lixo domiciliar, qual o destino do esgoto sanitário, qual o custo com energia, qual o custo com água); agrônômicos (uso e ocupação do solo, aplicação de técnicas de manejo e conservação do solo, manejo da irrigação); rede de saúde (tem acesso a posto de saúde e recebe visita do agente de saúde). As avaliações dos sistemas de irrigação seguiram a metodologia proposta por Merriam e Keller (1978).

A tipificação dos irrigantes que compõem o PIBAU foi definida mediante a análise fatorial pelo método das componentes principais. Nesta análise, cada uma das  $n$  variáveis forma uma combinação linear de  $m$  fatores comuns e de um fator específico, devendo o número de fatores comuns ser inferior ao número de variáveis. Essa metodologia é composta pelas seguintes etapas: preparação da matriz de correlação; extração dos fatores comuns com possível redução dos parâmetros que definem a sustentabilidade ambiental; rotação dos eixos relativos aos fatores comuns, visando a uma solução de mais fácil interpretação.

Para a análise dos dados foi utilizado o SPSS – Statistical Package for the Social Sciences, 16.0, por apresentar bastante versatilidade no manuseio das operações necessárias à obtenção das componentes principais, contando inclusive com o tratamento prévio de padronização e escalonamento dos dados. Neste estudo, a adequabilidade dos dados foi aferida pelo método Kayser Mayer Olkim (KMO). Esse método compara a magnitude dos coeficientes de correlação observados com os coeficientes de correlação parcial. Maiores informações podem ser obtidas em Dillon e Goldstein (1984); Hair Júnior et al. (2005); Norusis (1990);

A extração dos fatores foi obtida de acordo com a amplitude da variância da combinação linear das variáveis observadas. O primeiro fator extraído foi a combinação

linear com variância máxima existente na amostra; o segundo, a combinação linear com a máxima variância remanescente; e assim sucessivamente. O número de fatores extraídos foi definido pelo critério das raízes características, onde se consideram somente componentes com autovalor superior a um, ou seja, que o fator deve explicar uma variância superior àquela apresentada por uma simples variável (HAIR JÚNIOR et al., 2005). A correlação de cada variável com os fatores é expressa, em termos algébricos, por:

$$X_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + \dots + a_{im}F_m + e \quad (2)$$

onde, cada variável observada ( $X_1, X_2 \dots X_n$ ) expressa a combinação linear dos fatores, mais um termo residual ( $e$ ) que representa a parte não explicada pelos fatores. Os fatores ( $F_i$ ), por sua vez, são combinados por meio das cargas fatoriais, representadas pelas constantes “ $a$ ”. O modelo assume que os erros experimentais não têm correlação com os fatores comuns (PALÁCIO, 2004).

Para facilitar a interpretação dos fatores extraídos, utilizou-se o procedimento de transformação ortogonal (método Varimax), ou simplesmente rotação da matriz das cargas fatoriais, gerando uma nova matriz de cargas fatoriais que apresenta um melhor significado interpretativo aos fatores (MONTEIRO; PINHEIRO, 2004).

## Resultados e discussão

### Perfil do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú

Na Tabela 2, são apresentadas as frequências absolutas dos indicadores de sustentabilidade do PIBAU. Pode-se observar que 41% dos irrigantes são analfabetos; 23% possuem baixa escolaridade, 1º grau incompleto; ou seja, 64% dos irrigantes possuem baixa ou nenhuma escolaridade. A baixa escolaridade justifica a pouca eficácia de políticas públicas voltadas para a promoção do desenvolvimento, uma vez que o baixo nível educacional é um fator limitante de alcance às informações, comunicação, capital humano e social, adoção de tecnologias e desenvolvimento (LACERDA;

OLIVEIRA, 2007; PIMENTEL; SOUZA NETO 2003; SOUZA, 2003).

Observa-se, também, que não existe rede de esgotos, sendo que 77% dos irrigantes têm na suas residências fossas sépticas e os outros 23% têm os dejetos lançados a céu aberto. Aquino (2007), estudando o manejo da irrigação e a sustentabilidade dos recursos solo e água no PIBAU, verificou que a presença de fossas sépticas, às vezes abertas, nas proximidades de poços, aliada à falta de proteção sanitária nestes, é uma das causas de contaminação por nitrato dos poços, principalmente com a chegada do período chuvoso.

Identificou-se que 59% do lixo domiciliar é coletado, 23% é queimado e 18% é jogado a céu aberto. A coleta de lixo na área rural ainda é insuficiente. Resultados semelhantes foram observados por Lacerda e Oliveira (2007) estudando agricultura irrigada e a qualidade de vida dos agricultores em perímetros do Estado do Ceará, Brasil. A população que tem acesso a serviços de saneamento básico é menos vulnerável a doenças como infecções diarreicas e parasitárias, dengue e leptospirose, entre outras (IPEA, 2007).

Um outro ponto preocupante é que 77% dos irrigantes não possuíam experiências com a agricultura irrigada antes de chegarem ao Perímetro. Esse percentual juntamente com o resultado do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição – CUD demonstram a necessidade de cursos práticos de capacitação dos irrigantes do PIBAU. Também foi observado que os produtores, em sua maioria, buscam, mesmo que de forma inconsciente, manter algum controle das queimadas. Constatou-se que 64% dos produtores entrevistados fazem uso do encoivamento para realização da queima e que apenas 8% encoivaram e deixam o material passar pelo processo de decomposição. No entanto, 18% ainda queimam a vegetação sobre toda a área. Resultado semelhante foi observado por Carneiro Neto (2005), estudando a sustentabilidade em perímetros irrigados da bacia do Acaraú. O que ocorre quando se queima toda a área é que os nutrientes que seriam adicionados aos poucos, ao solo, pela decomposição da matéria orgânica, passam a ficar disponíveis de uma só vez nas cinzas (ARAÚJO et al., 2007).

No Perímetro, 50% dos produtores utilizam a associação de práticas de conservação, sendo 8% com duas práticas conservacionistas, 19% com associação de três práticas, 23% com quatro práticas (Tabela 2). Metade dos produtores (50%) emprega apenas uma prática conservacionista, e 14% se referiram à de rotação de cultura como sendo a única prática de conservação do solo. Observou-se que 9% fazem uso de quebra vento e 19% empregam a bagana como cobertura morta, evitando assim

a exposição direta do solo aos efeitos da radiação solar, do vento e da precipitação. Práticas conservacionistas, aplicadas isoladamente, previnem apenas de maneira parcial o problema. Para uma prevenção adequada do solo, faz-se necessária a adoção simultânea de um conjunto de práticas (ARAÚJO et al., 2007).

Ainda pela Tabela 2, observa-se que apenas 18% das unidades produtivas apresentam Coeficiente de Uniformidade de Distribuição – CUD classificado como excelente, de acordo com a classificação de Merriam e Keller (1978) e 27% classificados com bom, as outras 55% das unidades produtivas apresentaram um CUD entre regular e ruim, ou seja, inferior a 80%, quando o CUD excelente recomendado para a irrigação localizada é de 90% ou pelo menos um CUD classificado como bom, acima de 80% (MERRIAM; KELLER, 1978). As principais causas observadas em campo para o baixo coeficiente de uniformidade de distribuição – CUD são: vazamentos nas linhas laterais, problema de dimensionamento hidráulico dos sistemas de irrigação, emissores obstruídos e utilização de modelos de emissores diferentes na mesma parcela.

Verifica-se, também pela Tabela 2, que 65% dos produtores usam equipamentos de proteção individual – EPI completo durante o manuseio e 20% não usam nem um tipo de proteção. Como justificativas para a não utilização de equipamento de proteção individual, os agricultores alegam o desconforto dos equipamentos, o custo e a dificuldade no manuseio. Os outros 15% usam apenas parcialmente os equipamento de proteção individual. Resultados semelhantes foram observados por Lacerda e Oliveira (2007). Resultado diferente foi observado por Costa (2006), onde 7% dos produtores usavam equipamentos de proteção individual.

### **Análise de componentes principais**

Embora tenham sido analisadas 27 variáveis, o teste de sensibilidade efetuado pelo modelo da Análise Fatorial/ Análise da Componente Principal (AF/ACP) identificou que apenas 12 delas apresentaram alguma significância na explicação da variância total dos dados (Tabela 3). O teste de adequacidade aplicado ao modelo, Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), apresentou um índice igual a 0,537, considerado aceitável por Silveira e Andrade (2002), demonstrando que o modelo promoverá significativa redução na dimensão dos dados originais. A seleção do número de componentes, nesse estudo, teve como base os princípios descritos por Hair Júnior et al. (2005), ou seja, considerar somente aqueles que apresentem um autovalor superior a um. O modelo de melhor ajuste (maior KMO e maior explicabilidade da variância total por um menor número de fatores) foi aquele composto por cinco componentes.

**Tabela 2** - Frequências absolutas dos indicadores de sustentabilidade Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, Ceará

Variáveis	Respostas	(%)
Qual o grau de instrução?	Analfabeto	41
	1º grau incompleto	23
	1º grau completo	13
	2º grau completo	14
	Superior completo	9
Qual o destino dos esgotos sanitário?	Rede coletora	0
	Fossas sépticas	77
	Ausência de fossas sépticas	23
Qual o destino do lixo domiciliar?	Queimado	23
	Coletado	59
	Céu aberto	18
Tem experiência com irrigação?	Com experiência de irrigação	23
	Sem experiência de irrigação	77
Com o desmatamento, o que faz com a vegetação?	Queima toda área	18
	Faz coivaras e queima	64
	Faz coivaras e deixa em decomposição	8
	Outros	10
Quantidade de práticas de conservação usadas?	Uma prática	50
	Duas práticas	8
	Três práticas	19
	Quatro práticas	23
CUD*	Excelente	18
	Bom	27
	Regular	27
	Ruim	28
Usa proteção na aplicação dos defensivos?	E.P.I**	65
	Uso parcial	15
	Não usa proteção	20
Qual a sua opinião sobre o Perímetro?	Boa	50
	Regular	36
	Ruim	14
Quais os cuidados pessoais após a aplicação dos defensivos agrícolas?	Toma banho	20
	Lava as mãos	25
	Toma banho e lava as roupas	55
O que fez com as embalagens dos defensivos agrícolas?	Joga no lixo	30
	Devolve ao fornecedor	60
	Outros	10
Como faz o armazenamento de adubos e defensivos agrícolas?	Em casa	18
	Em local reservado	82

\* Coeficiente de Uniformidade de Distribuição; \*\* Equipamento de proteção individual – EPI

**Tabela 3** – Matriz de cargas fatoriais das variáveis nos cinco componentes principais, PIBAU, Ceará. 2007

Nº	Variáveis	Componentes ou fatores				
		C1	C2	C3	C4	C5
1	Quais as práticas de conservação usadas?	0,792	0,343	0,173	0,244	0,073
2	Qual o grau de instrução?	0,791	0,097	0,315	0,054	0,077
3	Quais os cuidados após aplicação dos defensivos?	0,651	0,148	0,378	0,240	0,498
4	Qual sua opinião sobre o projeto?	0,600	0,393	0,032	0,464	0,148
5	O que faz com embalagens defensivos?	0,241	0,773	0,140	0,368	0,152
6	Tem experiência com irrigação?	0,341	0,694	0,384	0,188	0,132
7	Usa proteção nas aplicações dos defensivos?	0,185	0,621	0,585	0,211	0,344
8	Como é feito o armazenamento dos adubos?	0,268	0,055	0,784	0,188	0,143
9	Após o desmatamento, o que faz com vegetação?	0,569	0,208	0,646	0,099	0,232
10	Qual o destino do lixo domiciliar?	0,075	0,293	0,191	0,707	0,088
11	CUD	0,395	0,024	0,150	0,613	0,505
12	Qual o destino do lixo domiciliar?	0,391	0,381	0,058	0,335	0,509
	Autovalor (raiz característica)	2,956	2,045	1,876	1,584	1,036
	Variância (%)	24,631	17,046	15,635	13,200	8,630
	Variância acumulada (%)	24,631	41,677	57,312	70,511	79,141

Verifica-se que os cinco primeiras componentes explicaram respectivamente 24,63; 17,05; 15,05; 13,20 e 8,63% da variância total dos dados, concentrando em cinco dimensões 79,141% das informações antes dissolvidas em 12 dimensões (Tabela 3). Resultados semelhantes foram encontrados por Carneiro Neto (2005) e Andrade et al. (2007). Pela Tabela supracitada podem ser observados os valores dos pesos fatoriais para cada componente (C1, C2, C3, C4 e C5). Cada peso expressa a relação entre a componente e variável e permite a identificação das variáveis com maiores interrelações em cada componente, sendo que os valores elevados dos pesos fatoriais sugerem quais são as variáveis mais significativas em cada componente.

Na primeira componente, as variáveis “quais as práticas de conservação usadas?” e “qual o grau de instrução?”, apresentaram um peso superior a 0,79, indicando que estas variáveis são as mais significativas para C1. A segunda Componente, C2, é explicada principalmente pelas variáveis: “o que faz com embalagens defensivos?” e “tem experiência com irrigação?” (peso > 0,69). Já para as componentes C3, e C4, as variáveis mais significativas foram: “como é feito o armazenamento dos adubos?” e “qual o destino do lixo domiciliar?” apresentando peso maior que 0,70.

Em geral, a matriz do peso fatorial (Tabela 3) apresenta dificuldades na identificação das variáveis mais significativas, em decorrência de valores muito

próximos entre si ou próximos do valor médio (DILLON; GOLDSTEIN, 1984). Para suplantar essa limitação, aplicou-se a transformação ortogonal pelo emprego do algoritmo varimax. Pesquisadores como Andrade et al. (2007), Andrade et al. (2008), Helena et al. (2000), Palácio (2004), Silva e Sacomani (2001), obtiveram uma matriz de mais fácil interpretação com a aplicação do algoritmo varimax na elaboração da matriz transformada. A adoção da matriz transformada (Tabela 4), neste estudo, gerou mudanças significativas em relação à matriz original (Tabela 3).

Pode-se observar uma melhor distribuição da variância total entre as cinco componentes. Comparando-se as Tabelas 3 e 4, verifica-se uma redução do percentual da variância total explicada por C1, C2 e C4 com um conseqüente aumento do percentual da variância explicado por C3 e C5, sem ocorrer variação do total explicado pelo modelo, como afirmaram Monteiro e Pinheiro (2004). As cargas fatoriais atribuídas a cada componente, bem como a percentagem da variância total explicada por cada um, podem ser vistas na Tabela 4.

Após a rotação, C1 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?” (pesos > 0,84). Uma menor associação foi registrada com as variáveis: “Tem experiência com irrigação?” e “Qual o grau de instrução?”.

**Tabela 4** – Matriz de cargas fatoriais das variáveis transformadas pelo algoritmo varimax nos cinco componentes principais selecionados do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, Ceará

Nº	Variáveis	Componentes ou fatores					C*
		C1	C2	C3	C4	C5	
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	CUD?	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 – $\Sigma C$		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

A C2 passou a ser composta por: “Quais os cuidados após aplicação dos defensivos?”, “O que faz com as embalagens dos defensivos?” e “Após o desmatamento, o que faz com vegetação?”. Porém, apresentando uma menor associação com a variável relacionada com o desmatamento. Já a C3 é composta pelas variáveis: “Usa proteção nas aplicações dos defensivos?” e “Como é feito o armazenamento dos adubos?”.

Portanto, as componentes C2 e C3 expressam uma associação forte com riscos à saúde humana e à conservação do meio ambiente, sendo as variáveis: “Quais os cuidados após aplicação dos defensivos?” e “Usa proteção nas aplicações dos defensivos?” as mais significativas para as C2 e C3, respectivamente, com peso superior a 0,85.

A C4 é composta pela variável CUD (Coeficiente de Uniformidade de Distribuição), apresentando peso igual a 0,887, a qual expressa a eficiência de irrigação da água no Perímetro. A C5 apresenta uma interrelação com as variáveis: “Qual o destino do lixo domiciliar?” e “Qual o destino do esgoto sanitário?”, sendo a primeira variável mais significativa na componente com peso superior a 0,77. Essa componente apresenta um indicativo da preocupação dos irrigantes com a questão da educação ambiental.

#### Descrição das componentes e das variáveis representativas

Os fatores determinantes da sustentabilidade do PIBAU estão presentes na Tabela 5. Os valores elevados dos pesos fatoriais sugerem quais são as variáveis mais significativas em cada componente (Tabela 4). As variáveis agrupadas na primeira componente, com pesos > 0,53 são indicadoras do conhecimento e do uso de técnicas de produção agrícola.

Esse fator se encontra em consonância com o observado em campo (Tabela 2), onde foi identificado que 64% dos irrigantes entrevistados apresentam baixa escolaridade e que 77% dos mesmos não tinham experiências anteriores com a técnica da irrigação, o que dificulta a assimilação das práticas de produção da agricultura irrigada. Esses resultados reforçam o que foi observado por Souza (2003), ou seja, a importância do nível de escolaridade na maior ou menor tendência de adoção das técnicas agrícolas por parte dos produtores rurais. Porém, mesmo sem o conhecimento do uso das técnicas de produção da agricultura irrigada, os produtores mostraram-se preocupados com esse fato, indicando a necessidade de cursos práticos e da ação da extensão rural onde o agricultor aprenda fazendo.

As variáveis agrupadas pelas componentes 2 e 3 (Tabela 5) são indicadoras de um único fator, saúde e conservação do meio ambiente. Esse fator se encontra de acordo com o observado em campo (Tabela 2), onde foi

identificado que apenas 8% dos irrigantes entrevistados desmatam a área e deixam os restos vegetais em decomposição e 50% dos produtores só utilizam uma prática de conservação.

**Tabela 5** - Denominação do fator associado às variáveis explicativas

Ordem das componentes	Denominação do fator	Variáveis ou aspectos
1	Técnicas de produção agrícola	Quais as práticas de conservação usadas? Qual sua opinião sobre o projeto? Tem experiência com irrigação? Qual o grau instrução?
2	Saúde e conservação do meio ambiente	Quais os cuidados após aplicação dos defensivos? O que faz com as embalagens dos defensivos? Com o desmatamento, o que faz com a vegetação?
3	Saúde e conservação do meio ambiente	Usa proteção nas aplicações dos defensivos? Como é feito o armazenamento dos adubos?
4	Eficiência de irrigação	CUD?
5	Educação ambiental	Qual o destino do lixo domiciliar? Qual o destino do esgoto sanitário?

Ainda sobre este fator supracitado, observa-se que o mesmo está relacionado com o manejo dos agroquímicos (técnicas de aplicação) e demonstra algum conhecimento das normas de segurança do trabalho para o operário rural, uma vez que dos 91% de produtores que aplicam produtos químicos no controle de pragas, 65% usam EPI - Equipamentos de Proteção Individual (Tabela 2). Resultado diferente foi observado por Costa (2006), estudando o uso de agrotóxicos na agricultura irrigada na Bacia do Baixo Jaguaribe-CE, onde apenas 7% dos produtores usavam equipamentos de proteção individual. O uso irregular de produtos agroquímicos é uma forma de contaminação ambiental.

No terceiro fator (Tabela 5) a variável “CUD” é indicadora da eficiência de irrigação. Esse fator se encontra de acordo com o identificado no campo (Tabela 2), onde foi observado que 55% dos sistemas de irrigação avaliados apresentaram um baixo coeficiente de uniformidade de distribuição – CUD, indicando a necessidade de cursos práticos, a ação da extensão rural e palestras onde o agricultor aprenda como melhorar a uniformidade de distribuição dos sistemas de irrigação. Esses resultados diferem daqueles observados por Cardoso et al. (2006) que, avaliando os sistemas de irrigação localizada no Perímetro de Irrigação Tabuleiros Litorâneos do Piauí, verificaram que a uniformidade de distribuição da água foi considerada

satisfatório para a maior parte (90%) dos lotes avaliados, com valores de CUD superiores a 80%. O controle adequado da irrigação constitui fato preponderante para o êxito da atividade. Embora existam inúmeras tecnologias disponíveis para o manejo racional da irrigação a grande maioria dos produtores ainda irriga de forma empírica e inadequada. O baixo índice de adoção das tecnologias deve-se principalmente ao baixo nível de escolaridade (SOUZA, 2003) e ao fato dos agricultores acreditarem que as mesmas tem um valor econômico elevado, requerem conhecimentos técnicos especializados e sua adoção não proporciona ganhos econômicos compensadores.

No quarto fator (Tabela 5), as variáveis “Qual o destino do lixo domiciliar?” e “Qual o destino do esgoto sanitário?” são indicadoras da educação ambiental. Esse fator se encontra em consonância com o observado em campo (Tabela 2), onde foi identificado que 23% das casas dos irrigantes entrevistados não apresentam nenhum tipo de saneamento, sendo os dejetos lançados a céu aberto, e 18% do lixo domiciliar são depositados à céu aberto. Esses resultados são semelhantes àqueles observados por Lacerda e Oliveira (2007). Segundo o IPEA (2007), a população que tem acesso a serviços de saneamento básico é menos vulnerável a doenças associadas à provisão deficiente de saneamento, tais como infecções diarreicas e parasitárias, dengue e leptospirose, entre outras.

## Conclusões

1. A análise fatorial promoveu a redução das 27 variáveis iniciais para 12 variáveis e o agrupamento destas em quatro fatores determinantes da sustentabilidade sócio-ambiental do PIBAU, explicando 79,141% da variância total.
2. Os parâmetros indicadores da sustentabilidade do PIBAU estão, principalmente, relacionados à falta de conhecimento e do uso de técnicas corretas de produção agrícola. O segundo fator mostrou relacionado à saúde e conservação do meio ambiente.
3. Os produtores do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, Ceará, têm a necessidade de cursos práticos, palestras e da ação da extensão rural, onde o agricultor aprenda as técnicas de produção agrícola praticando.

## Referências

- ANDRADE, E. M. et al. Fatores determinantes da qualidade das águas superficiais na bacia do Alto Acaraú, Ceará, Brasil. **Ciência Rural**, v. 37, n. 06, p. 1791-1797, 2007.
- 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, p. 170-177, 2008.
- AQUINO, D. N. **Manejo da irrigação e a sustentabilidade dos recursos solo e água no Distrito de Irrigação do Baixo Acaraú - DIBAU, Ceará**. 2007. 120 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- ARAÚJO, Q. R. de.; MARROCOS, P. C. L.; SERÓDIO, M. H. de. **Conservação do Solo e da Água**. Disponível em: <<http://www.ceplac.gov.br/radar/conservacaosolo.htm>>. Acesso em: 23 de mai. 2007.
- CARDOSO, A. A. et al. Avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento na cultura da melancia no Distrito de Irrigação Tabuleiros Litorâneos do Piauí. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 16., 2006, Goiânia, **Anais...** Goiânia: [s.n.], 2006. 1 CD ROM.
- CARNEIRO NETO, J. A. **Indicadores de sustentabilidade ambiental para os perímetros irrigados Ayres de Sousa e Araras**. 2005. 119 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Irrigação e Drenagem), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- COSTA, C. A. G. **O uso de agrotóxicos na agricultura irrigada na Bacia do Baixo Jaguaribe-CE**. 2006. 76 f. Monografia (Graduação em Agronomia), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- DILLON, W. R.; GOLDSTEIN, M. **Multivariate analysis methods and applications**. New York: John Wiley and Sons, 1984. 587p.
- FONSECA, J. S.; MARTINS, G. A. **Curso de estatística**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 1996, 320p.
- GALLOPÍN, G. C. **Indicators and their Use: Information for Decision-Making**. In: MOLDAN, Bedrich; BILLHARZ, Suzanne (Ed.). **Sustainability Indicators: report of the Project on Indicators of Sustainable Development**. New York: John Wiley and Sons, 1997. p.13-27.
- 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. 593p.
- 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.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. **Moradia**. Disponível em: <[http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/radar\\_social.pdf](http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/radar_social.pdf)> Acesso em: 24 nov. 2007.
- 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.
- LOVELOCK, J. **Gaia: cura para um planeta Doente**. São Paulo: Cultrix, 2006. 192p.
- 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. 271p.
- 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 técnicoeconômico dos perímetros irrigados das Bacias do Curu e Baixo Acaraú**. Fortaleza: Embrapa agroindústria tropical, 2003. 28p.

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. 2, p. 174-177, 2002.

SOUZA, M. C. **Qualidade de vida e sustentabilidade dos produtores da agricultura familiar em assentamentos de**

**reforma agrária no município de Mossoró - RN**. 2003. 73 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró.

TOLEDO, L. de 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.

VILLIERS, de M. **Água**: Como o uso deste precioso recurso natural poderá acarretar a mais séria crise do século XXI. Rio de Janeiro: Ediouro, 2002. 457p.