

# RELAÇÃO ENTRE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA DE CHUVAS EM MOCOCA, SP<sup>1</sup>

DIRCEU BRASIL VIEIRA<sup>2</sup>, FRANCISCO LOMBARDI NETO<sup>3</sup> e RONALDO P. DOS SANTOS<sup>4</sup>

**RESUMO** - O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise estatística das chuvas ocorridas em Mococa, Estado de São Paulo, de 1970 a 1990, incluindo a relação entre intensidade, duração e frequência. Os dados analisados foram registrados com pluviógrafo instalado na estação experimental do Instituto Agrônomo, em Mococa. Foram estudados os seguintes intervalos de duração: 5, 10, 15, 25, 30, 45, 60, 90 e 120 minutos. Para o estudo da frequência de distribuição das chuvas intensas nos tempos de recorrência de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, utilizou-se o método de Chow-Gumbel. Aplicou-se também o método dos mínimos quadrados para obter equação da mesma relação. Os resultados finais mostraram boa correlação entre os dois métodos, assim como os valores de intensidade máxima de chuva obtidos em cada duração, resultando nos coeficientes de regressão linear 0,9990 e 0,9920, respectivamente. Os resultados mostraram que a equação pode ser utilizada nos casos em que as intensidades máximas de chuva são necessárias.

**Termos de indexação:** precipitação pluvial, intensidade de chuva, tempo de recorrência, drenagem de águas pluviais.

## RELATION AMONG INTENSITY, DURATION AND FREQUENCY OF RAINFALL IN MOCOCA, STATE OF SÃO PAULO, BRAZIL

**ABSTRACT** - The objective of this work was to perform a statistical analysis of rainfall data gathered in Mococa, State of São Paulo, from 1970 to 1990, including the relationship between intensity, duration and frequency. The studied data were registered with a rain gauge located at the Experimental Station of the Instituto Agrônomo, in Mococa, São Paulo State, Brazil. The relationship were studied for the following duration intervals: 5, 10, 15, 25, 30, 45, 60, 90, and 120 minutes. The Chow-Gumbel method was applied for the study of frequency distribution of intense precipitation for recurrence times of 5, 10, 25, 50, and 100 years. Also, the method of minimum squares was applied to obtain an equation for the same relationship. Final results showed good correlation between both methods, as well as with the maximum rainfall values obtained for each duration, resulting in linear regression coefficients of 0.9990 and 0.9920, respectively. Results indicated that the equation can be utilized for cases where values of maximum rainfall intensities are needed.

**Index terms:** rainfall, rainfall intensity, recurrence time, rainwater drainage.

## INTRODUÇÃO

As chuvas intensas são responsáveis pela erosão dos solos e pela concentração de águas pluviais em

vales e zonas ribeirinhas. Assim, o conhecimento das relações entre intensidade, duração e frequência dessas chuvas é de enorme importância para o projeto de obras de controle de erosão e de estruturas hidráulicas de fluxo para águas pluviais, como galerias, bueiros, extravasores de barragens, vãos de pontes, etc. Eltz et al. (1992) afirmam que a análise de frequência é uma técnica estatística importante no estudo das chuvas, em razão da grande variabilidade temporal e espacial das precipitações pluviais, as quais não podem ser previstas em bases puramente determinísticas.

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 23 de julho de 1998.

<sup>2</sup> Eng. Agr., Prof. Titular, DRH-FEC-UNICAMP, Caixa Postal 6021, CEP 13083-970 Campinas, SP. E-mail: dbv@fec.unicamp.br

<sup>3</sup> Eng. Agr., SCS/IAC, Caixa Postal 28, CEP 13001-970 Campinas, SP.

<sup>4</sup> Aluno do curso de Engenharia Civil, FEC-UNICAMP.

A região de Mococa, no Estado de São Paulo, caracteriza-se por intensa atividade agrícola, sendo freqüente a construção de barragens de terra, bem como obras hidráulicas de captação e condução de águas fluviais no perímetro urbano e na zona rural. No dimensionamento dessas obras há necessidade de considerar a análise da freqüência e da duração das chuvas de grande intensidade, para que os riscos normalmente assumidos nesse tipo de dimensionamento sejam minimizados.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar os dados referentes a um período de 21 anos, coletados e registrados no pluviômetro localizado na Estação Experimental de Mococa, a fim de obter uma equação de intensidade-duração-freqüência que permitisse ao projetista prever eventos intensos em diferentes períodos de recorrência.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de intensidade de chuva foram calculados mediante a leitura dos pluviogramas registrados no pluviômetro da Seção de Conservação do Solo (SCS) do

Instituto Agrônomo, instalado na Estação Experimental de Mococa. Os pluviogramas analisados referem-se ao período de 1970 a 1990. A Estação Experimental de Mococa localiza-se nas coordenadas geográficas de 21°28'S e 47°1'W. A precipitação média anual é de 1.584 mm, e a temperatura média anual é de 21,8° C. O tipo climático é Aw, de acordo com a classificação de Köppen, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno.

Todos os pluviogramas diários registrados de 1970 a 1990 foram lidos e analisados, sendo calculadas as maiores chuvas de cada ano nas durações de: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60, 90 e 120 minutos, (Tabela 1). Com esses valores foram calculadas as intensidades pluviais correspondentes, listadas na Tabela 2, onde constam também valores de intensidade média e do desvio padrão da série histórica.

A análise de freqüência desses dados foi feita pelo método de Chow-Gumbel, descrito por Garcez (1967). A distribuição tipo I de Fisher-Tippet, também conhecida por distribuição de Gumbel, é dada por:

$$P = 1 - e^{-e^{-y}} \quad (1)$$

onde:

TABELA 1. Intensidade pluvial máxima em Mococa, SP, de 1970 a 1990, em mm, com diferentes durações de chuva.

Ano	Duração (minutos)									
	5	10	15	20	25	30	45	60	90	120
1970	9,0	13,6	18,8	22,8	28,0	31,4	35,8	39,2	42,0	42,6
1971	10,3	15,0	25,0	27,9	33,1	38,1	40,9	42,4	43,1	44,0
1972	10,7	17,7	22,9	26,3	31,6	32,7	40,9	45,0	48,7	53,0
1973	12,4	19,6	21,7	24,0	24,8	25,4	26,4	29,0	42,7	43,0
1974	13,0	25,6	31,9	36,1	43,4	53,0	63,5	69,3	70,9	71,0
1975	14,4	21,2	29,9	33,3	36,8	43,1	44,3	44,5	44,6	44,6
1976	12,9	18,0	22,9	28,0	30,0	32,0	36,8	37,0	41,0	41,2
1977	12,0	20,0	23,3	26,8	29,8	33,2	42,4	47,0	71,9	75,8
1978	8,2	12,2	17,7	21,7	24,8	26,7	29,6	30,3	31,7	33,3
1979	10,4	15,5	20,8	23,2	25,9	30,1	35,8	37,8	39,8	43,3
1980	13,6	22,6	32,6	35,6	37,0	37,5	38,0	39,0	48,4	53,4
1981	10,9	20,9	23,4	23,5	23,8	23,8	24,2	26,7	30,2	33,2
1982	10,3	13,2	15,6	19,9	19,9	23,3	28,0	36,6	39,8	49,0
1983	7,3	12,5	17,0	19,5	23,0	24,1	31,3	31,8	42,0	47,8
1984	6,5	9,7	13,4	19,5	23,0	25,5	33,2	44,1	47,1	51,0
1985	9,0	14,2	19,4	25,1	29,3	32,4	34,3	34,9	36,0	36,0
1986	9,2	16,2	24,0	29,0	35,0	38,9	42,7	43,5	44,7	46,6
1987	13,1	17,1	25,1	33,8	36,7	42,8	44,0	44,0	44,0	52,6
1988	10,2	16,3	21,5	24,4	27,4	26,8	33,9	36,3	43,0	46,0
1989	9,3	16,6	21,7	26,0	29,5	32,5	42,0	43,3	44,8	45,1
1990	10,3	19,5	28,0	32,8	32,8	33,0	36,8	38,6	41,4	49,1

P = probabilidade de um valor extremo da série ser maior ou igual a X;

e = base dos logaritmos neperianos; e

y = variável reduzida.

$$y = (X - X_f) (\sigma_n / \sigma_x) \tag{2}$$

onde:

X = valor individual da série de valores extremos;

X<sub>f</sub> = moda dos valores extremos.

$$X_f = \bar{X} - \sigma_x (\bar{y}_n / \sigma_n) \tag{3}$$

onde:

$\bar{X}$  = média da variável X;

$\sigma_x$  = desvio padrão da variável X;

$\bar{y}_n$  e  $\sigma_n$  = média e desvio padrão da variável reduzida.

A frequência (F) de um elemento da série ser igualado ou ultrapassado é calculada pela fórmula:

$$F = m/(n+1) \tag{4}$$

onde:

m = número de ordem do valor extremo considerado;

n = número de elementos extremos da série.

Em hidrologia é mais comum o emprego do termo tempo de recorrência (T<sub>r</sub>) do que frequência, o qual pode ser expresso por:

$$T_r = 1/F. \tag{5}$$

A substituição de F por P na equação (5) permite proceder estimativas para períodos maiores, portanto:

$$T_r = 1/P. \tag{6}$$

Sendo a probabilidade P, obtida pela equação (1), Chow (1953) apresentou uma simplificação ao método de Gumbel, que é traduzida pela equação:

$$X_{T_r} = \bar{X} + K \times \sigma_x \tag{7}$$

onde:

X<sub>T<sub>r</sub></sub> = valor procurado da variável em estudo para o (T<sub>r</sub>) desejado;

$\bar{X}$  = média aritmética das variáveis da série;

K = fator de frequência, função do T<sub>r</sub> e do número de valores da série.

**TABELA 2. Intensidade pluvial máxima anuais de chuva em Mococa, SP, em mm/h, com diferentes durações.**

Ano	Duração (minutos)									
	5	10	15	20	25	30	45	60	90	120
1970	108,0	81,6	75,2	68,4	67,2	62,8	47,7	39,2	28,0	21,3
1971	123,6	90,0	100,0	83,7	79,4	68,2	54,5	42,4	28,7	22,0
1972	128,4	106,2	91,6	78,9	75,8	66,2	54,5	46,0	32,6	26,5
1973	148,8	117,6	86,8	72,0	59,5	50,8	35,2	29,0	28,5	21,5
1974	158,0	153,8	127,6	108,3	104,2	106,0	81,7	69,3	47,3	35,5
1975	172,8	127,2	119,6	99,2	88,2	86,2	59,1	44,5	29,7	22,1
1976	154,8	108,0	91,6	84,0	72,0	64,0	49,1	37,0	27,3	20,6
1977	144,0	120,0	93,2	80,4	71,5	66,4	56,5	47,0	47,9	37,9
1978	98,4	73,2	70,8	65,1	59,5	63,4	39,5	30,3	21,1	16,7
1979	124,8	93,0	83,2	69,6	62,2	60,2	47,7	37,8	26,5	21,7
1980	163,2	135,6	130,4	106,8	88,8	75,0	50,7	39,0	32,3	26,7
1981	130,8	125,4	93,6	70,5	57,1	47,6	32,3	26,7	20,1	16,6
1982	123,6	79,2	62,4	59,7	47,8	46,6	37,3	36,6	26,5	24,5
1983	87,6	75,0	68,0	58,5	55,2	48,2	41,7	31,8	28,0	23,9
1984	78,0	58,2	53,6	58,5	55,2	51,0	44,3	44,1	31,4	25,5
1985	108,0	85,2	77,6	75,3	70,3	64,8	45,7	34,9	24,0	18,0
1986	110,4	97,2	96,0	87,0	84,0	77,8	56,9	43,5	28,8	23,3
1987	157,2	102,6	100,4	101,4	88,1	85,6	68,7	44,0	29,3	26,3
1988	122,4	97,8	86,0	73,2	65,8	57,6	46,2	38,6	28,7	23,0
1989	111,6	99,6	88,6	78,0	70,8	65,0	56,0	43,3	29,9	22,6
1990	123,6	117,0	112,0	98,4	78,7	66,0	49,1	38,6	27,6	24,6
$\bar{X}$	127,4	102,1	90,8	79,9	71,5	65,5	49,8	40,1	29,8	23,8
$\sigma_x$	24,7	22,7	19,8	15,1	13,7	14,6	10,9	8,5	6,5	5,0

Esse fator foi tabulado por Reid com base na equação de Gumbel, sendo encontrado nos compêndios de hidrologia. No presente trabalho, como a série contém 21 anos de dados, utilizaram-se os valores de K de 0,912; 1,613; 2,504; 3,160 e 3,810, correspondentes a  $T_r$  de 5; 10; 25; 50 e 100 anos, respectivamente.

Com esses valores do coeficiente K, e com os dados de intensidade de chuva média e desvio padrão da Tabela 2, foram calculadas as máximas intensidades de chuva prováveis dos tempos de recorrência e durações estudadas. Tais valores, bem como a intensidade máxima observada entre 1970 e 1990, estão na Tabela 3.

Segundo alguns autores (Occhipint & Santos, 1965; Garcez, 1967; Vieira et al., 1994), as relações intensidade-duração podem ser expressas com fórmulas do tipo:

$$I = C/(t+b)^n \quad (8)$$

onde:

I = intensidade pluviométrica máxima para duração t, mm/h;

t = intervalo de duração da chuva, minutos;

C, b, e n = parâmetros locais.

Para correlacionar com o  $T_r$ , normalmente faz-se:

$$C = K \times T_r^m \quad (9)$$

Lançando-se na ordenada de um papel di-log as intensidades pluviométricas calculadas pelo método Chow-Gumbel, apresentadas na Tabela 3, e no eixo da abscissa as durações correspondentes, obteve-se o gráfico da Fig. 1. Pela

**TABELA 3. Intensidade pluviométrica máxima em Mococa, SP, em mm/h, calculada pelo método de Chow-Gumbel e observada no período de 1970 a 1990.**

Duração (minutos)	Tempo de recorrência (anos)					Max. obs. (mm/h)
	5	10	25	50	100	
5	149,9	167,2	189,2	205,4	221,5	172,8
10	122,8	138,7	158,9	173,8	188,6	153,6
15	108,7	122,4	139,8	152,7	165,5	130,4
20	93,7	104,3	117,7	127,6	123,7	108,3
25	84,0	93,6	105,8	114,8	123,7	104,2
30	78,8	89,0	102,0	111,6	121,1	106,0
45	59,7	67,4	77,1	84,2	91,3	81,7
60	47,8	53,8	61,4	66,9	72,5	69,3
90	35,7	40,3	46,1	50,3	54,6	47,9
120	28,4	31,9	36,3	39,6	42,9	37,9

sua análise, verifica-se que as curvas obtidas em cada  $T_r$  tem concavidade para baixo. Por anamorfose, isto é, substituindo t por t + b, onde b é uma constante convenientemente escolhida, consegue-se transformar as curvas intensidade-duração em retas. Nesse caso, o valor de b obtido foi 20. Dessa forma, as curvas intensidade-duração foram transformadas em retas, cuja equação geral é do tipo:

$$\log I = \log C - n \times \log (t + b) \quad (10)$$

sendo:

n = parâmetro angular;

C = parâmetro linear.

A determinação desses parâmetros foi feita pelo método dos mínimos quadrados com o auxílio das equações:

$$\sum \log I = 10 \log C - \log (t + b) \quad (11)$$

$$\sum \log I \times \log (t + b) = \log C \times \sum \log (t + b) - n \times \log^2 (t + b) \quad (12)$$

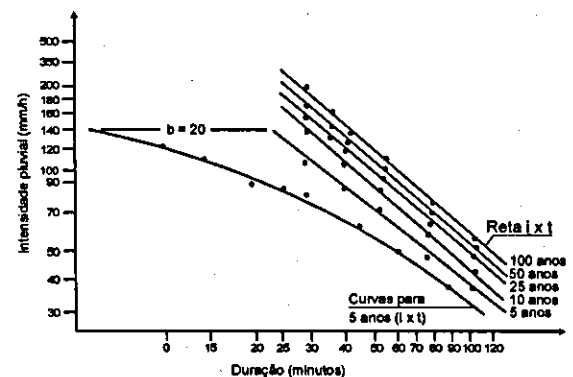
Como a série de dados é de 21 anos, aplicou-se o método nos tempos de recorrência de 5, 10 e 25 anos, obtendo-se os valores da Tabela 4. Reaplicando-se o método dos mínimos quadrados aos dados da Tabela 4, e com base na equação (9), tem-se:

$$\sum \log C = 3 \times \log K + m \times \log T_r \quad (13)$$

$$\sum \log C = 3 \times \log K + m \times \log^2 T_r \quad (14)$$

Assim, obteve-se:

$$m = 0,1366 \text{ e } K = 2667.$$



**FIG. 1. Transformação das curvas "i x t" em retas por anamorfose utilizando "t + 20".**

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Utilizando-se os valores de m e K em (9) e o valor de C em (8), obtém-se a equação intensidade-duração-frequência ou equação da chuva crítica para Mococa, SP:

$$I = 2667 \times T_r^{0,1366} / (t + 20)^{0,96} \quad (15)$$

onde:

I = intensidade pluvial máxima provável para duração t, mm/h;

t = duração da chuva, em minutos;

T<sub>r</sub> = tempo de recorrência, em anos.

Com o auxílio da equação (15) calcularam-se valores de intensidade máxima de chuva nas durações e tempos de recorrência estudados neste trabalho (Tabela 5). Tais valores foram comparados com os obtidos pelo método Chow-Gumbel, listados na Tabela 3, procedendo-se a análise de regressão linear, por meio do programa computacional para ajuste de dados desenvolvido por Zullo Junior & Arruda (1986). Na Tabela 3 são apresentados os valores de intensidade pluvial calculados pelo método de Chow-Gumbel, bem como aqueles registrados nos pluviogramas do período de 1970-1990, que comparados com os calculados com a equação de chuva crítica de Mococa, SP, para período de recorrência de 20 anos, verifica-se que são próximos. Entre os valores obtidos pela equação de Mococa, apresentados na tabela 5, e os constantes da Tabela 3 aplicou-se o método da análise de regressão linear de acordo com Zullo Junior & Arruda (1986). Obteve-se o coeficiente de regressão médio de 0,9920 e 0,9990 (Tabela 6), indicando que não ocorreu diferença significativa entre os valores, o que mostra que a equação obtida representa adequadamente as relações intensidade-duração e frequência de chuvas intensas para Mococa, no estado de São Paulo.

**TABELA 4.** Valores dos parâmetros C e n.

Parâmetros	Tempo de recorrência (anos)		
	5	10	25
C	3315,09	3669,54	4133,35
n	0,9637	0,9600	0,9572

**TABELA 5.** Intensidade de chuva em mm/h calculadas com a equação 15.

Duração (minutos)	Tempo de recorrência (anos)				
	5	10	25	50	100
5	151,2	166,2	188,3	207,1	227,6
10	126,9	139,5	158,1	173,8	191,1
15	109,4	120,3	136,4	149,9	164,8
20	96,3	105,8	120,0	131,9	145,0
25	86,0	94,5	107,1	117,8	129,5
30	77,7	85,4	96,8	106,4	117,0
45	60,4	66,4	75,3	82,7	91,0
60	49,5	54,4	61,7	67,8	74,5
90	36,5	40,1	45,4	49,9	54,9
120	28,9	31,8	36,0	39,6	43,5

**TABELA 6.** Dados da análise de regressão linear.

T <sub>r</sub>	r	F	Significância
15 anos	0,99990	7585,44	n.s.
10 anos	0,99990	6372,39	n.s.
25 anos	0,99990	4193,37	n.s.
50 anos	0,99990	3145,65	n.s.
100 anos	0,99980	2551,57	n.s.

**CONCLUSÃO**

A equação obtida permite o cálculo da intensidade máxima de chuvas com diferentes durações e períodos de recorrência, com a aproximação adequada a projetos de engenharia.

**AGRADECIMENTOS**

À Seção de Conservação do Solo do Instituto Agrônomo, pela cessão dos pluviogramas, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro ao projeto.

colas, o agricultor de forma intuitiva considera-o em suas tomadas de decisões (Moutinho et al., 1978).

Dessa maneira, torna-se necessária a incorporação da análise de risco à avaliação econômica, nos estudos sobre sistemas de produção. Assim, além das informações sobre a rentabilidade de determinada tecnologia, o agricultor poderá saber o risco que estará correndo na sua adoção (Porto et al., 1982).

Vários modelos de incorporação de risco em tomadas de decisões podem ser usados em experimentação agrícola (Cruz, 1984), entre eles o da média da variância de Feldstein (1969), que considera apenas os dois primeiros momentos da distribuição dos retornos ou da renda. Na escolha da alternativa sob condições de risco, Anderson (1976) sugere o critério da segurança em primeiro lugar. No relato de Cruz (1984) ainda é destacado o modelo da dominância estocástica de Hanoch & Levy (1970), que leva em conta toda a distribuição cumulativa de probabilidade dos retornos, em vez de, simplesmente, a média e a variância.

Quanto a utilização da análise de risco através da dominância estocástica em tomada de decisão na agricultura existem relativamente poucos estudos (Anderson, 1974; Porto et al., 1982). Com experimentos de longa duração pode ser citado o trabalho de Ambrosi & Fontaneli (1994), no Brasil, em que foram aplicados vários métodos de análises de risco em sistema de produção de grãos com pastagens anuais de inverno.

A comparação da análise de risco com a análise da receita líquida poderá facilitar a recomendação de uma tecnologia. O presente trabalho teve por objetivo avaliar o risco de quatro sistemas de rotação de culturas com cevada, em plantio direto.

## MATERIAL E MÉTODOS

No experimento de rotação de culturas com cevada, desenvolvido no município de Guarapuava, PR, de 1984 a 1993, em Latossolo Bruno álico (Embrapa, 1984), foram estimadas as análises da média da variância e de risco da receita líquida. As referidas análises foram determinadas, de acordo com o esquema descrito por Santos et al. (1994), em quatro sistemas de rotação de culturas com cevada: sistema I (100% de cevada/100% de soja); sistema II (50% de cevada/50% de soja, 50% de

ervilhaca/50% de milho, de 1984 a 1989, e 50% de cevada/50% de soja e 50% de aveia branca/50% de soja, de 1990 a 1993); sistema III (33% de cevada/33% de soja, 33% de linho/33% de soja e 33% de ervilhaca/33% de milho, de 1984 a 1989, e 33% de cevada/33% de soja, 33% de ervilhaca/33% de milho e 33% de aveia branca/33% de soja, de 1990 a 1993); e sistema IV (25% de cevada/25% de soja, 25% de linho/25% de soja/25% de ervilhaca/25% de milho e 25% de aveia branca/25% de soja) (Tabela 1). De 1990 a 1993, nos sistemas II e III, as sucessões ervilhaca/milho e linho/soja foram substituídas por aveia branca/soja.

As culturas foram estabelecidas em sistema plantio direto, exceto em 1989, quando foi aplicado calcário antes de as culturas de inverno serem semeadas. A semeadura, o controle de plantas daninhas e os tratamentos fitossanitários, inclusive os tratamentos de sementes de cevada, foram realizados de acordo com a recomendação para cada cultura, e a colheita foi efetuada com automotriz especial de parcelas.

A análise econômica (receita líquida) seguiu o trabalho de Zentner et al. (1990). Entende-se por receita líquida a diferença entre a receita bruta (rendimento de grãos das espécies em estudo x preço de venda como produto comercial) e os custos totais (custos variáveis (custos dos insumos + custos das operações de campos) e custos fixos (exemplo: depreciação de máquinas e equipamentos e juros sobre o capital)). Os custos com insumos, com operações de campo e com venda de produtos foram levantados em outubro de 1994. No caso de ervilhaca, foi considerada como rendimento a contribuição ao solo de 90 kg/ha de N (Derpsch & Calegari, 1992).

O delineamento usado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. A área útil da parcela foi de 10 m de comprimento por 6 m de largura. Foi efetuada a análise da variância (da média variância) da receita líquida da média conjunta dos anos. As médias foram comparadas entre si pela aplicação do teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

Paralelamente, foi aplicado na receita líquida o programa denominado "Biorisco", ou "Pacta", que é baseado no critério de simetria de Hanoch & Levy (1970). Esse programa compara as receitas líquidas dos sistemas de rotação de culturas com cevada, do ponto de vista de rentabilidade e risco (distribuição de probabilidade acumulada e dominância estocástica), conforme descrito por Cruz (1980).

A análise da distribuição da probabilidade acumulada da distribuição possibilita a escolha da alternativa com base numa determinada probabilidade de garantir uma renda líquida em um dado nível de escolha do tomador de decisão. Esse princípio baseia-se no critério da "segurança

em primeiro lugar", ou seja: qual a possibilidade de um dos sistemas apresentar uma renda líquida X? O valor seria escolhido pelo tomador de decisão.

Os dados dessa análise são gerados a partir da distribuição completa de probabilidade acumulada da distribuição normal dentro de cada sistema (método Monte Carlo). O próprio programa divide essa distribuição em 20 intervalos de 5% de probabilidade cada (twentiles). As receitas líquidas das alternativas sob comparação foram analisadas duas a duas (pairwise), sendo a dominância em condição de risco (dominância estocástica) avaliada pelo método Hanoch & Levy (1970).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os rendimentos de grãos de cada espécie obtidos nos anos de estudos, nos diferentes sistemas de rotação, podem ser verificados na Tabela 2.

Na média conjunta da receita líquida dos dez anos (Tabela 3), os sistemas II (R\$ 355,00) e III (R\$ 305,50) mostraram valores mais elevados em relação a receita líquida, sendo este último significativamente similar aos sistemas I (R\$ 266,07) e IV (R\$ 283,50). Por outro lado, o sistema II apresentou menor variância (R\$ 111,61) que o sistema III (R\$ 116,72). Os resultados foram semelhantes aos de Ambrosi & Fontaneli (1994) e de Fontaneli et al. (1994), estudando sistemas denominados mistos, que

integram lavoura e pecuária, para a região de Passo Fundo, de 1990 a 1992.

Essa técnica não possibilita, às vezes, a escolha da melhor tomada de decisão. Para superar tal dificuldade da análise da média variância (Feldstein, 1969), pode ser utilizado o critério de segurança em primeiro lugar (Anderson, 1976). Esse tipo de análise possibilita a escolha da alternativa com base em determinada probabilidade acumulada de garantir uma receita líquida em determinado nível de escolha ao tomador de decisão.

A análise da distribuição de probabilidade da receita líquida (Tabela 4) possibilitou ao sistema II, em baixa probabilidade de risco (5%), obter maior renda (R\$ 181,00) do que os sistemas I (R\$ 0,00), III (R\$ 124,00) e IV (R\$ 131,00). Em alta probabilidade de risco (100%), o sistema I permitiu obter a maior renda líquida (R\$ 723,00), em relação aos sistemas II (R\$ 652,00), III (R\$ 616,00) e IV (R\$ 544,00). No estudo de Ambrosi & Fontaneli (1994) com sistemas mistos também foi impossível separar o mesmo sistema no baixo ou no alto nível de probabilidade de risco.

Supondo-se que um agricultor "A" não queira correr risco superior a 5% de ter receita líquida negativa, esse agricultor jamais deverá escolher o sistema I (Tabela 4). Por outro lado, um agricultor "B",

**TABELA 1.** Sistemas de rotação de culturas de inverno e de verão com cevada em plantio direto, de 1984 a 1993, em Guarapuava, PR.<sup>1</sup>

Sistema de rotação	Ano									
	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Sistema I	C/S	C/S	C/S	C/S	C/S	C/S	C/S	C/S	C/S	C/S
Sistema II	C/S E/M	E/M C/S	C/S E/M	E/M C/S	C/S E/M	E/M C/S	C/S A/S	A/S C/S	C/S A/S	A/S C/S
Sistema III	C/S L/S E/M	L/S E/M C/S	E/M C/S L/S	C/S L/S E/M	L/S E/M C/S	E/M C/S L/S	C/S E/M A/S	E/M A/S C/S	A/S C/S E/M	C/S E/M A/S
Sistema IV	C/S L/S A/S E/M	L/S A/S E/M C/S	A/S E/M C/S L/S	E/M C/S L/S A/S	C/S L/S A/S E/M	L/S A/S E/M C/S	E/M A/S C/S L/S	A/S C/S L/S A/S	C/S L/S E/M A/S	L/S E/M A/S C/S

<sup>1</sup> A: aveia branca; C: cevada; E: ervilhaca; L: linho; M: milho; S: soja.

TABELA 2. Rendimento de grãos (kg/ha) das espécies que compõem os quatro sistemas de rotação de culturas com cevada de 1984 a 1993, Guarapuava, PR<sup>1</sup>.

	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993									
Sistema I																			
C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S								
2.290	3.054	2.636	2.952	2.199	2.201	3.039	1.898	1.480	2.775	**	3.032	1.641	3.886	2.639	3.275	4.994	2.949	2.691	3.235
Sistema II																			
C	S	E	M	C	S	E	M	C	S	A	S	C	S	A	S	A	S	A	S
2.479	3.037	*	6.898	2.709	2.388	*	5.340	1.870	2.951	*	7.932	1.728	4.137	3.074	3.183	5.794	3.238	4.266	3.512
E	M	C	S	E	M	C	S	A	S	C	S	A	S	C	S	A	S	C	S
*	7.564	2.945	2.960	*	7.873	3.108	2.064	*	6.927	**	3.157	3.360	4.000	2.188	3.207	4.200	2.972	2.696	3.255
Sistema III																			
C	S	L	S	E	M	C	S	L	S	E	M	C	S	E	M	A	S	C	S
2.434	3.069	925	2.480	*	8.654	2.978	2.006	1.371	2.460	*	8.734	1.933	4.193	*	9.214	4.249	2.999	2.630	3.370
L	S	E	M	C	S	L	S	E	M	C	S	E	M	A	S	C	S	E	M
1.071	3.043	*	6.450	2.021	2.442	1.339	1.867	*	7.669	**	3.203	*	6.491	2.841	3.158	5.806	3.033	*	7.737
E	M	C	S	L	S	E	M	C	S	L	S	A	S	C	S	E	M	A	S
*	7.607	3.094	3.043	641	2.479	*	5.115	1.850	2.973	**	2.490	2.705	4.150	3.783	3.328	*	6.621	4.141	3.320
Sistema IV																			
C	S	L	S	A	S	E	M	C	S	L	S	E	M	A	S	C	S	L	S
2.480	3.145	1.001	2.764	1.326	2.451	*	5.884	1.808	3.111	**	2.642	*	6.987	2.981	3.229	6.063	3.058	452	2.962
L	S	A	S	E	M	C	S	L	S	A	S	A	S	C	S	L	S	E	M
1.197	3.194	2.605	3.020	*	8.981	3.392	2.085	1.501	2.590	**	3.186	2.708	4.150	3.881	3.121	1.625	2.812	*	9.846
A	S	E	M	C	S	L	S	A	S	E	M	C	S	L	S	E	M	A	S
2.296	2.875	*	5.697	2.416	2.257	1.371	1.705	1.406	2.618	*	8.294	2.162	3.910	1.100	2.975	*	7.025	4.000	3.222
E	M	C	S	L	S	A	S	E	M	C	S	L	S	E	M	A	S	C	S
*	7.553	2.894	2.977	487	2.553	3.463	1.681	*	6.505	**	3.018	***	3.641	*	7.981	4.015	3.018	2.720	3.338

A: aveia branca; C: cevada; E: ervilhaca; L: linho; M: milho; S: soja.

\* Cultura para cobertura do solo, no inverno, e para adubação verde, no verão.

\*\* Os rendimentos das culturas de inverno foram perdidos em função de precipitação de granizo.

\*\*\* O linho produziu relativamente pouco, daí terem sido desprezados seus dados de rendimento de grãos.



**TABELA 3. Receita líquida anual, média de 1984 a 1993, por hectare, em sistemas de rotação de culturas com cevada. Guarapuava, PR<sup>1</sup>.**

Sistema de rotação <sup>2</sup>	Receita líquida (R\$/ha)	Desvio padrão
Sistema I	266,07b	171,81
Sistema II	355,00a	111,61
Sistema III	305,50ab	116,72
Sistema IV	283,50b	97,69

<sup>1</sup> Médias seguidas da mesma letra, na vertical, não apresentam diferenças significativas, a 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

<sup>2</sup> I: cevada/soja; II: cevada/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja; III: cevada/soja, ervilhaca/milho e linho/soja ou aveia branca/soja; IV: cevada/soja, linho/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja.

**TABELA 4. Distribuição de probabilidade acumulada da receita líquida (twentiles/ha) em sistemas de rotação de culturas com cevada, 1984 a 1993, Guarapuava, PR.**

Probabilidade (%)	Sistema de rotação <sup>1</sup>			
	I	II	III	IV
	----- (R\$/ha) -----			
0	0,00	60,00	0,00	25,00
5	0,00	181,00	124,00	131,00
10	77,00	232,00	177,00	175,00
15	114,00	256,00	202,00	197,00
20	138,00	272,00	219,00	211,00
25	182,00	300,00	248,00	235,00
30	212,00	320,00	269,00	253,00
35	227,00	330,00	279,00	261,00
40	255,00	342,00	292,00	272,00
45	273,00	359,00	310,00	287,00
50	291,00	371,00	323,00	298,00
55	305,00	380,00	332,00	306,00
60	329,00	396,00	348,00	319,00
65	357,00	414,00	368,00	335,00
70	383,00	431,00	385,00	350,00
75	408,00	447,00	402,00	364,00
80	424,00	457,00	413,00	373,00
85	459,00	480,00	437,00	393,00
90	501,00	508,00	465,00	417,00
95	558,00	545,00	504,00	450,00
100	723,00	652,00	616,00	544,00

<sup>1</sup> I: cevada/soja; II: cevada/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja; III: cevada/soja, ervilhaca/milho e linho/soja ou aveia branca/soja; IV: cevada/soja, linho/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja.

que pretenda obter a maior renda líquida possível, escolheria o sistema I. Um agricultor "C" que jogasse 50% de suas possibilidades de atingir a máxima receita líquida escolheria o sistema II para obter uma receita líquida menor ou igual a R\$ 371,00 por hectare. Por esse método, a escolha da alternativa depende única e exclusivamente do nível de risco escolhido pelo tomador de decisão.

No resultado da análise através da dominância estocástica, o sistema II domina os demais sistemas estudados (Tabela 5). O método da dominância estocástica (Hanoch & Levy, 1970) separou o sistema II como a melhor alternativa. Por sua vez, o sistema III domina os sistemas I e IV; e o sistema IV domina o sistema I. Ambrosi & Fontaneli (1994), trabalhando com sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, envolvendo trigo, durante três anos, sob sistema plantio direto, conseguiram separar pela dominância estocástica o sistema III [33% de trigo/33% de soja e 66% de pastagem consorciada (aveia branca + ervilhaca)/33% de milho + 33% de soja] como o mais rentável e o de menor risco.

Verifica-se que o sistema II mostra-se, experimentalmente, como a alternativa de menor risco. De acordo com Moutinho et al. (1978), o risco tende a atuar como impedimento por parte dos agricultores à adoção de novas práticas agrícolas. Ademais, os

**TABELA 5. Dominância estocástica da receita líquida dos sistemas de rotação de culturas para cevada, de 1984 a 1993, Guarapuava, PR<sup>1</sup>.**

Sistema de rotação	Sistema de rotação <sup>2</sup>			
	I	II	III	IV
Sistema I	-	0	0	0
Sistema II	1	-	1	1
Sistema III	1	0	-	1
Sistema IV	1	0	0	-

<sup>1</sup> A leitura deve ser feita no sentido horizontal, sendo que 0 (zero) significa que a tecnologia da linha é dominada pela da coluna e 1 (um) significa que a tecnologia da linha domina a da coluna.

<sup>2</sup> I: cevada/soja; II: cevada/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja; III: cevada/soja, ervilhaca/milho e linho/soja ou aveia branca/soja; IV: cevada/soja, linho/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja.

sistemas alternativos (II, III e IV) foram escolhidos como os de menor risco, em comparação ao sistema I (monocultura cevada/soja), para a região de Guarapuava, PR.

Pelo método da dominância estocástica, foi possível separar o sistema II (50% de cevada/50% de soja e 50% de ervilhaca/50% de milho, de 1984 a 1989, ou 50% de cevada/50% de soja e 50% de aveia branca/50% de soja, de 1990 a 1993) como o mais lucrativo e o de menor risco. Os sistemas III e IV, apesar de mais diversificados, foram inferiores ao sistema II, talvez devido ao linho que nos primeiros cinco anos deste experimento apresentou rendimento de grãos relativamente baixo. No sistema IV o mesmo foi verificado também nos demais anos. Esse fato, por sua vez, deve ter influenciado os resultados obtidos nas análises efetuadas.

A rotação de culturas é eficiente, principalmente no controle das doenças de cereais nas regiões de clima adverso às espécies vegetais. Santos et al. (1995), comparando os sistemas de rotação de culturas com cevada, sob sistema plantio direto, mostraram o controle das doenças do sistema radicular de cevada através dessa prática agrícola. A rotação de culturas viabiliza o sistema plantio direto, em relação ao controle das doenças e a produção de palha para proteção do solo. Nos sistemas de rotação de culturas estudados está incluído o sistema II.

A rotação de culturas permite melhor rentabilidade da propriedade agrícola. O milho foi a espécie que apresentou maior rendimento de grãos (Tabela 2) neste período de estudo. Como consequência, foi a que ofereceu maior retorno econômico. Como a leguminosa de inverno (ervilhaca) teve o menor desempenho econômico, na seqüência, houve compensação pela cultura de milho, no verão. De 1984 a 1989, o sistema II foi o mais equilibrado, pois continha rotação tanto para as culturas de inverno como para as de verão. Isso foi fundamental para o sistema II ser o mais rentável e o de menor risco.

Neste período, ficaram demonstrados, em parte, os efeitos positivos da rotação de culturas na utilização da espécie (leguminosa) como cobertura de solo e como adubação verde, em comparação com a monocultura de trigo. Além disso, não foi utilizada adubação nitrogenada de cobertura, em milho.

## CONCLUSÕES

1. O sistema II é a melhor alternativa de produção, por ser o mais rentável e o de menor risco.
2. O sistema I é o menos rentável e o de maior risco.
3. Em termos de rentabilidade e de risco, os sistemas podem ser classificados na seguinte ordem decrescente: sistema II, sistema III, sistema IV e sistema I.

## REFERÊNCIAS

- AMBROSI, I.; FONTANELI, R.S. Análise de risco de quatro sistemas alternativos de produção de integração lavoura/pecuária. *Teoria e Evidência Econômica*, Passo Fundo, v.2, n.1, p.129-148, 1994.
- ANDERSON, J.R. *Modeling decision-making under risk*. México: CIMMYT, 1976.
- ANDERSON, J.R. Sparse data: estimational reliability and risk-efficient discussions. *American Journal of Agricultural Economics*, Ames, v.56, n.3, p.564-572, 1974.
- CRUZ, E.M. da. Aspectos teóricos sobre incorporação de risco em modelos de decisão. In: CRUZ, E.M. da (Ed.). *Risco em modelos de decisão na agricultura*. Brasília: Embrapa-DEP, 1984. p.13-33.
- CRUZ, F.R. da. *PACTA - Programa de avaliação comparativa de tecnologias alternativas: guia do usuário*. Brasília: Embrapa-DDM, 1980. 7p.
- DERPSCH, R.; CALEGARI, A. *Plantas para adubação verde de inverno*. Londrina: IAPAR, 1992. 80p. (IAPAR. Circular, 73).
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo (Rio de Janeiro, RJ). *Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná*. Curitiba: Embrapa-SNLCS/SUDESUL/IAPAR, 1984. v.1, 414p. (Embrapa-SNLCS. Boletim de Pesquisa, 27. IAPAR, Boletim Técnico, 16).
- FELDSTEIN, M.S. Mean variance analysis in the theory of liquidity preference and portfolio selection. *Review of Economic Studies*, Oxford, v.36, n.1, p.5-14, 1969.
- FONTANELI, R.S.; AMBROSI, I.; DIKESCH, J.A. Análise econômica de sistemas de rotação de culturas

- para trigo com pastagens anuais de inverno, em plantio direto. In: REUNIÃO CENTRO-SUL DE ADUBAÇÃO VERDE E ROTAÇÃO DE CULTURAS, 4., 1993, Passo Fundo. *Anais...* Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1994. p.106-110. (Embrapa-CNPT. Documentos, 14).
- HANOCH, G.; LEVY, H. Efficient portfolio selection with quadratic and cubic utility. *Journal of Business*, Chicago, v.43, n.2, p.181-189, 1970.
- KOCHHANN, R.A.; SELLES, F. O solo e o sistema de manejo conservacionista. In: FERNANDES, J.M.; FERNANDEZ, M.R.; KOCHHANN, R.A.; SELLES, F.; ZENTNER, R.P. *Manual de manejo conservacionista do solo para os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná*. Passo Fundo: CIDA/Embrapa-CNPT, 1991. p.9-20. (Embrapa-CNPT. Documentos, 1).
- MOUTINHO, D.A.; SANDERS JUNIOR, J.H.; WEBER, M.T. Tomada de decisão sob condições de risco em relação à nova tecnologia para a produção de feijão de corda. *Revista de Economia Rural*, Brasília, v.16, n.4, p.41-58, 1978.
- PORTO, V.H. da F.; CRUZ, E.R. da; INFELD, J.A. Metodologia para incorporação de risco em modelos de decisão usados na análise comparativa entre alter-nativas: o caso da cultura do arroz irrigado. *Revista de Economia Rural*, Brasília, v.20, n.2, p.193-211, 1982.
- SANTOS, H.P. dos; LHAMBY, J.C.B.; SANDINI, I. Efeitos de sucessões de culturas em plantio direto sobre a soja cultivada em sistemas de rotação de culturas, durante dez anos, em Guarapuava, PR. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (Passo Fundo, RS). *Soja: resultados de pesquisa 1993/1994*. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1994. p.113-118. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 17).
- SANTOS, H.P. dos; REIS, E.M.; LHAMBY, J.C.B.; SANDINI, I. Características agronômicas e controle de doenças radiculares da cevada, em sistema plantio direto em rotação com outras culturas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.30, n.11, p.1297-1303, nov. 1995.
- ZENTNER, R.P.; SELLES, F.; SANTOS, H.P. dos; AMBROSI, I. Effect of crop rotations on yields, soil characteristics, and economic returns in Southern Brazil. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS, 1990, Passo Fundo. *Conservation tillage for subtropical areas: proceedings*. Passo Fundo: CIDA/Embrapa-CNPT, 1990. p.96-116.