

# Influência dos fatores ambientais sobre as relações hídricas de cajueiro anão precoce submetido a dois regimes de temperatura do solo<sup>1</sup>

## Influence of environmental factors on the water relations of dwarf cashew plants subjected to two soil temperature regimes

Paulo Klécio Botelho Oliveira<sup>1</sup>, Teógenes Senna de Oliveira<sup>2</sup>, Raimundo Pontes Nunes<sup>3</sup>, Claudivan Feitosa de Lacerda<sup>4</sup> e João Licínio Nunes de Pinho<sup>5</sup>

### RESUMO

Objetivou-se mensurar as influências dos fatores ambientais sobre as relações hídricas de mudas de cajueiro anão precoce submetidas a dois regimes de temperatura de solo. Plantas com noventa dias de idade foram cultivadas em colunas de solo, montadas em PVC e utilizando material de solo oriundo de um Argissolo Vermelho-Amarelo, com dois tratamentos simulados de temperatura. Para tanto, as colunas foram divididas em dois grupos, sendo que as do primeiro grupo foram isoladas com folhas de isopor e pintadas na cor alumínio (tratamento isolado) e as do outro foram mantidas não isoladas e pintadas na cor preta, visando maior absorção de luz (tratamento não isolado). Utilizou-se a análise de caminhamento para decompor os efeitos diretos e indiretos das correlações entre os fatores ambientais (temperatura do solo, temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação fotossinteticamente ativa) e as variáveis da planta (transpiração, condutância estomática, conteúdo relativo de água, potencial hídrico e o fluxo de CO<sub>2</sub>). A análise de caminhamento indicou que a temperatura do solo reduziu o conteúdo relativo de água e o potencial hídrico das plantas de cajueiro testadas, porém não afetou a transpiração (E), a condutância estomática (gs) e o Fluxo de CO<sub>2</sub> (F<sub>CO2</sub>).

**Termos para indexação:** Cajueiro anão precoce, temperatura do solo, relações hídricas.

### ABSTRACT

This study aimed to measure the effects of environmental factors on water relations of early dwarf cashew plants submitted to two different soil temperatures. Ninety days old plants were cultivated under different temperatures on plastic tubes filled with red-yellow soil. The tubes were divided into two groups. On the first group, the tubes were isolated with polystyrene foil and painted with aluminum-like color (isolated treatment). On the second group, the tubes were painted with black color, for best sunlight absorption (non isolated treatments). A path analysis was used to find the effects, direct and indirect, of environmental factors (soil and air temperature, relative humidity, and photosynthetic active radiation) on plant parameters (relative water content, water potential, transpiration, stomatal conductance, and CO<sub>2</sub> flow). The results suggested that soil temperature reduced relative water content and water potential of early dwarf plants, but did not affect transpiration, stomatal conductance or CO<sub>2</sub> flow.

**Index term:** Early-dwarf cashew, soil temperature, plant water relation.

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 11/04/2003. Aprovado em 10/05/2004.

Parte de dissertação apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal do Ceará (UFC), para obtenção do grau de Mestre em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas.

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, MSc., Dep. de Ciências do Solo, UFC. Campus do PICI, Bloco 807, CEP 60455-760, Fortaleza-CE.

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, D.Sc., Prof. Adj. do Dep. de Ciências do Solo, UFC. Campus do PICI, Bloco 807, CEP 60455-760, Fortaleza-CE. E-mail: teo@ufc.br. Bolsista do CNPq.

<sup>4</sup> Eng. Agrônomo, Ph.D., Prof. Titular do Dep. de Fitotecnia, UFC.

<sup>5</sup> Eng. Agrônomo, D.Sc., Prof. Adj. do Dep. de Eng. Agrícola, UFC. E-mail: cfeitosa@ufc.br.

<sup>6</sup> Eng. Agrônomo, Ph.D., Prof. Adj. do Dep. de Fitotecnia, UFC. E-mail: licinio@ufc.br.

## Introdução

O cajueiro, por ser uma planta de clima tropical, exige para seu desenvolvimento regime de altas temperaturas, sendo a média de 27°C a mais apropriada para o cultivo. No entanto, suportam temperaturas médias mais elevadas (33° a 35°C), sendo porém sensível a períodos prolongados sob temperatura abaixo de 22°C, uma vez que as plantas jovens são prejudicadas pelo frio. Apesar das plantas adultas suportarem melhor as temperaturas baixas, a produção é afetada quando estas ocorrem no período de floração à frutificação (Barros et al., 1993).

A redução do potencial hídrico foliar em resposta à redução da disponibilidade de água no solo é um dos principais fatores que promovem o fechamento estomático, reduzindo a captação de CO<sub>2</sub> e a capacidade produtiva das plantas (Calbo et al., 1997). No entanto, mesmo sob condições de adequada disponibilidade hídrica, a captação de carbono pode ser afetada, visto que o comportamento estomático é influenciado por outros fatores, como temperatura, umidade relativa do ar, radiação fotossinteticamente ativa e a própria concentração interna de CO<sub>2</sub> (Naves-Barbiero et al., 2000; Da Matta et al., 2001). O efeito da água é o mais determinante, uma vez que condições de déficit provocam o fechamento dos estômatos independentemente das condições de luz, CO<sub>2</sub> ou temperatura (Taiz & Zeiger, 2002).

O crescimento das plantas é afetado pela temperatura do solo, como demonstrado em plantas jovens de carambola (George et al., 2002b) e de cajueiro (Oliveira et al., 2003). As variações de temperatura também afetam a atividade microbológica, a solubilidade de compostos, os coeficientes de difusão, a permeabilidade das raízes, a nutrição mineral, a atividade metabólica e processos fisiológicos como a fotossíntese e transpiração (Higuchi et al., 1999; He e Lee, 2001; George et al., 2002a e b). De maneira geral, as atividades biológicas no solo aumentam com a elevação da temperatura, até um máximo em torno de 30°C (Reichardt, 1975).

Experimentos em condições controladas com plantas de zonas temperadas e subtropicais têm evidenciado que baixas ou altas temperaturas na zona radicular reduzem o crescimento e causam estresse hídrico nas plantas, reduzindo o potencial hídrico de folhas e a taxa de assimilação de carbono (George et al., 2002a; Higuchi et al., 1999), efeitos similares aos observados em plantas sob estresse hídrico (Ismail et al., 1994). A falta dessas informações para as condi-

ções tropicais, pode limitar o desenvolvimento de práticas que visem reduzir os efeitos negativos da flutuação da temperatura na zona radicular sobre o desenvolvimento e a produtividade vegetal. Dessa forma, informações sobre o crescimento (Oliveira et al., 2003) e sobre respostas de fisiológicas de plantas jovens de cajueiro submetidos a diferentes regimes de temperatura, poderiam se tornar ferramentas úteis no desenvolvimento de práticas de manejo dessa cultura durante o estabelecimento de novas áreas de cultivo.

Dentro deste contexto, propõe-se mensurar as influências dos fatores ambientais sobre as relações hídricas de mudas de cajueiro anão precoce submetidas a dois regimes de temperatura de solo, para avaliar a hipótese de que as alterações de temperatura simuladas do solo alteram as relações hídricas impostas pelo ambiente.

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido no período de junho a novembro de 1999, utilizando material de solo de um Argissolo Vermelho-Amarelo. Os atributos físicos e químicos do solo foram publicados por Oliveira et al. (2003). Para esse estudo, montaram-se colunas de solo, utilizando tubos de PVC com diâmetro de 150 mm, formadas por quatro anéis de 20 cm de altura, justapostos e preenchidos com solo submetido a dois tratamentos de simulação de variação de temperatura do solo. Para a simulação da temperatura, utilizaram-se colunas de solo, isoladas com folhas de isopor e pintadas na cor alumínio (tratamento isolado = TI) e colunas apenas pintadas na cor preta, para maior absorção de luz (tratamento não isolado = TNI). Mudanças de cajueiro anão precoce, clone CCP 76, produzidas no campo experimental da EMBRAPA Agroindústria Tropical, localizado em Pacajús (CE). Estas mudas, na ocasião do seu plantio, apresentavam 90 dias de idade, sendo o solo das colunas irrigado diariamente, mantendo-se a umidade próxima da capacidade de campo.

A coleta de dados iniciou-se dois meses após o transplante para as colunas, sendo realizada em duas épocas distintas. A primeira foi realizada na segunda semana do mês de junho e, a segunda, no mês de novembro, também na segunda semana. Nestes períodos as temperaturas médias do ambiente foram de 27,8°C e 26,4°C, respectivamente. Em cada uma das coletas, foram feitas determinações em três dias consecutivos, a cada duas horas, iniciando às 7:00 e con-

cluindo às 17:00. As determinações de transpiração (E), condutância estomática (gs), umidade relativa do ar (UR), radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e temperatura do ambiente próximo do limbo foliar (TA), foram medidas em folhas maduras, utilizando-se um porômetro (LI - 1600 Steady State Porometer, Li - Cor., Inc. Lincoln, Nebraska, USA). A temperatura do solo foi medida com o auxílio de geotermômetros, instalados em cada coluna a 20 cm de profundidade. As temperaturas médias do solo, medida entre 11:00 e 13:00 horas, foram respectivamente 34,2 e 39,6°C para os tratamentos isolado e não isolado.

O potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) foi medido em folhas inteiramente desenvolvidas, utilizando-se uma bomba de pressão tipo Scholander (Soil Moisture Equipment Corp., Santa Bárbara, Califórnia, USA). Em folhas semelhantes mediu-se o conteúdo relativo de água (CRA), de acordo com a metodologia descrita por Slavik (1974).

O delineamento experimental adotado foi o fatorial hierárquico com dois tratamentos de isolamento térmico, três plantas, duas épocas, três dias e seis horas. As comparações dos resultados foram realizadas através de análise de caminamento, ou trilha, e por análise de regressão.

As principais definições, regras e convenções para a construção, leitura e interpretação de diagramas de caminamentos são resumidas a seguir, conforme Li (1975), citado por Nunes (1993):

- (1) É necessária a definição à "priori" de uma relação de causas e efeitos, de acordo com o qual se procederá a análise e a atribuição de uma direção ao sistema causal;
- (2) Uma seta direta indica um caminamento (passo) entre uma variável e outra;
- (3) Um caminamento tem, não somente uma direção, mas também um valor quantitativo que mede a sua importância;
- (4) O valor quantitativo atribuído ao caminamento entre X e Y, representado por  $P_{yx}$  é o coeficiente de caminamento entre X e Y;
- (5) Coeficientes de caminamento são coeficientes de regressão parciais estandarizados, isto é, coeficientes parciais de regressão estimados após a estandarização das variáveis:

$$X = \frac{(x - \bar{x})}{S_x} \quad \text{e} \quad Y = \frac{(y - \bar{y})}{S_y}$$

- (6) A conexão entre duas variáveis é feita pelo coeficiente de caminamento. Ao traçar a co-

nexão entre duas variáveis a seta é sempre o passo conector entre a variável apontada e a variável no extremo oposto;

- (7) A ausência de conexão direta entre duas variáveis não significa que elas não são relacionadas. Regras são necessárias para a leitura de um diagrama de caminamento:
  - o caminamento é para frente se segue a direção da seta e é para trás se segue em direção oposta. Na leitura de um diagrama, o movimento para frente e depois para trás não é permitido. Esta é uma regra fundamental e universal para leitura de diagramas. A obediência a esta regra e a ausência de conexão direta entre duas variáveis asseguram a inexistência de correlação entre duas variáveis;
- (8) Uma seta dupla e curva indica que  $X_1$  e  $X_2$  são correlacionadas. A seta indica também a natureza simétrica do coeficiente de correlação;
- (9) Na leitura de diagrama, a seta dupla e reta indica também que o caminamento pode ser feito em qualquer direção: de  $X_1$  para  $X_2$ ;
- (10) A correlação entre  $X_1$  e  $X_2$  é representada por  $r(X_1, X_2) = r_{12}$ . A notação é extensiva para quaisquer números de variáveis independentes. Assim  $r_{13} = r(X_1, X_3)$ , ou seja,  $r_{13}$  é a correlação entre  $X_1$  e  $X_3$ ;  $r_{35} = r(X_3, X_5)$ , etc. A correlação entre variáveis independentes  $X_i$  e a variável dependente  $Y$  é usualmente representada por  $r(0, 1) = r_{01}, r_{02} \dots$  etc. Em benefício da consistência da notação o coeficiente de caminamento  $P_{yx}$  pode ser representado também por  $P_{0i}$  onde  $i = 1, 2, \dots, n$ .
- (11)  $U$  é um valor residual que não se correlaciona com  $Y$ . Portanto  $U$  não contribui com  $X_1$  e  $X_2$  para a determinação de  $Y$ .

## Resultados e Discussão

A importância relativa dos fatores ambientais e seus efeitos diretos e indiretos sobre aspectos fisiológicos do cajueiro foram avaliados através da análise do complexo de relações definidos com o auxílio da análise de caminamento, seguindo procedimentos detalhados por Nunes (1993). O sistema de causas e efeitos envolve o conteúdo relativo de água (CRA), a taxa de transpiração, o potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) e a condutância estomática consideradas como variáveis dependentes

e a temperatura do ambiente (TA), umidade relativa do ar (UR), radiação fotossinteticamente ativa (RFA), e temperatura do solo (TS), consideradas como independentes.

A análise de variância de regressão múltipla e a matriz de correlação entre os fatores considerados no estudo, realizado para a variável conteúdo relativo de água (CRA) é apresentada no Tabela 1. A equação de regressão múltipla (1) apresentou coeficiente de determinação  $R^2=0,504$ , ou seja, explica 50,4% da variação do CRA.

$$\hat{Y}_8 = 110422 - 0,441X_1 + 0,104X_2 + 0,006X_3 - 0,437X_4 \quad (1)$$

$\hat{Y}_8$  = estimativa do conteúdo relativo de água (%)

$X_1$  = temperatura ambiente (°C)

$X_2$  = umidade relativa do ar (%)

$X_3$  = radiação fotossinteticamente ativa ( $\text{mmol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ )

$X_4$  = temperatura do solo (°C)

**Tabela 1** - Matriz de correlação e análise de variância da regressão entre os fatores ambientais temperatura ambiente (TA), umidade relativa do ar (UR), radiação fotossinteticamente ativa (RFA), temperatura do solo (TS), e conteúdo relativo de água (CRA), das plantas de cajueiro

Matriz de correlação					
VAR/VAR	TA	UR	RFA	TS	CRA
TA	1,000				
UR	-0,501	1,000			
RFA	0,428	-0,143	1,000		
TS	0,709	-0,580	0,131	1,000	
CRA	-0,437	0,503	0,168	-0,627	1,00

Análise de variância da regressão					
FV	GL	SQ	QM	F	SIG
Regressão	4	2342,758	585,690	53,64	0,000
Resíduo	211	2303,799	10,918		
Total	215	4646,558			

A decomposição em efeitos diretos e indiretos das correlações entre os fatores ambientais e o CRA é apresentada no Tabela 2, devendo ser analisado conjuntamente com a Figura 1, considerando as seguintes informações:

- (1) o efeito direto da temperatura ambiente (TA) sobre o conteúdo relativo de água (CRA) foi negativo ( $P_{81}=-0,165$ ), semelhante ao ocor-

rido por via indireta através da umidade relativa do ar (UR) (-0,111) e da temperatura do solo (TS) (-0,301) que por sua vez, foi o que contribuiu de forma mais representativa para a variação do CRA (68,88%). O efeito indireto via radiação (RFA) foi positivo (0,140).

- (2) o efeito direto da umidade relativa do ar (UR) ( $P_{82}=0,221$ ) e os seus efeitos indiretos via temperatura ambiente (TA) (0,083) e temperatura do solo (TS) (0,246) sobre o conteúdo relativo de água (CRA) foram positivos enquanto que, a radiação (RFA) contribuiu indiretamente de forma negativa (-0,047).
- (3) praticamente toda a variação provocada pela radiação (RFA) deu-se de forma direta e positiva ( $P_{83}=0,326$ ). As contribuições indiretas da temperatura ambiente (TA) (-0,071), temperatura do solo (TS) (-0,056) e da umidade relativa do ar (UR) (-0,032) foram negativas e reduzidas.
- (4) a influência direta negativa da temperatura do solo (TS) sobre a variação do conteúdo relativo de água (CRA) ( $P_{84}=-0,424$ ) foi de 67,62%. As participações indiretas da temperatura ambiente (TA) (-0,117) e da umidade relativa do ar (UR) (-0,043) foram negativas e a radiação (RFA) positiva (0,043). Esses resultados sugerem que o aumento da temperatura do solo pode afetar o estado hídrico das plantas, de forma semelhante a observada em plantas submetidas à deficiência hídrica (George et al., 2002a).

Para o estudo do potencial hídrico ( $\Psi_w$ ), o coeficiente de múltipla determinação é  $R^2=0,450$ , significando, que a equação (2) explica 45% das variações no  $\Psi_w$ . A análise de variância da regressão e a matriz de correlação dos fatores observados encontram-se no Tabela 3.

$$\hat{Y}_9 = 1,328 + 0,15X_1 - 0,042X_2 - 0,002X_3 + 0,062X_4 \quad (2)$$

$\hat{Y}_9$  = estimativa do potencial hídrico (MPa)

$X_1$  = temperatura ambiente (°C)

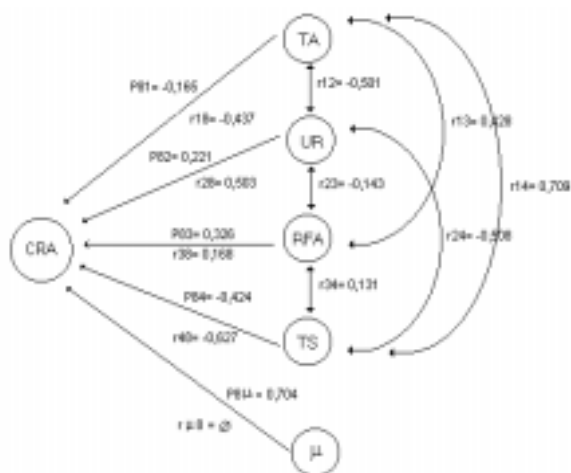
$X_2$  = umidade relativa do ar (%)

$X_3$  = radiação fotossinteticamente ativa ( $\text{mmol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ )

$X_4$  = temperatura do solo (°C)

**Tabela 2** - Decomposição em efeitos diretos e indiretos dos coeficientes de correlação simples (r) entre os aspectos ambientais: temperatura ambiente (TA), umidade relativa do ar (UR), radiação fotossinteticamente ativa (RFA), temperatura do solo (TS) e o conteúdo relativo de água (CRA) das plantas e sua importância relativa.

Causa e efeito	Correlação		
	Parcial	Total	Parcial/Total (%)
<b>1. TA x CRA</b>			
Efeito direto	$P_{81} = -0,165$	$r_{18} = -0,437$	37,76
Via UR ( $r_{12}$ ) ( $P_{82}$ )	-0,111		25,40
Via RFA ( $r_{13}$ ) ( $P_{83}$ )	0,140		-32,04
Via TS ( $r_{14}$ ) ( $P_{84}$ )	-0,301		68,88
<b>Total</b>	<b>-0,437</b>		<b>100,00</b>
<b>2. UR x CRA</b>			
Efeito direto	$P_{82} = 0,221$	$r_{28} = 0,503$	43,94
Via TA ( $r_{12}$ ) ( $P_{82}$ )	0,083		16,50
Via RFA ( $r_{23}$ ) ( $P_{83}$ )	-0,047		-9,34
Via TS ( $r_{24}$ ) ( $P_{84}$ )	0,246		48,90
<b>Total</b>	<b>0,503</b>		<b>100,00</b>
<b>3. RFA x CRA</b>			
Efeito direto	$P_{83} = 0,326$	$r_{38} = 0,168$	194,05
Via TA ( $r_{13}$ ) ( $P_{81}$ )	-0,071		-42,06
Via UR ( $r_{23}$ ) ( $P_{82}$ )	-0,032		-19,05
Via TS ( $r_{34}$ ) ( $P_{83}$ )	-0,056		-32,94
<b>Total</b>	<b>0,168</b>		<b>100,00</b>
<b>4. TS x CRA</b>			
Efeito direto	$P_{84} = -0,424$	$r_{48} = -0,627$	67,62
Via TA ( $r_{14}$ ) ( $P_{81}$ )	-0,117		18,66
Via UR ( $r_{24}$ ) ( $P_{82}$ )	-0,128		20,42
Via RFA ( $r_{34}$ ) ( $P_{83}$ )	0,043		-6,70
<b>Total</b>	<b>-0,627</b>		<b>100,00</b>



**Figura 1** - Representação do sistema de causas e efeitos envolvidos no conteúdo relativo de água (CRA) das plantas de cajueiro: temperatura ambiente (TA), em °C, umidade relativa do ar (UR), em %, radiação fotossinteticamente ativa (RFA), em  $\text{mmol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ , temperatura do solo (TS), em °C, e CRA, em %.  $P_{ij}$  e  $r_{ij}$  representam os coeficientes de caminamento e de correlação simples, respectivamente e  $u$  = valor residual representativo das contribuições de variáveis não incluídas no sistema.

**Tabela 3** - Matriz de correlação e análise de variância da regressão entre os fatores ambientais temperatura ambiente (TA), umidade relativa do ar (UR), radiação fotossinteticamente ativa (RFA), temperatura do solo (TS), e potencial hídrico ( $\Psi_s$ ), das plantas de cajueiro

Matriz de correlação					
VAR/VAR	TA	UR	RFA	TS	CRA
TA	1,000				
UR	-0,501	1,000			
RFA	0,428	-0,143	1,000		
TS	0,709	-0,580	0,131	1,000	
CRA	-0,437	0,503	0,168	-0,627	1,00

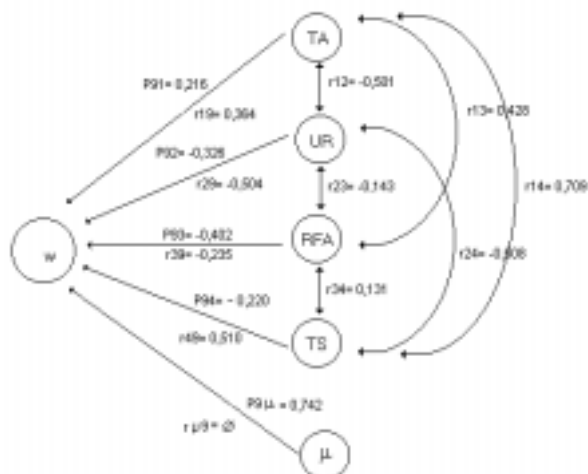
Análise de variância da regressão					
FV	GL	SQ	QM	F	SIG
Regressão	4	2342,758	585,690	53,64	0,000
Resíduo	211	2303,799	10,918		
Total	215	4646,558			

Os efeitos diretos e indiretos das correlações entre os fatores ambientais e o  $\Psi_w$  estão decompostos no Tabela 4 que deve ser analisado em associação com a Figura 2. As informações mais importantes são:

- (1) o efeito direto positivo da temperatura ambiente (TA) sobre a variação do potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) ( $P_{91}=0,216$ ) correspondeu a 59,34%. A umidade relativa do ar (UR) e a temperatura do solo (TS) foram contribuições indiretas positivas (0,163 e 0,156) enquanto que a radiação (RFA) teve efeito indireto negativo (-0,172).
- (2) o efeito da umidade relativa do ar (UR) sobre as variações no  $y_w$  foi negativo ( $P_{92}=-0,326$ ) semelhante, ao ocorrido por via indireta através da temperatura do ambiente (TA) (-0,108) e temperatura do solo (TS) (-0,128). O efeito causado por via indireta através da radiação (RFA) foi positivo (0,057).
- (3) a radiação (RFA) apresentou um efeito direto negativo sobre a variação do  $y_w$  ( $P_{93}=-0,402$ ) de 171,06%. As participações indiretas dos fatores temperatura ambiente (TA) (0,092), temperatura do solo (TS) (0,029) e umidade relativa do ar (UR) (0,047) foram positivas, porém seus efeitos mostraram-se reduzidos.
- (4) o efeito direto negativo da temperatura do solo (TS) ( $P_{94}=0,220$ ) corresponde a 43,14%. Os efeitos indiretos, via temperatura ambiente (TA) e umidade relativa do ar (UR) foram negativos (-0,153 e -0,189) enquanto que via radiação (RFA) foi positivo (0,053).

**Tabela 4** - Decomposição em efeitos diretos e indiretos dos coeficientes de correlação simples (r) entre os aspectos ambientais: temperatura ambiente (TA), umidade relativa do ar (UR), radiação fotossinteticamente ativa (RFA), temperatura do solo (TS) e o potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) das plantas e sua importância relativa.

Causa e efeito	Correlação		
	Parcial	Total	Parcial/Total (%)
<b>1. TA x <math>\Psi_w</math></b>			
		$r_{19} = 0,364$	
Efeito direto	$P_{91} = 0,216$		59,34
Via UR ( $r_{12}$ ) ( $P_{92}$ )	0,163		44,78
Via RFA ( $r_{13}$ ) ( $P_{93}$ )	-0,172		-47,25
Via TS ( $r_{14}$ ) ( $P_{94}$ )	0,156		42,93
Total	0,364		100,00
<b>2. UR x <math>\Psi_w</math></b>			
		$r_{29} = -0,504$	
Efeito direto	$P_{92} = -0,326$		64,68
Via TA ( $r_{12}$ ) ( $P_{92}$ )	-0,108		21,43
Via RFA ( $r_{23}$ ) ( $P_{93}$ )	0,057		-11,31
Via TS ( $r_{24}$ ) ( $P_{94}$ )	-0,128		25,15
Total	-0,504		100,00
<b>3. RFA x <math>\Psi_w</math></b>			
		$r_{39} = -0,235$	
Efeito direto	$P_{93} = -0,402$		171,06
Via TA ( $r_{13}$ ) ( $P_{91}$ )	0,092		-39,05
Via UR ( $r_{23}$ ) ( $P_{92}$ )	0,047		-20,00
Via TS ( $r_{34}$ ) ( $P_{93}$ )	0,029		-12,01
Total	-0,235		100,00
<b>4. TS x <math>\Psi_w</math></b>			
		$r_{49} = 0,510$	
Efeito direto	$P_{94} = -0,220$		-43,14
Via TA ( $r_{14}$ ) ( $P_{91}$ )	-0,153		-30,00
Via UR ( $r_{24}$ ) ( $P_{92}$ )	-0,189		-37,00
Via RFA ( $r_{34}$ ) ( $P_{93}$ )	0,053		10,26
Total	0,510		100,00



**Figura 2** - Representação do sistema de causas e efeitos envolvidos no potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) das plantas de cajueiro: temperatura ambiente (TA), em °C, umidade relativa do ar (UR), em %, radiação fotossinteticamente ativa (RFA), em  $\text{mmol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ , temperatura do solo (TS), em °C, e potencial hídrico ( $\Psi_\mu$ ), em MPa.  $P_{ij}$  e  $r_{ij}$  representam os coeficientes de caminamento e de correlação simples, respectivamente e  $u$  = valor residual representativo das contribuições de variáveis não incluídas no sistema.

Os resultados obtidos para o CRA e  $\Psi_w$  confirmam as observações identificadas na literatura quanto às alterações em função da temperatura do solo repercutindo em diversas variáveis tanto fisiológicas quanto de desenvolvimento de diferentes espécies, entre as quais o cajueiro (Higuchi et al., 1999; Oliveira et al., 2003; George et al, 2002 a e b). Contudo, os resultados obtidos para a transpiração (E), condutância estomática (gs) e o Fluxo de  $\text{CO}_2$  ( $F_{\text{CO}_2}$ ) não são apresentados, pois foram encontrados coeficientes de determinação muito baixos, tomando evidente que os aspectos ambientais envolvidos no sistema de causas e efeitos foram insuficientes para explicar a sua variação. Provavelmente as alterações da temperatura do solo induzidas pelo tratamento de simulação não tenham conduzido a variações significativas a ponto de serem percebidas pela metodologia adotada, o que leva a necessidade em condições mais drásticas de variação de temperatura. Contudo corre-se o risco de se estar avaliando aspectos de difícil ocorrência na prática.

## Conclusão

A análise de caminamento indicou que a temperatura do solo reduziu o conteúdo relativo de água e o potencial hídrico das plantas de caju-

eiro testadas, porém não afetou a transpiração (E), a condutância estomática (gs) e o fluxo de  $\text{CO}_2$  ( $F_{\text{CO}_2}$ ).

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Centro Nacional de Pesquisa de Agroindústria Tropical da EMBRAPA pela colaboração na realização deste trabalho.

## Referências Bibliográficas

- BARROS, L. M.; PIMENTEL, C. R. M.; CORREA, M. P. F.; MESQUITA, A. L. M. **Recomendações técnicas para a cultura do cajueiro-anão-precoce**. Fortaleza: EMPRAPA-CNPAT, 1993. 65p. (Circular Técnica, 01)
- CALBO, M. E. R.; MORAES, J. A. P. V. Fotossíntese, condutância estomática, transpiração e ajustamento osmótico de plantas de buriti submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.9, n.2, p.117-123, 1997.
- DA MATTA, F. M.; LOOS, R. A.; RODRIGUES, R.; BAROS, R. S. Actual and potential photosynthetic rates of tropical crop species. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, p.24-32, 2001.
- GEORGE, H. L.; DAVIES, F. S.; CRANE, J. H.; SCHAFFER, B. Root temperature effects on 'Arkin' carambola (*Averrhoa carambola* L.) trees: I. Leaf gas exchange and water relations. **Scientia Horticulturae**, v.96, p.53-65, 2002a.
- GEORGE, H. L.; DAVIES, F. S.; CRANE, J. H.; SCHAFFER, B. Root temperature effects on 'Arkin' carambola (*Averrhoa carambola* L.) Trees. II. Growth and mineral nutrition. **Scientia Horticulturae**, v.96, p.67-79, 2002b.
- HE, J.; LEE, S. K. Relationship among photosynthesis, ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase (Rubisco) and water relations of the subtropical vegetable Chinese broccoli grown in the tropics by manipulation of root-zone temperature. **Environmental and Experimental Botany**, v.46, p.119-128, 2001.

- HIGUCHI, H.; SAKURATANI, T.; UTSUNOMIYA, N. Photosynthesis, leaf morphology and shoot growth as affected by temperatures in cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) trees. **Scientia Horticulturae**, v.80, p.91-104, 1999.
- ISMAIL, M. R.; BURRAGE, S. W.; TARMIZI, H., AZIZ, M. A. Growth, plant water relations, photosynthesis rate and accumulation of proline in young carambola plants in relation to water stress. **Scientia Horticulturae**, v.60, p.101-114, 1994.
- NAVES-BARBIERO, C. C.; FRANCO, A. C.; BUCCI, S. J.; GOLDSTEIN, G. Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies lenhosas sempre-verde no campo sujo e cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.12, n.2, p.119-134, 2000.
- NUNES, F. C. F. P. **Relações entre irregularidades pluviométricas, desenvolvimento fenológico e produtividade do milho (*Zea mays* L.) e probabilidades de frustração de safra**. 1993. 212 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- OLIVEIRA, P. K. B.; OLIVEIRA, T. S.; CAMELO, A. M.; ROMERO, R. E. Crescimento de plantas de cajueiro anão precoce influenciado pela compactação e temperatura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.11-18, 2003.
- REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 3.ed. Piracicaba, CENA-USP-CNEN; Fundação Cargill, 1975. 286p.
- SLAVIK, B. **Methods of studying plant water relations**. Prague, Academy of Science, 1974. 449p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 3<sup>rd</sup> ed. California: Sinauer Associates, Inc., 2002, 690p.