

ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE TRÊS SUB-BACIAS DO RIO CARAPÁ (CANINDEYÚ, PARAGUAI) EM FUNÇÃO DAS MUDANÇAS DA COBERTURA VEGETAL

César Daniel Riveros Reys¹, Nivaldo Eduardo Rizzi², Hideo Araki³

¹Eng. Agrônomo, M.Sc., Facultad de Ciencias Agrarias, UNA, Asunción, Paraguai - cesarriveros_1972@yahoo.com.br

²Eng. Florestal, Dr., Depto. de Engenharia e Tecnologia Florestal, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - niva@ufpr.br

³Eng. Cartógrafo, Dr., Depto. de Geomática, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - araki@ufpr.br

Recebido para publicação: 25/02/2010 – Aceito para publicação: 07/12/2010

Resumo

O objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento hidrológico em três sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Carapá, localizadas no Departamento de Canindeyú, Paraguai, em 1985, 1999 e 2007, através de análise multitemporal do uso do solo e análise da resposta hidrológica pelo método de Curva Número com ênfase no parâmetro de coeficiente de escoamento superficial (CE). A metodologia de estudo foi dividida em duas etapas: classificação dos usos do solo e análise das mudanças da vegetação nativa e análise das classes geradas com adição de tipologias de solos para gerar os parâmetros hidrológicos nas três condições de umidade antecedente: normal (NII), seco (NI) e próximo da saturação (NIII). Os resultados indicaram diminuição da cobertura florestal nas três sub-bacias. Das três, o coeficiente de escoamento superficial nas três situações de umidade antecedente da sub-bacia 49, em 1985 e 1999, foi a mais alta (NI = 6,42; NII = 30,88; NIII = 57,86) e a que indica maior possibilidade de degradação. No período de 2007, o coeficiente de escoamento superficial nas três situações de umidade antecedente da sub-bacia 01 foi a mais alta (NI = 17,03; NII = 45,18; NIII = 69,32), indicando maior possibilidade de degradação nessa sub-bacia por conta da ação da erosão hídrica.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica; análise multitemporal; curva número; escoamento superficial.

Abstract

Analysis of hydrologic characteristics of three sub-basins of Carapa River basin (Canindeyú, Paraguay) in relation to changes of plant cover. The objective of this study was to analyze the hydrological behavior in three sub-basins of the river basin, Carapa, located in the Department of Canindeyú, Paraguay in 1985, 1999 and 2007 through multitemporal analysis of land use and hydrologic response analysis method Curve Number with emphasis on parameter runoff coefficient (EC). The methodology was divided into two steps: classification of land use and analysis of changes in vegetation and analysis of the generated classes with the addition of soil types to generate the hydrological parameters in the three antecedent moisture conditions: normal (NII) cleaning (NI) and close to saturation (NIII). The results showed decrease in forest cover in the three sub-basins. From the three parameters, the runoff coefficient in three different moisture history of the sub-basin 49 between 1985 and 1999 was the highest (NI = 6.42, NII = 30.88, NIII = 57.86) and indicates a higher possibility of degradation. During 2007, the runoff coefficient in three different moisture history of the sub-basin 01 was the highest (NI = 17.03, NII = 45.18, NIII = 69.32), indicating a greater possibility of degradation the sub-basin due to the action of water erosion.

Keywords: Hydrographic basin; multitemporal analysis; curve number; runoff.

INTRODUÇÃO

A diminuição da superfície florestal no Departamento de Canindeyú, Paraguai, é uma realidade que gera preocupação constante na comunidade, pela falta de critérios para a realização de um aproveitamento racional dos recursos florestais. Ao longo dos anos, as áreas de florestas têm sofrido com a depredação e mudança de uso por parte de proprietários que optam, num primeiro momento, por derrubar a floresta primária para o aproveitamento da madeira e depois utilizarem essas áreas

remanescentes para culturas anuais ou pastagens. A degradação acelerada do solo decorrente da mudança de uso fatalmente afeta a qualidade dos recursos hídricos e impacta negativamente na resposta hidrológica da bacia.

O objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento hidrológico de três nascentes, denominadas como sub-bacias, da bacia hidrográfica do rio Carapá, localizada no Departamento de Canindeyú, Paraguai, nos anos de 1985, 1999 e 2007, através de análise multitemporal do uso do solo e análise da capacidade de armazenamento e resposta hidrológica da bacia.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A bacia hidrográfica pode ser definida como a área de captação natural da água da precipitação, drenando essa água por ravinas, canais e tributários, para um curso de água principal, tendo a vazão uma única saída, desaguando em um curso de água maior, lago ou oceano (TONELLO, 2005). Tucci *et al.* (1993) consideram a bacia hidrográfica como um sistema físico aberto, no qual a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelos canais escoadouros que carregam materiais provenientes da própria bacia, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados, além daqueles que são infiltrados, permanecendo no solo ou migrando para as partes mais profundas. O fluxo de saída é determinado pelas características geológicas, geomorfológicas, pedológicas, de vegetação e do clima que incide na área.

Cardozo *et al.* (2006) manifestam que a vegetação presente na bacia, o solo e a água encontram-se em interação permanente e dinâmica que responde diretamente às mudanças e interferências, sejam elas naturais ou de origem antrópica, que afetam o ecossistema como um todo. Os recursos hídricos constituem os indicadores das condições dos ecossistemas e refletem os efeitos de desequilíbrio das interações dos componentes da bacia hidrográfica. Para Chiaranda (2002), as funções fundamentais da bacia hidrográfica sofrem alterações, e quando a modificação do uso da terra dá-se em grandes extensões de área na bacia hidrográfica, podem ser observados impactos no comportamento do escoamento.

O escoamento superficial é um dos componentes do ciclo hidrológico, junto com a precipitação, interceptação, infiltração, transpiração e evaporação. É impulsionado pela gravidade, ultrapassando a barreira do atrito com a superfície do solo até se concentrar nas cotas mais baixas (VILLELA; MATTOS, 1975; TUCCI *et al.*, 1993). Villela; Mattos (1975) acrescentam que o escoamento superficial sofre a influência de diversos fatores que ajudam ou prejudicam a sua ocorrência. Podem ser de natureza climática, que são as relacionadas com a precipitação, ou podem ser de natureza fisiográfica, referentes às características físicas da bacia (área, forma, permeabilidade, capacidade de infiltração e topografia da bacia). Tucci *et al.* (1993) ressaltam que a presença de vegetação na superfície do solo obstrui o escoamento superficial e favorece a infiltração em percurso. Da mesma forma, a vegetação provoca uma diminuição da energia cinética de impacto das gotas de chuva na superfície do solo, fator este que minimiza a erosão.

As mudanças originadas nas componentes biofísicas da superfície terrestre apresentam variações muito dinâmicas ao longo do tempo. Nesse sentido, as pesquisas relacionadas à coleta de dados através de sensoriamento remoto ou de cartografia muitas vezes conflitam com bancos de dados desatualizados, comprometendo a precisão dos mesmos. Nesse contexto, houve um esforço para desenvolver técnicas para detectar as mudanças ocorridas ao longo do tempo, utilizando-se ferramentas do sensoriamento remoto (JENSEN, 1996). Da mesma forma que se pode manipular um conjunto de imagens em diferentes bandas espectrais, podem-se manipular imagens de uma mesma banda em diferentes épocas. A essa manipulação de dados de diferentes épocas denomina-se *análise multitemporal* (NOVO, 1992).

Segundo Ferrer Juliá *et al.* (2003), o modelo de Curva Número foi desenvolvido pelo Serviço de Conservação de Solos (SCS), atualmente denominado *Natural Resources Conservation Service* (NRCS), dos EUA, durante a década de 50, para sua aplicação em todo o país. Chow; Maidment; Mays (1994), citados por Segovia; Hang (2000), mencionam que esse é um método empírico para o cálculo da transformação da precipitação em escoamento direto, que surgiu da observação do fenômeno hidrológico em diferentes tipologias de solos, usos e condições antecedentes de umidade. Seu objetivo era estimar o escoamento superficial em pequenas bacias hidrográficas agrícolas considerando as condições de cobertura e tipo de solos, para se analisar a influência dos tratamentos agrícolas e da mudança no uso. Ferrer Juliá *et al.* (2003) mencionam que posteriormente se desenvolveu sua aplicação para bacias urbanas.

A precipitação incidente na bacia e a parte desta que corresponde à precipitação efetiva, que produz escoamento ou vazão direta (Qd), pode ser analisada graficamente no hidrograma de vazão. Para padronização e análise dessa precipitação efetiva, se estabeleceu a teoria da Curva Número, um número adimensional de curva, que varia de zero a 100, em função das tipologias de recobrimento e das características do solo. Para superfícies impermeáveis ou com lâmina de água superficial, a CN é igual a 100, e para superfícies naturais, com capacidade de armazenamento de água, a CN é menor que 100. Esses valores de CN são tabelados para diferentes tipos de solos e de uso da terra. Reyes (2010), utilizando essa metodologia de CN, comparou três áreas de nascentes (sub-bacias) quanto à capacidade de armazenamento e resposta hidrológica, evidenciando que a bacia com maior área com floresta apresentou maior capacidade de armazenamento e, consequentemente, menor coeficiente de escoamento superficial.

MATERIAL E MÉTODOS

A bacia hidrográfica do rio Carapá, localizada no Departamento de Canindeyú, região oriental, porção leste do Paraguai, é uma região de aproximadamente 267.000 hectares, distribuídos em 7 municípios. O principal curso de água é o rio Carapá, afluente da margem esquerda do rio Paraná. A região está localizada entre as coordenadas UTM 667.973m E, e 772.615m E; 7.287.936m N e 7.348.889m N, Fuso 21, e apresenta uma altitude média de 337 m, chegando a 220 m na margem do lago da represa de Itaipu (Figura 1).

Esta bacia foi dividida pelo Proyecto Carapá Ypoti (2008) em 55 áreas de nascentes, neste trabalho definidas como sub-bacias. Destas, foram tomadas as sub-bacias número 01, 18 e 49 para o presente estudo, as quais estão localizadas nos municípios de Corpus Christi e Francisco Caballero Alvarez. A localização em coordenadas UTM e superfície das sub-bacias são as seguintes:

- Sub-bacia 01: 719.611m E e 729.960m E; 7.321.552m N e 7.335.005m N, Fuso 21; 8.518,81 ha.
- Sub-bacia 18: 732.342m E e 741.333m E; 7.294.414m N e 7.304.644m N, Fuso 21; 5.807,52 ha.
- Sub-bacia 49: 692.757m E e 701.043m E; 7.294.414m N e 7.304.644m N, Fuso 21; 6.578,77 ha.

Os dois municípios apresentam ocupação predominantemente rural. A vegetação autóctone da área da bacia forma parte do denominado Bosque Atlântico Alto Paraná, que corresponde à porção ocidental do Bosque Atlântico Interior (DINERSTEIN *et al.*, 1995).

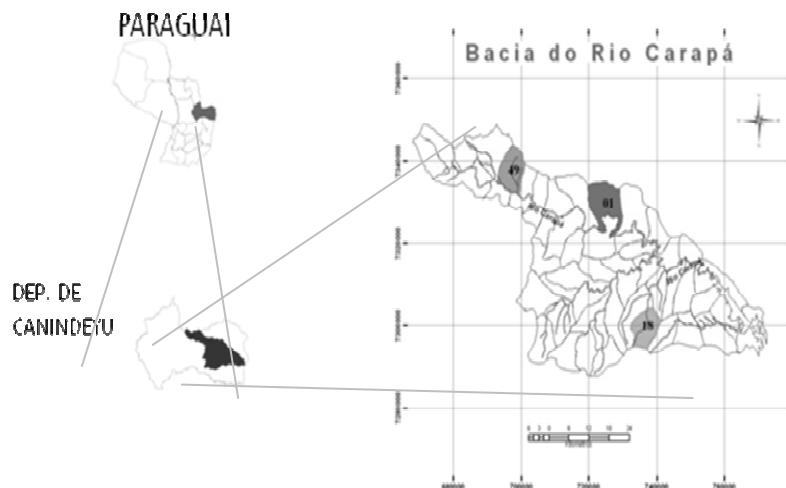


Figura 1. Localização da bacia do rio Carapá, Canindeyú, Paraguai, em destaque divisão em sub-bacias.
Figure 1. Location of river basin Carapá, Canindeyú, Paraguay, highlighted the division into sub-basins.

A região apresenta uma proporção importante de solos originados de rochas basálticas, sendo que as restantes são derivadas de arenitos (ATLAS AMBIENTAL, 1995). De acordo com López Gorostiaga *et al.* (2005), a tabela 1 mostra as classes de solos encontradas nas três sub-bacias e suas correspondentes classes hidrológicas.

As classes hidrológicas foram determinadas utilizando-se a metodologia (ábaco) da *Soil Survey Staff*, enquadradas nas classes hidrológicas referenciadas a taxas de infiltração A ($>7,6 \text{ mm}^{-1}$), B (3,8 a 7,6 mm^{-1}), C (1,3 a 3,8 mm^{-1}) e D ($<1,3 \text{ mm}^{-1}$), em função do conteúdo de argila, silte e areia.

Tabela 1. Classes hidrológicas das classes de solos utilizadas.

Table 1. Classes hydrological soil classes used.

Bacia	Classes de solos	Classes hidrológicas
01	Alfisols (Luvisolos)	C
01 - 18	Entisols (Neossolos litólicos)	D
01 - 18 - 49	Oxisols (Latossolos)	C
01 - 49	Terras mistas	D

O primeiro passo para a realização da análise foi a aquisição das imagens de satélite Landsat 5 TM, órbita 224, cena 77, junto ao INPE, disponível em forma gratuita no site da instituição. Foram adquiridas três imagens da área em estudo dos anos de 1985, 1999 e 2007 (Figura 2), correspondentes à estação seca, para evitar presença de nuvens que ocasionariam erros na classificação. Para o ano de 2007, além das imagens de satélite, contou-se com levantamentos em campo do Projeto Carapá Ypoti (2008).

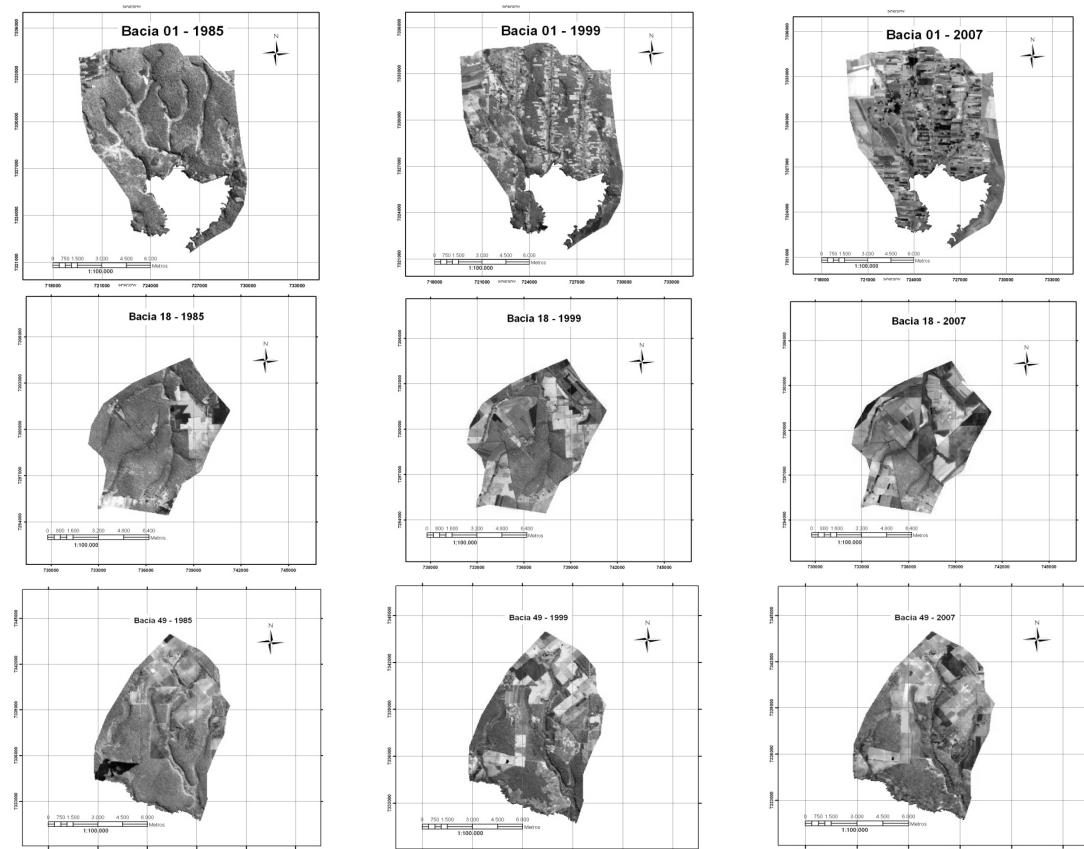


Figura 2. Imagem recortada das sub-bacias 01, 18 e 49 em 1985, 1999 e 2007.

Figure 2. Cropped image of the sub-basin 01, 18 and 49 in 1985, 1999 and 2007.

As tipologias de uso utilizadas foram:

- Floresta nativa: florestas naturais em vários estágios de sucessão.
- Vegetação secundária: vegetação, mas com resposta espectral diferente de floresta nativa.

- Cultivos: áreas destinadas a cultivos anuais ou campos naturais. Eventualmente podem apresentar resposta espectral de solos expostos, dependendo do estado fenológico das plantas ou da época de preparação do terreno. Referem-se a culturas anuais, pastagens naturais ou implantadas e solos expostos.
- Pastagem: compreende as áreas cobertas por pastagens de acordo com a classificação do Projeto Carapá Ypoti (2008). A característica desse uso é que representa médios e grandes produtores, que realizam manejos regulares com presença de curvas de nível em grande parte das áreas.
- Alagados (banhados): caracterizam-se pela presença de água, que cobre parte significativa de sua área total, saturando os sedimentos e criando condições de solo encharcado, geralmente em um ambiente redutor, que permite apenas o desenvolvimento de espécies vegetais adaptadas a essas condições. Na classificação de vegetação do Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 1992, os banhados aparecem como Áreas Pioneiras de Influência Fluvial.

Para o desenvolvimento do trabalho de classificação, empregaram-se técnicas de sensoriamento remoto (registro, segmentação, realce e contraste, entre outros elementos), utilizando-se o software ENVI 4.3. O programa EDISON foi utilizado na segmentação das imagens, para facilitar a separação das classes. A classificação foi realizada nos software do Sistema de Informação Geográfica - SIG (Multispec e ArcGis 9.0).

Análise de números hidrológicos (Curva Número)

Para a análise de números hidrológicos, foram utilizados os dados resultantes da análise multitemporal para a determinação dos usos do solo nas três bacias nos três períodos. Os dados de uso do solo em formato *shapefile* correspondem ao levantamento realizado por López Gorostiaga *et al.* (1995), disponíveis em escala 1:500.000. Foi simulada uma precipitação de 70 mm, com uma duração de 1 hora, objetivando a comparação do comportamento do escoamento superficial nas três bacias nos três períodos. Tomou-se como referência a umidade antecedente normal (NII) para a determinação do número de curva (Tabela 2). As condições de umidade antecedente referem-se a três situações: NI, que implica uma condição do solo seco, mas sem chegar ao ponto de murcha permanente, NII corresponde à condição de umidade normal do solo e NIII corresponde a um solo saturado ou que esteja muito próximo da saturação.

Como não pode ser verificada espectralmente a característica particular de uso para os períodos 1985 e 1999 no que se refere a Cultivo, foi utilizada uma média dos valores de curvas números. As tipologias vinculadas foram: solo lavrado, plantações regulares, plantações de cereais, plantações de legumes ou cultivados, pastagens, campos permanente e chácaras com estradas de terra. Para determinar o valor CN da tipologia Vegetação Secundária nesses períodos, elas foram enquadradas como florestas esparsas de baixa densidade e fragmentos dispersos. Floresta Nativa foi considerada na categoria de florestas naturais. Esse enquadramento foi utilizado nos três períodos. À tipologia Alagados (várzeas úmidas e banhados) utilizada nesta análise, em função de suas características mencionadas por Chow; Maidment; Mays (1994) e Ferrer Juliá *et al.* (2003), corresponde um valor CN de 100, pois são áreas que apresentam lâminas de água e tudo o que precipita nelas se converte em escoamento.

Segundo a metodologia, o número de curva pode tomar valores variando de 0 (zero) a 100 (cem). O maior número subentende uma menor quantidade de água para saturação do solo e consequentemente uma maior quantidade de água para escoamento superficial (Pe ou Es, que no hidrograma de vazão corresponde ao Qd). Ou seja, em CN = 100 tem-se uma bacia impermeável e toda a precipitação escoa, produzindo escoamento superficial. Mesmo que se enquadrem os solos em relação às classes hidrológicas, é necessário utilizar o número de curva considerando três situações de umidade antecedente (NI, NII, NIII):

- NII corresponde a solo em situação normal de umidade ou de água disponível, em situação de não saturação (capacidade de campo) ou de estresse hídrico (ponto de murcha permanente).
- NI corresponde a solo seco sem, contudo, atingir o ponto de murcha permanente, obtido aplicando-se a seguinte equação:

$$NI = \frac{4,2 \cdot NII}{10 - 0,058 \cdot NII}$$

- NIII corresponde a solo saturado ou próximo da saturação ou da capacidade de campo, aplicando-se a seguinte equação:

$$NIII = \frac{23 \cdot NII}{10 + 0,13 \cdot NII}$$

Tabela 2. Valores da curva número para bacias rurais.
Table 2. Values of the curve number for rural basins.

Tipo de uso do solo	Superfície	A	B	C	D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terraços em curvas de nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em curvas de nível	62	74	82	85
	Terraços em curvas de nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou cultivados (horticultura)	Em curvas de nível	60	72	81	84
	Terraços em curvas de nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80
Pastagens	Pobres em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas em curvas de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsos de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais de média transpiração	36	60	73	79
	Densos de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras com estradas de terra	Normais	56	75	86	91
	Má conservação	72	82	87	89
	De superfícies duras	74	84	90	92
Florestas	Esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas de alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

FONTE: Tucci *et al.* (1993).

Fixados os números hidrológicos das distintas áreas de uso do solo existentes na bacia hidrográfica, calcula-se o número de Curva Média em um primeiro momento para cada tipologia de uso do solo e classe hidrológica, e num segundo momento para o conjunto das áreas da bacia, utilizando-se a seguinte equação:

$$N = \frac{\sum (N_{ixai})}{A}$$

Em que: N = o número de curva média para cada tipologia ou bacia;

N_i = o número de curva da área de uso do solo relacionado à classe hidrológica A, B, C, D;

a_i = a área de uso de cada tipologia;

A = a área total da bacia hidrográfica.

Capacidade máxima de saturação da bacia (S)

Representa a capacidade máxima de armazenamento de água, a qual é influenciada pelo tipo de solo, pela umidade inicial antes da precipitação, pela vegetação que sustenta e pelo tratamento e cobertura do solo. Representa, portanto, o potencial máximo de retenção de água que tem o complexo solo-vegetação. É dado pela equação:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Conteúdo de chuva abstraída ou encarcamento (Po)

Po é o limite máximo de umidade a partir do qual começa o escoamento superficial, ou seja, altura mínima de chuva necessária para que se produza o escoamento superficial. No modelo, esta

abstração, depois de inúmeros experimentos, corresponde a 1/5 (ou 20% da capacidade máxima do potencial de retenção S), sendo obtido pela relação: Po (mm) = 0,2 S (20% de S) ou então pela equação:

$$Po = \frac{5080}{CN} - 50,8$$

Escoamento superficial real ou precipitação efetiva (Pe)

Pe (ou Es) é a quantidade de precipitação que produz o escoamento superficial ou vazão direta (Qd) do hidrograma de vazão, ou seja, produz aumento do nível do leito do rio. O total de Pe (Es) ao escorrer pela superfície do solo poderá produzir erosão. Em síntese, é a quantidade de água que sobra depois de certa quantidade de água ser “abstraída” e “infiltrada” na bacia. É dado pela equação:

$$Pe = \frac{\left(Pp - \frac{5080}{CN} + 50,8 \right)^2}{Pp + \frac{20320}{CN} + 203,2}$$

Em que: Pp = a precipitação incidente na bacia hidrográfica.

Perdas reais máximas (Pmax)

É o conteúdo de água que permanece na bacia e posteriormente pode servir como água disponível para os cultivos, abastecer o lençol freático, através da percolação profunda, ou mesmo sofrer processo de evaporação. É dada pela equação:

$$P_{max} = Pp - Po - Pe$$

Coeficiente de escoamento superficial (CE)

O tempo que a água de escoamento superficial demanda para alcançar o leito do rio, que pode ser identificado no hidrograma de vazão (escoamento superficial, sub-superficial e precipitação que incide diretamente na superfície do canal do rio), é considerado como escoamento direto (Qd). O volume do escoamento direto costuma ser comparado com a precipitação incidente na bacia. Assim, surge o conceito de coeficiente de escoamento superficial (CE), que depende do tempo em consideração e que é expresso como:

$$CE = \frac{Pe}{Pp}$$

Em que: Pe = o escoamento superficial real ou aporte específico da bacia que alcança o leito do rio e faz com que o nível do rio se eleve;

Pp = a precipitação incidente sobre a bacia, sendo comumente expresso em porcentagem (%).

RESULTADO E DISCUSSÕES

A Curva Número Média para cada tipologia de uso da terra é calculada em função da cobertura e classe hidrológica do solo (Tabela 3) para cada sub-bacia. Segue exemplo para a sub-bacia 01, ano de 1985.

- NII média para cultivo = $\frac{\{(584,63 \times 80) + (0,63 \times 86) + (1,15 \times 80) + (71,13 \times 86)\}}{(584,63 + 0,63 + 1,15 + 71,13)} = 80,64$
- NII média para vegetação secundária = $\frac{\{(883,59 \times 86) + (3,25 \times 91) + (1,52 \times 86) + (101,50 \times 91)\}}{(883,59 + 3,25 + 1,52 + 101,50)} = 86,49$
- NII média para floresta = $\frac{\{(6.670,35 \times 70) + (12,45 \times 76) + (4,18 \times 70) + (184,43 \times 76)\}}{(6670,35 + 12,45 + 4,20 + 84,43)} = 70,14$

Número de Curva Médio da sub-bacia é dado por $\sum Uso(\%) \times CNII$

- NII média = $(7,72 \times 80,64/100) + (11,62 \times 86,49/100) + (80,64 \times 70,14/100) = 72,85$

Aplicando, para a sub-bacia 01, ano 1985, as equações para NI e NII (Tabela 8)

- NI média = $(4,2 \times 72,85) \div (10 - 0,058 \times 72,85) = 52,98$
- NIII média $(23 \times 72,85) \div (10 + 0,13 \times 72,85) = 86,06$

Tabela 3. Área por tipologia de uso do solo na sub-bacia 01 em 1985.

Table 3. Surface soil cover of sub-basin 01 in 1985.

Classe hidrológica do solo	Cultivo agrícola	Vegetação secundária	Floresta nativa	Total
A	584,63	883,59	6.670,35	8.138,57
B	0,63	3,25	12,45	16,33
C	1,15	1,52	4,18	6,85
D	71,13	101,50	184,43	357,06
	657,55	989,86	6.871,41	8.518,81

O resultado da classificação das três sub-bacias nos períodos de 1985, 1999 e 2007 são apresentados nas figuras 3, 4 e 5 e nas tabelas 4, 5, 6 e 8, acompanhados dos valores de Curva Número Média de cada uma das tipologias de uso do solo e para cada uma das sub-bacias estudadas.

Procedendo-se da mesma maneira para as sub-bacias 18 e 49, registram-se os dados da tabela 4 e figura 4. Observa-se nessa tabela que no período de 1985 a tipologia de uso predominante nas três sub-bacias é Floresta Nativa, com valores de 80,66% na sub-bacia 01, 74,25% na sub-bacia 18 e 61,22% na sub-bacia 49.

Tabela 4. Superfície e valores de Curva Número médios NII das sub-bacias 01, 18 e 49 em 1985.

Table 4. Surface and Curve Number values averages NII of sub-basins 01, 18 and 49 in 1985.

Ano 1885	Bacia 01			Bacia 18			Bacia 49		
	Usos	ha	%	CN média	ha	%	CN média	ha	%
Cultivo	657,55	7,72	80,64	807,04	13,9	80,02	1428,67	21,72	80,76
Vegetação secundária	989,84	11,62	86,49	689,18	11,87	86,12	1122,49	17,06	87,42
Floresta nativa	6871,42	80,66	70,14	4311,3	74,24	70,00	4027,61	61,22	71,02
Total	8518,81	100		5807,52	100		6578,77	100	
Curva média		72,85			73,31			75,94	

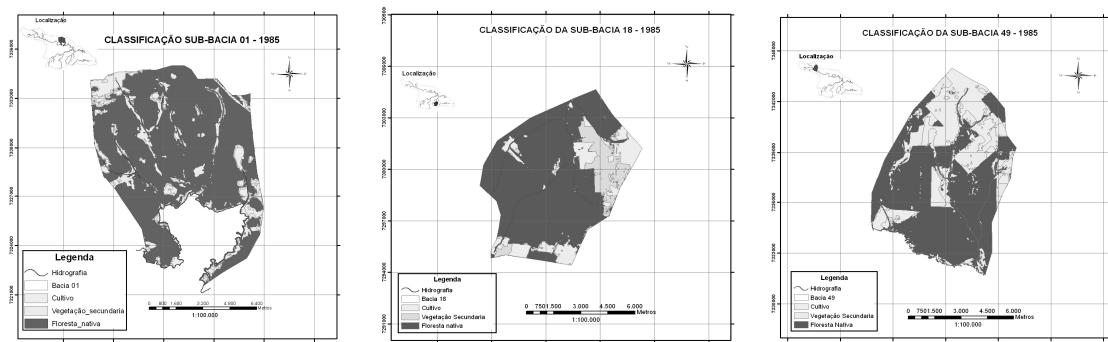


Figura 3. Mapa de uso do solo das sub-bacias 01, 18 e 49 em 1985.

Figure 3. Map of land use sub-basins 01, 18 and 49 in 1985.

No período de 1999 (Tabela 5 e Figura 5), a tipologia de uso predominante na sub-bacia 01 é Cultivo, indicando uma forte diminuição da Floresta Nativa. Na sub-bacia 18, observa-se que a tipologia Vegetação Secundária é a que apresenta maior valor, com 42,7%. Floresta Nativa aparece com uma diminuição acentuada, com 37,24%. Na sub-bacia 49 também predomina Vegetação Secundária, com 52,51%, seguida de Floresta Nativa, com 33,02%, marcando tendência nas três áreas com forte indicativo de desmatamento.

Na tabela 6 e figura 6 (2007), encontra-se que a tipologia de uso Cultivo é a que apresenta maior superfície nas sub-bacias 01 e 18, com valores de 87,03% e 72,01%, respectivamente. Nesse período, a sub-bacia 49 apresenta Floresta Nativa como tipologia predominante (41,08%).

Tabela 5. Superfície e valores de Curva Número NII médios das sub-bacias 01, 18 e 49 em 1999.
 Table 5. Surface and Curve Number values NII averages of sub-basins 01, 18 and 49 in 1999.

Ano 1999	Bacia 01			Bacia 18			Bacia 49		
	Usos	ha	%	CN média	ha	%	CN média	ha	%
Cultivo	3401,86	39,93	80,25	1165,21	20,06	80,00	951,84	14,47	80,74
Vegetação secundária	1774,85	20,83	86,21	2479,82	42,7	86,04	3454,75	52,51	87,10
Floresta nativa	3342,1	39,23	70,21	2162,49	37,24	70,00	2172,18	33,02	70,85
Total	8518,81	100		5807,52	100		6578,77	100	
Curva média		77,54			78,85			80,82	

Observa-se na tabela 7 que a sub-bacia 01 é a que apresentou maior taxa de desmatamento anual nos três períodos estudados e nas três áreas analisadas, com um valor médio de 3,19%, seguida da sub-bacia 18 (2,38%) e da sub-bacia 49, com 0,71%. Também foi a sub-bacia 01 que apresentou maior taxa linear de desmatamento nos 22 anos compreendidos entre 1985 e 2007, com 69,31% de diminuição de sua área original. Todas as áreas apresentaram taxa anual de desmatamento menor que a média para a região oriental do Paraguai no período de 1984 a 1991, que, segundo Huespe Fatecha *et al.* (1994), é de 4,7% e 4,4% para o Departamento de Canindeyú.

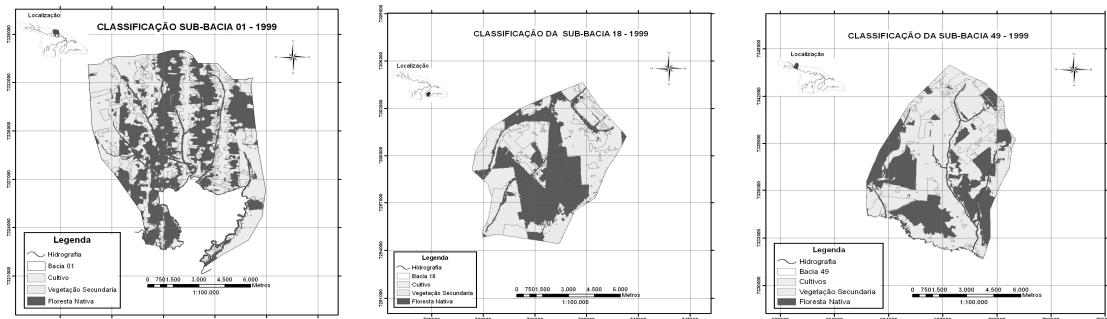


Figura 5. Mapa de uso do solo das sub-bacias 01, 18 e 49 em 1999.
 Figure 5. Map of land use sub-basins 01, 18 and 49 in 1999.

Tabela 6. Superfície e valores de Curva Número NII médios das sub-bacias 01; 18 e 49 em 2007.
 Table 6. Surface and Curve Number values averages NII of sub-basins 01, 18 and 49 in 2007.

Ano 2007	Bacia 01			Bacia 18			Bacia 49		
	Usos	ha	%	CN média	ha	%	CN média	ha	%
Cultivo	7414,05	87,03	84,12	4182,24	72,01	84,02	1300,53	19,77	85,26
Floresta nativa	967,15	11,35	70,96	1195,23	20,58	70,00	2702,28	41,08	71,52
Pastagem	0	0	-	355,37	6,12	75,00	1978,65	30,08	75,80
Banhado	137,6	1,62	100	74,68	1,29	100	597,31	9,08	100
Total	8518,8	100,00		5807,52	100,00		6578,77	100,00	
Curva média		82,88			80,79			77,91	

A tabela 7 mostra que no período entre 1999 e 2007 foi observado um comportamento negativo de -3,84% (taxa anual de -0,48%) do desmatamento, evidenciando um aumento da massa florestal. Esse valor possivelmente pode ser atribuído à resposta espectral da imagem não distinguir perfeitamente a Floresta Nativa com a tipologia Vegetação Secundária.

A tabela 8 apresenta os parâmetros hidrológicos das três sub-bacias nos três períodos com simulação de 70 mm de precipitação, tendo como CN média a média ponderada para cada uma das tipologias de uso em relação às classes hidrológicas.

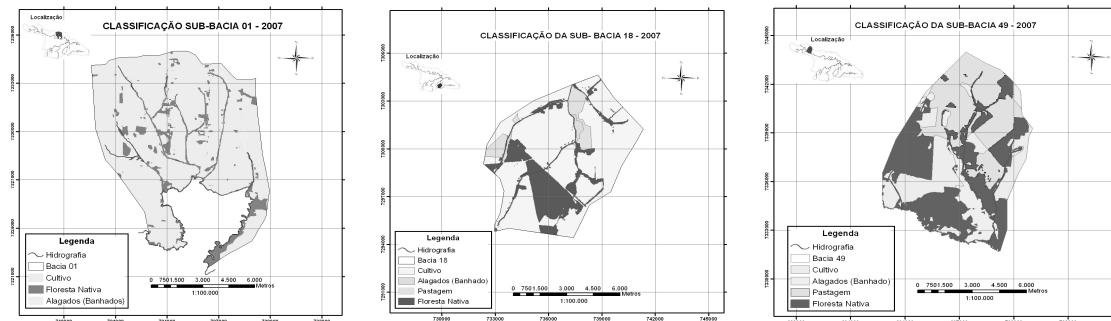


Figura 6. Mapa de uso do solo das sub-bacias 01, 18 e 49 em 2007.

Figure 6. Map of land use sub-basins 01, 18 and 49 in 2007.

Tabela 7. Taxa de desmatamento nas três sub-bacias nos três períodos.

Table 7. Rate of the deforestation rate in the three sub-basins in the three periods.

Ano	Período (anos)	Bacia 01		Bacia 18		Bacia 49	
		Desmatamento (%)	Taxa anual (%)	Desmatamento (%)	Taxa anual (%)	Desmatamento (%)	Taxa anual (%)
1985	14	41,43	2,95	37	2,64	23,98	1,71
1999	8	27,88	3,48	16,66	2,08	-3,84	-0,48
2007	22	69,31	3,15	53,66	2,43	20,14	0,91
Média			3,19		2,38		0,71

As estimativas de CN média da sub-bacia 01 no ano de 1985 apresentam os valores de 52,98 para condição seca (NI), 72,85 para condição normal (NII) e 86,66 para condição de solo saturado (NIII). Tendo como referência os dados de uso do solo da tabela 4, de 7,72% de Cultivos, 11,62% de Vegetação Secundária e 80,66% de Floresta Nativa, observa-se na tabela 8 uma capacidade de saturação de 225,93 mm quando em situação de estiagem ou solos secos (NI), capacidade de saturação de 94,66 mm em situação média de umidade (NII), e 41,16 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo.

Observa-se, ainda, que na sub-bacia 01 são necessários 45,08 mm de chuva de “abstração” (Po) em situação de estiagem ou secos (NI), de no mínimo 18,93 mm de chuva para produzir escoamento superficial em situação média de umidade (NII) e de 8,23 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo (NIII).

Em relação ao escoamento real ou precipitação efetiva (Pe), a sub-bacia 01, com esse uso de solo, em situação de umidade média (normal) produzirá escoamento superficial (Pe) de 17,90 mm em situação média de umidade (NII), em situação de estiagem ou secos (NI) apenas 2,44 mm e 24,70 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo (NIII), para uma precipitação incidente (Pp) simulada de 70 mm.

Essa mesma sub-bacia 01 permitiria uma perda máxima de água da ordem de 33,17 mm em situação média de umidade (NII), de 22,44 mm quando em situação de estiagem ou secos (NI) e 24,70 mm quando em estado de umidade próximo da saturação ou de capacidade de campo (NIII), com precipitação de 70 mm.

Ainda, essa sub-bacia, no ano de 1985, apresentou um coeficiente de escoamento superficial (CE) de 3,55% em situação de estiagem ou secos (NI), 25,56% em condição média de umidade (NII) e 52,96% em estado de umidade próximo da saturação ou de sua capacidade de campo (NIII), para uma precipitação incidente de 70 mm.

Fazendo uma análise do comportamento hidrológico das três sub-bacias, com ênfase no parâmetro de coeficiente de escoamento superficial (CE), observa-se que no período 1985 a sub-bacia 49 obteve o valor mais alto nas três situações de umidade antecedente (NI = 6,42; NII = 30,88; NIII = 57,86) com relação à sub-bacia 18 (NI = 3,91; NII = 26,33; NIII = 53,68), ficando por último a sub-bacia 01 (NI = 3,55; NII = 25,56; NIII = 52,96).

Tabela 8. Curvas número e parâmetros hidrológicos para as três sub-bacias nos anos de 1985, 1999 e 2007.
 Table 8. Curve number and hydrological parameters for the three sub-basins in the years 1985, 1999 and 2007.

	CN Média	Armazenamento S (mm)	Abstração Po (mm)	Precipitação efetiva Pe (mm)	Perdas máximas Pmax (mm)	Coeficiente de escoamento CE (%)
Ano 1985						
Bacia 01						
Seco (NI)	52,98	225,39	45,08	2,48	22,44	3,55
Normal (NII)	72,85	94,66	18,93	17,90	33,17	25,56
Saturado (NIII)	86,06	41,16	8,23	37,07	24,70	52,96
Bacia 18						
Seco (NI)	53,57	220,15	44,03	2,74	23,23	3,91
Normal (NII)	73,31	92,46	18,49	18,43	33,08	26,33
Saturado (NIII)	86,34	40,20	8,04	37,58	24,38	53,68
Bacia 49						
Seco (NI)	57,00	191,65	38,33	4,49	27,18	6,42
Normal (NII)	75,94	80,49	16,10	21,62	32,28	30,88
Saturado (NIII)	87,89	35,00	7,00	40,50	22,50	57,86
Ano 1999						
Bacia 01						
Seco (NI)	59,19	175,14	35,03	5,82	29,15	8,32
Normal (NII)	77,54	73,56	14,71	23,72	31,56	33,89
Saturado (NIII)	88,82	31,98	6,40	42,32	21,28	60,46
Bacia 18						
Seco (NI)	61,03	162,18	32,44	7,06	30,50	10,09
Normal (NII)	78,85	68,11	13,62	25,53	30,85	36,47
Saturado (NIII)	89,56	29,61	5,92	43,82	20,25	62,60
Bacia 49						
Seco (NI)	63,89	143,56	28,71	9,22	32,07	13,17
Normal (NII)	80,82	60,30	12,06	28,39	29,55	40,56
Saturado (NIII)	90,64	26,22	5,24	46,10	18,66	65,85
Ano 2007						
Bacia 01						
Seco (NI)	67,03	124,92	24,98	11,92	33,09	17,03
Normal (NII)	82,88	52,47	10,49	31,62	27,88	45,18
Saturado (NIII)	91,76	22,81	4,56	48,52	16,92	69,32
Bacia 18						
Seco (NI)	63,85	143,83	28,77	9,19	32,05	13,12
Normal (NII)	80,79	60,41	12,08	28,35	29,57	40,50
Saturado (NIII)	90,63	26,26	5,25	46,06	18,69	65,80
Bacia 49						
Seco (NI)	59,70	171,48	34,30	6,15	29,55	8,79
Normal (NII)	77,91	72,02	14,40	24,22	31,38	34,60
Saturado (NIII)	89,02	31,31	6,26	42,74	21,00	61,06

Quanto ao coeficiente de escoamento superficial com a cobertura de Floresta Nativa nas três áreas no ano de 1985, observa-se que a sub-bacia 49 é a que apresenta uma menor cobertura da tipologia Floresta Nativa (61,22%) e, na situação de umidade NII, o maior coeficiente de escoamento (CE), de 57,86%, seguida da sub-bacia 18 (52,68%) e da sub-bacia 01 (52,96%). Nesse caso, o menor valor de coeficiente de escoamento superficial corresponde à área que apresenta maior cobertura de Floresta Nativa.

A mesma tendência é observada no período 1999, com valores de coeficiente de escoamento superficial (CE) maiores na sub-bacia 49 nas três situações de umidade antecedente (NI = 13,17;

NII = 40,56; NIII = 65,85), em comparação com a sub-bacia 18 (NI = 10,09; NII = 36,47; NIII = 62,60) e a sub-bacia 01 (NI = 8,32; NII = 33,89; NIII = 60,46).

No período de 2007, observa-se uma inversão na ordem de sub-bacias mais propensas à erosão, pois os maiores valores de coeficiente de escoamento superficial (CE) nas três situações de umidade antecedente são encontrados na sub-bacia 01 (NI = 17,03; NII = 45,18; NIII = 69,32), seguida da sub-bacia 18 (NI = 13,12; NII = 40,50; NIII = 65,80) e por último a sub-bacia 49 (NI = 8,79; NII = 34,60; NIII = 61,06). Na correlação com o uso do solo nesse período, encontra-se a tipologia Floresta Nativa ocupando 33,02% na sub-bacia 49, 20,58% na sub-bacia 18 e 11,35% na sub-bacia 01. Além disso, a tipologia Cultivos apresenta um aumento considerável na sub-bacia 01, com um valor de 87,03%, sendo que na sub-bacia 18 essa tipologia ocupa 72,01% e na sub-bacia 49 ocupa 19,77%.

Com relação ao coeficiente de escoamento superficial com a cobertura de Floresta Nativa nas três áreas no ano de 1985, observa-se que a sub-bacia 49 é a que apresenta uma menor cobertura da tipologia Floresta Nativa (61,22%) e, na situação de umidade NII, o maior coeficiente de escoamento (CE) de 57,86%, seguido da sub-bacia 18 (52,68%) e da sub-bacia 01 (52,96%). Neste caso, o menor valor de coeficiente de escoamento superficial corresponde à área que apresenta maior cobertura de Floresta Nativa. A mesma tendência é observada no período 1999, com valores de coeficiente de escoamento superficial (CE) maiores na sub-bacia 49 nas três situações de umidade antecedente (NI = 13,17; NII = 40,56; NIII = 65,85) em comparação com a sub-bacia 18 (NI = 10,09; NII = 36,47; NIII = 62,60) e com a sub-bacia 01 (NI = 8,32; NII = 33,89; NIII = 60,46).

No período de 2007 observa-se uma inversão na ordem de sub-bacias mais propensas à erosão, pois os maiores valores de coeficiente de escoamento superficial (CE) nas três situações de umidade antecedente são encontrados na sub-bacia 01 (NI = 17,03; NII = 45,18; NIII = 69,32) seguida da sub-bacia 18 (NI = 13,12; NII = 40,50; NIII = 65,80) e por último da sub-bacia 49 (NI = 8,79; NII = 34,60; NIII = 61,06). Ao correlacionar com o uso do solo nesse período, encontra-se a tipologia Floresta Nativa ocupando 33,02% na sub-bacia 49, 20,58% na sub-bacia 18 e 11,35% na sub-bacia 01. Além disso, a tipologia Cultivos apresenta um aumento considerável na sub-bacia 01, com um valor de 87,03%, sendo que na sub-bacia 18 essa tipologia ocupa 72,01% e na sub-bacia 49 ocupa 19,77%.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- A metodologia da Curva Número é um bom instrumento para análise da capacidade de armazenamento de água de uma bacia, por internalizar em sua concepção o hidrograma de vazão, mais especificamente, o volume de água incidente e de deságue da bacia hidrográfica. Limita-se, portanto, a análise da recarga, armazenamento e descarga da bacia, mantendo-se a relação de unidade de volume da precipitação incidente. Entretanto há questões técnicas que ainda estão em processo de investigação, como, por exemplo, a limitação do uso de apenas quatro classes hidrológicas e pouca inferência quanto às classes de declividade do solo.
- Especificamente em relação aos resultados deste artigo, tem-se que o coeficiente de escoamento superficial nas três situações de umidade antecedente da sub-bacia 49 no período de 1985 e 1999 foi o mais alto e o que indica maior possibilidade de degradação nessa área. No período de 2007, o coeficiente de escoamento superficial nas três situações de umidade antecedente da sub-bacia 01 foi o mais alto, indicando maior possibilidade de degradação na área por conta da ação da erosão hídrica. A utilização de três sub-bacias para a análise dificultou bastante o trabalho, em vista das inúmeras informações que foram processadas.
- É recomendável, para futuros trabalhos, diminuir o número de áreas e trabalhar com sub-bacias menores. A utilização de levantamentos de solos em escala de 1:500.000 proporcionou informação muito generalizada das áreas de estudo, recomendando-se para futuras investigações se trabalhar com levantamentos que tenham escalas de mapeamento menores, com o objetivo de obter informações mais precisas.

REFERÊNCIAS

ATLAS AMBIENTAL DE LA REGIÓN ORIENTAL DEL PARAGUAY. San Lorenzo: Carrera de Ingeniería Forestal (U.N.A.)/GTZ, 1995. v. 2.

CARDOZO, C. A.; TEIXEIRA, H. C.; SOARES, C. P.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 241 - 248, 2006.

CHIARANDA, R. **Usos da terra e avaliação da capacidade potencial de armazenamento de água da bacia do rio Cuiabá, MT.** 362 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. **Hidrología aplicada.** Santa Fé de Bogotá: McGraw-Hill Interamericana, 1994.

DINERSTEIN, E.; OLSON, D. M.; GRAHAM, D. J.; WEBSTER, A. L.; PRIM, S. A.; BOOKBINDER, M. P. E.; LEDEC, G. **A conservation assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean.** Washington, DC: International Bank for Reconstruction and Development/World Bank. 1995.

FERRER JULIÁ, M.; BLANCO, J.; RAMÍREZ, J. **Análisis de nuevas fuentes de datos para la estimación del parámetro número de curva: perfiles de suelos y teledetección.** In: CONGRESO DE INGENIERÍA CIVIL, TERRITORIO Y MEDIO AMBIENTE, 3. 2003. León. Disponível em: <http://www.ciccp.es/biblio_digital/Icitema_III/congreso/pdf/040205.pdf>. Acesso em: 22/11/2009.

HUESPE F. H.; SPINZI, M. L.; CURIEL, M. V.; BURGOS, S.; RODAS, I. O. **Uso de la tierra y deforestación en la región oriental del Paraguay, Periodo 1984-1991.** Vol. 1, San Lorenzo: UNA/FIA/CIF. 1994.

JENSEN, J. R. Digital change detection. In: _____. **Introductory digital image processing: A remote sensing perspective.** 2. ed. Prentice Hall. 1996. p. 257 - 279.

NOVO, E. de M. **Sensoriamento remoto:** princípios e aplicações. 2. ed. São José dos Campos: Edgar Blücher. 1992.

PROYECTO CARAPA YPOTI. **Informe de gestión. Periodo 2004-2008.** Asunción, 2008.

REYES, C. D. R. **Análise das características hidrológicas de três sub-bacias do rio Carapá (Canindeyú, Paraguai) em função das mudanças da cobertura vegetal em três diferentes épocas.** 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

SEGOVIA, M. A.; HANG, M. V. **Estimación del valor del número de curva (CN) a través de imágenes satelitales Landsat 5 - TM.** Disponível em: <<http://arandu.org.ar/pub/segovia-hang.pdf>>. Acesso em: 03/09/2009.

TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG.** 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia:** ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade (UFRGS), ABRH: EDUSP. v. 4. 1993.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

