

DIMENSIONAMENTO DE PEQUENAS BARRAGENS NO NORDESTE SEMI-ÁRIDO

Este documento foi elaborado pelo Grupo de Trabalho de Hidrometeorologia (GT.HME da SUDENE) em convênio com o ORSTOM - França.

Equipe Técnica:

- Dr. Benedito José Zelaquett Seraphim. SUDENE - Chefe do GT.HME
Coordenação administrativa
- Eric Cadier. SUDENE / ORSTOM - Hidrologia/Dimensionamento
Coordenação técnica
- Flávio Hugo Barreto Batista da Silva. EMBRAPA - Classificação
hidropedológica das bacias
- Jean Claude Leprun. EMBRAPA/ORSTOM - Classificação hidropedo-
lógica das bacias
- Jacques Marie Herbaud. SUDENE/ACQUAPLAN - Hidrologia
- Frederico Roberto Doherty. SUDENE/IICA - Hidrologia/Modelização
- Paulo Frassinete de Araújo Filho. SUDENE/CISAGRO - Hidrologia/
Modelização
- Nice Maria da Cunha Cavalcante. SUDENE/IICA - Hidrologia
- François Molle. SUDENE/COOPERAÇÃO FRANCESA - Dimensionamento/
Manejo de Água
- Carlos Henrique Cavalcanti de Albuquerque. SUDENE/CISAGRO - Com-
putação/Modelização
- Paulo Henrique Paes Nascimento. SUDENE/CISAGRO - Computação/
Modelização
- Marc Montgaillard. SUDENE/ORSTOM - Computação/Modelização
- Rosana Alves Soares. SUDENE/IICA - Digitação
- Edilton Mendes das Mercês. SUDENE. Desenhos

1 - PROBLEMÁTICAS DO DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento de uma barragem ou reservatório é uma operação complexa no qual são levados em consideração diversos parâmetros, dentre os quais destacam-se:

- a) Quantidade de água disponível: (variação sazonal e interanual dos escoamentos, das chuvas e das outras características climáticas).
- b) Características do local do barramento: volume máximo possível da barragem em função da topografia, e, relação entre o volume armazenável e o custo da obra.
- c) Finalidade e utilização potencial da obra, por exemplo: proteção de uma região contra as cheias, regularização de vazões, abastecimento de uma cidade, irrigação, etc.

No caso da irrigação, que constitui a finalidade principal deste manual, devem ser avaliados: a superfície máxima irrigável; a mão-de-obra disponível; o volume a ser armazenado para os abastecimentos humano e animal; o nível de garantia assumido, etc...

- d) Outros aspectos, tais como os impactos sociais, políticos e ambientais da obra: inserção da obra no contexto sócio-econômico regional, modificação do regime hidrológico causado pela represa, salinização futura da represa e do perímetro, etc...
- e) Aspectos técnicos e econômicos: tipos e custos da construção da barragem (terra, concreto) e da irrigação (aspersão, gotejamento, gravidade), capital disponível, etc...

Cada um desses elementos deve ser considerado como sendo um eventual fator limitante. Assim, a dimensão da obra será automaticamente limitada pelo volume máximo possível no local do barramento e/ou pelo capital disponível, etc...

Caso não haja, a priori, uma limitação evidente do tamanho da obra, propomos um método de dimensionamento hidrológico pressupondo que os únicos fatores limitantes provêm da quantidade de recursos hídricos disponíveis.

Em resumo, este método fornece limites superiores ao tamanho das barragens, os quais não devem ser ultrapassados para garantirem uma gestão racional dos recursos hídricos e econômicos disponíveis, a nível da bacia.

2 - ROTEIRO RESUMIDO DE DIMENSIONAMENTO DE PEQUENAS BARRAGENS

As principais etapas do método proposto para os cálculos de dimensionamento de barragens, são as seguintes:

A) DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-CLIMÁTICAS DA BACIA

a.1 - Características da Bacia Hidrográfica de Drenagem (BHD)

ETAPA 1

Determinação da Superfície(S), em km², da Bacia Hidrográfica de Drenagem (BHD), com mapa topográfico.

ETAPA 2

Classificação Hidro-Pedológica das unidades de solo da Bacia Hidrográfica de Drenagem (BHD).

Sub-etapa 2.1

Determinação de acordo com a Tabela 1, do valor de L₆₀₀(mm) de cada Unidade de Mapeamento de solo (UM) identificada no mapa pedológico. L₆₀₀ é a Lâmina escoada fictícia que corresponde ao escoamento médio de cada UM nas condições climáticas "padrões".

Sub-Etapa 2.2

Intervenção eventual de fatores corretivos.

2.2.1 - Cobertura vegetal: coeficiente CV que varia entre 0,5 e 2

2.2.2 - Presença de outros açudes: coeficiente CA que varia entre 0 e 1,5

2.2.3 - Outros fatores: - Rede hidrográfica de drenagem
- Relevo
- Geologia, etc...

Sub-Etapa 2.3

Cálculo de L₆₀₀ corrigida da BHD.

$$L_{600} \text{ da BHD} = \frac{\Sigma(L_{600} \text{ corrigida de cada UM} \times \text{Superfície de cada UM})}{\text{Superfície da BHD}}$$

ETAPA 3:

Caracterização do clima e da pluviometria.

Sub-Etapa 3.1

Estimativa do total pluviométrico anual: P(mm), com um mapa de isoietas..

Sub-Etapa 3.2

Determinação da zona climática e do coeficiente de correção climático (C), com o mapa da Figura 2.

B) DIMENSIONAMENTO DO VOLUME DA BARRAGEM**ETAPA 4**

Cálculo de $L(p)$ - Lâmina média anual escoada na bacia, pelo ábaco da Figura 3 ou pela fórmula:

$$L(p) = CL_{600} \times e^{A(P-600)}.$$

No Sertão tomar $C = 1$ e $A = 0,0033$.

ETAPA 5

Cálculo do volume médio anual escoado, pela fórmula:

$$Ve(m^3) = 1000 \times S(km^2) \times L(p)(mm)$$

ETAPA 6

Correção eventual, em função da utilização prevista da barragem e das características geométricas do local do barramento.

ETAPA 7

Resultado final: Determinação do volume da barragem em m^3 e de sua profundidade em m.

C) DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO

O dimensionamento do sangradouro requer a utilização dos resultados das Etapas 1 e 2.

ETAPA 8

Cálculo da descarga da cheia do projeto Qx em m³/s, pelas fórmulas:

$$\begin{aligned} Qx(\text{m}^3/\text{s}) &= 25 Sc^{0,58} \times Fc && \text{para } Sc > 5 \text{ km}^2 \\ Qx(\text{m}^3/\text{s}) &= 17 Sc^{0,8} \times Fc && \text{para } Sc < 5 \text{ km}^2 \end{aligned}$$

Sc é a superfície de contribuição de cheia, calculada pela fórmula:

$$Sc = S(\text{solo classe 3 e 4}) + 0,5 \times S(\text{solo classe 2}) + 0,1 \times S(\text{solo classe 1})$$

Fc é um fator de correção que pode variar entre 0,5 a 1,2.

ETAPA 9

Avaliação, eventual, dos riscos e das consequências da ruptura dos açudes situados a montante.

ETAPA 10

Amortecimento da cheia na represa.

ETAPA 11

Resultado final: Dimensionamento do sangradouro.

Esquema Geral de Dimensionamento de Acudes no Semi-Arido

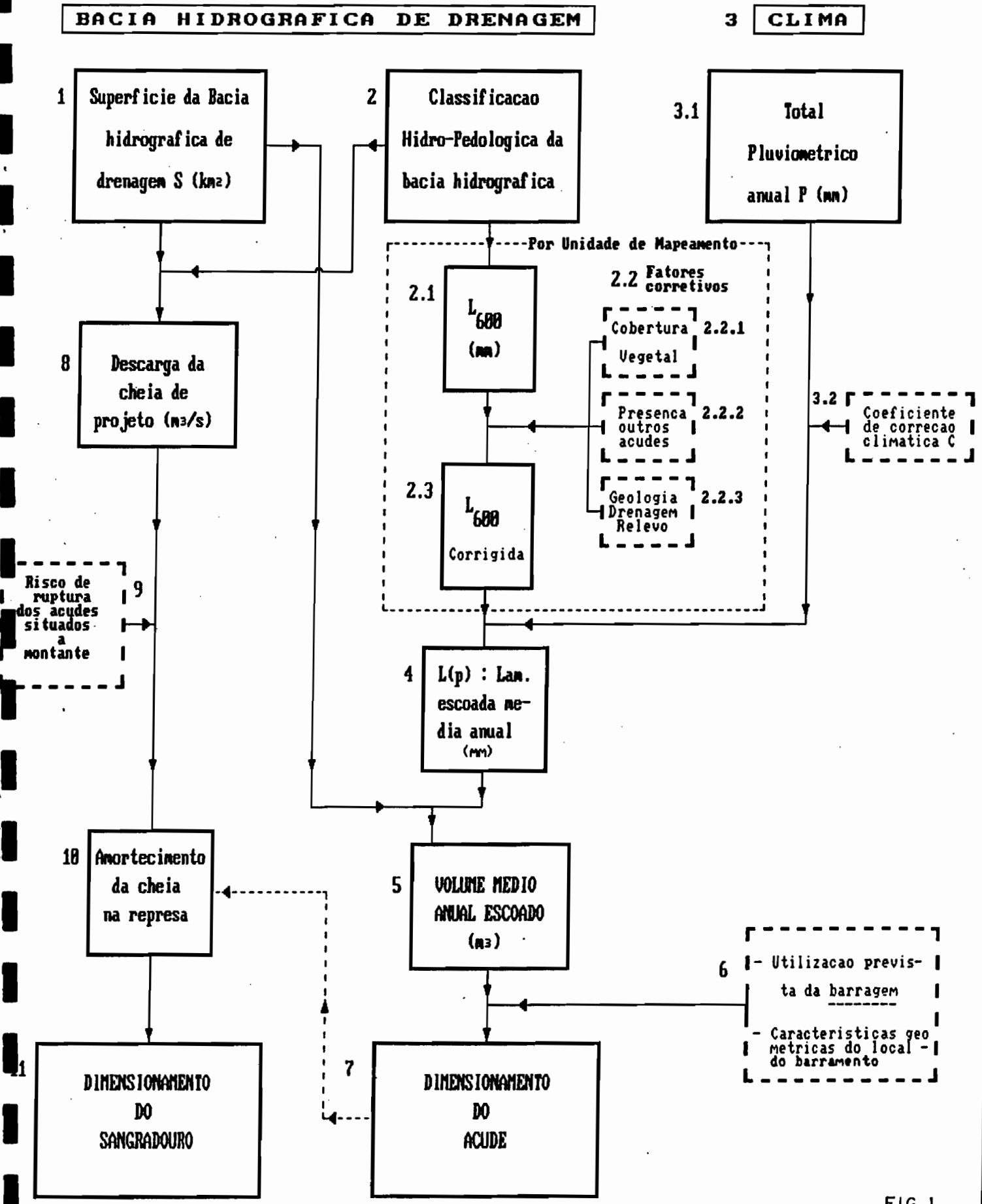


FIG. 1

3 - INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS

3.1 - FUNDAMENTOS E ALCANCE DO MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO HIDRO-PEDOLÓGICA

O método de classificação hidrológica proposto permite fornecer, rapidamente, uma avaliação dos recursos em água das pequenas bacias hidrográficas, com superfícies inferiores a 1000 km², nas zonas do Nordeste brasileiro com precipitação anual média inferior a 800 mm. Seu princípio consiste em classificar as unidades de solo da bacia "a ser avaliada", dentro do conjunto das Bacias Hidrográficas Representativas já estudadas, no Nordeste Semi-Árido.

Essa classificação está baseada na comparação e na analogia das características físico-climáticas e da vegetação.

A precisão dos resultados fornecidos por este método indireto é, evidentemente, inferior a de um estudo hidrológico clássico e completo da bacia; entretanto, deve-se levar em consideração o custo e a demanda de tempo (vários anos de observação) que o estudo clássico requer, quando o que necessitamos é de informações, em tempo hábil, para pequenos aproveitamentos hidráulicos.

Uma parte da caracterização pode ser realizada no escritório, com a documentação técnica disponível. No entanto, uma visita ao campo é indispensável e alguns estudos complementares poderão melhorar sensivelmente a precisão do dimensionamento.

3.2 - DOCUMENTOS NECESSÁRIOS

Deve-se reunir os documentos a seguir discriminados, relativos à Bacia Hidrográfica de Drenagem (BHD) e ao local do barramento:

- Mapa topográfico da BHD, na escala de 1:100.000 ou de maior precisão, se existir;
- Mapa, na escala de 1:500.000, do inventário hidrogeológico básico do Nordeste;
- Mapa pedológico e geológico da BHD, na escala mais precisa possível. Existem, para todos os Estados do Nordeste, levantamentos pedológicos exploratórios, cujas escalas variam entre 1:1.000.000 e 1:400.000;
- Mapa de isoietas da BHD, em 1:1.000.000 ou 1:2.500.000, segundo a zona.

- Fotografias aéreas ou imagens de satélites da BHD (indispensáveis, se a bacia for menor do que 10 km²);
- Todo e qualquer documento, estudo ou mapa, capaz de melhorar o conhecimento fisiográfico da BHD;
- Levantamento topográfico (detalhado ou semi-detalhado) da bacia hidráulica do futuro açude;
- Análise hidroquímica dos solos a serem irrigados e da água a ser utilizada, visando a avaliar os riscos de salinização.

Os mapas topográficos, pedológicos e uma avaliação do total anual das precipitações são absolutamente indispensáveis para aplicação do presente método.

3.3 - INFORMAÇÕES A SEREM COLETADAS NO CAMPO

O reconhecimento de campo é imprescindível e objetiva reunir vários tipos de informações, para complementar, confirmar e/ou modificar as conclusões do trabalho realizado em escritório. Os principais tópicos dessa etapa estão detalhados a seguir:

- a) Confirmação, no campo, do local previsto para a barragem, plotado no mapa ou nas fotos.
- b) Quando a bacia for muito pequena, a sua delimitação nos mapas e fotos deve ser respaldada com uma visita ao campo, a fim de que tenhamos um menor erro na determinação da superfície da B.H.D.
- c) Checagem das informações coletadas em escritório, sobre solo, vegetação, drenagem, etc., para aplicação dos eventuais fatores corretivos da classificação. A verificação, em campo, da coerência do mapa de solo com os solos efetivamente presentes é de **primeiríssima importância**, pois os solos da BHD constituem a base da classificação proposta.
- d) Inspeção dos açudes situados a montante do barramento previsto, avaliação de seus volumes e dos riscos de arrombamento. Uma atenção especial será dada no dimensionamento de seus vertedores.

- e) Coletar informações sobre o funcionamento dos açudes existentes na Região: relação entre volume máximo do açude e a superfície da B.H.D., anos nos quais receberam água ou sangraram; quais foram as ocorrências de arrombamento e suas razões, etc...
- f) Reunir o máximo possível de informações, no local, do futuro barramento; informar-se sobre o comportamento do riacho e o nível máximo atingido pelas cheias históricas, recolher amostras de água e de solo, etc.

A viagem ao campo poderá, evidentemente, ser aproveitada para realizar outros estudos preliminares do projeto, como, por exemplo: a construção da barragem e sua futura utilização.

4 - DESCRIÇÃO DETALHADA DAS ETAPAS

4.1 - AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE DA BACIA HIDROGRÁFICA DE DRENAGEM

E T A P A 1

a) Definir o local da barragem, determinar a linha de contorno da bacia hidrográfica de drenagem e calcular a sua superfície (S).

- Para áreas com menos de 5 km², utilizar fotografias aéreas ou mapa preciso (escala 1:50.000 ou 1:25.000);
- entre 5 e 25 km², utilizar mapas ou fotografias, conforme a nitidez do relevo nos documentos disponíveis;
- para áreas com mais de 25 km² pode-se usar mapas topográficos na escala de 1:100.000, cuja precisão é suficiente, em todos os casos.

Se houver condições para uma escolha entre diversas escalas de mapas, deve-se lembrar que o planímetro é o instrumento que apresenta maior precisão para medir superfícies médias entre 20 e 100 cm².

Em todos os casos é muito arriscado e ilusório tentar delimitar e avaliar superfícies de bacias que sejam, no mapa, inferiores a 1 cm², mesmo utilizando-se o método de "divisão e contagem" de pequenos quadrados.

b) Localizar os açudes existentes dentro da bacia e avaliar suas respectivas áreas de drenagem. Calcular, em seguida, a superfície ativa (S_A) da bacia estudada que corresponde à superfície total (S), diminuída da superfície controlada pelos açudes.

A avaliação dessas superfícies é fundamental. Ela permitirá o cálculo dos volumes escoados a partir das lâminas escoadas e o cálculo da vazão de pico da cheia do projeto.

4.2 - CLASSIFICAÇÃO HIDROLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DE DRENAGEM (B.H.D.)

E T A P A 2

A classificação hidrológica das bacias hidrográficas constitui, juntamente com a avaliação da superfície de drenagem e das precipitações, os três elementos fundamentais que permitem o cálculo dos volumes hídricos disponíveis e das vazões de pico das cheias.

Em primeiro lugar, deve ser efetuada uma classificação hidropedológica de cada uma das unidades de solo existentes na B.H.D.

Esta classificação permite estimar, diretamente, a partir de uma simples tabela, o valor central de L_{600} de cada unidade.

Os valores centrais propostos para os L_{600} de cada solo, foram determinados considerando-se as condições médias existentes atualmente no Sertão, para os principais fatores susceptíveis de influenciarem o escoamento. Esses fatores são, por exemplo, o estado da cobertura vegetal, o número de açudes, o relevo, a densidade de drenagem.

Quando um desses fatores atinge um valor que não pode ser considerado normal, devem ser averiguadas as causas e realizadas as correções.

Essa "intervenção de fatores corretivos" constituirá a sub-etapa 2.2 e será efetuada em função de critérios de apreciação mais subjetivos que na sub-etapa 2.1. Essas correções requererão, geralmente, a participação de técnicos que já possuem experiência na utilização do presente método.

4.2.1 - DETERMINAÇÃO DO L_{6000} DE CADA UNIDADE DE MAPEAMENTO PEDOLÓGICO (UM) DA B.H.D.

Sub-Etapa 2.1

4.2.1.1 - REGIMES HIDROLÓGICOS DAS PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

PRINCIPAIS REGIMES HIDROLÓGICOS DO NORDESTE SEMI-ÁRIDO

Esquemmatizando muito, o Nordeste semi-árido pode ser subdividido em três grandes zonas climáticas representadas na mapa da Figura 2.

- 1) O Sertão Norte, caracterizado por um período chuvoso único, centralizado nos meses de fevereiro a abril.
- 2) O Sertão Sul de regime pluviométrico mais complexo onde se observa, geralmente, dois períodos chuvosos: o primeiro centralizado sobre março-julho e o segundo sobre novembro-dezembro. No Sertão Norte e Sul, as fortes chuvas são geralmente de origem convectivas, apresentando fortes intensidades e durações relativamente curtas.
- 3) Numa zona de transição situada entre a zona litoral atlântica leste e o sertão, as precipitações são de dois tipos: algumas são de origem convectiva, como no Sertão, outras são oriundas de frentes chuvosas oceânicas atenuadas pela distância. Este segundo tipo de precipitação apresenta, geralmente, duração maior e intensidades menores que o primeiro e ocorrem durante o período de abril a agosto; são mais favoráveis para agricultura mas provocam, em média, escoamentos menores que as chuvas convectivas de mesma altura.

A grande maioria das bacias Hidrográficas utilizadas para a elaboração do presente método situam-se no Sertão Norte que constitui as zonas onde a classificação hidrológica foi realmente válida. A utilização deste método nas outras zonas deve ser feita de maneira tentativa, esperando estudos específicos para essas regiões.

Em termos geológicos, existem duas principais províncias:

- 1) As zonas de origem cristalinas cujo subsolo é, geralmente, impermeável e desprovido de aquífero generalizado. Nessas zonas os rios são sempre intermitentes pois, a parte principal dos escoamentos provém de escoamento de superfície, os escoamentos de base são, geralmente, de pouca importância e limitados a alguns dias depois das fortes cheias. Essas zonas serão, naturalmente, mais propícias à construção de açudes, primeiramente porque não existe outra forma de armazenar água e também, pela extrema irregularidade dos escoamentos.
- 2) As zonas de origem sedimentares, mais heterogêneas, onde existem geralmente aquíferos generalizados.

Existem dois principais tipos de zonas sedimentares:

- as chapadas, relíquias da cobertura sedimentar inicial do soco cristalino que foram poupadas pela erosão que se elevam acima das zonas cristalinas. As chapadas do Araripe e de Apodi são um bom exemplo desse tipo de formação.
- As provinciais sedimentares existentes em zonas onde o embasamento não foi superrelevado; nessas regiões os sedimentos cobrem grandes superfícies e existem aquíferos generalizados e de grande potencial. Essas zonas são, geralmente, desprovidas de açudes, pois são permeáveis (os açudes perderiam a água), os escoamentos superficiais são menores e os açudes sofreriam a concorrência dos poços.

IRREGULARIDADES DOS REGIMES

Os mecanismos de geração dos escoamentos acentuam a irregularidade das precipitações. Esta irregularidade constitui a principal característica do regime das pequenas Bacias Hidrográficas do Nordeste Brasileiro Semi-Árido, cujos rios são quase sempre intermitentes:

- Irregularidade Interanual dos escoamentos. Caricaturando, podemos dizer que, no Sertão, ou falta, ou sobra água e os escoamentos médios e intermediários são raramente observados.
Assim, o volume escoado atingindo um ano sobre três é da ordem do quádruplo do volume escoado garantido dois anos sobre três. Um ano sobre dez observam-se escoamentos seis vezes superiores ao valor garantido um ano sobre dois e cem vezes maior ao valor garantido nove anos sobre dez. Além do mais, observam-se períodos desastrosos de vários anos deficitários consecutivos, consequências das secas que abalam, com uma certa periodicidade, o Nordeste.
- Irregularidade sazonal dos escoamentos: os escoamentos estão distribuídos de uma forma muito irregular no decorrer do ano. 80 a 90% do volume anual escoam-se, geralmente, em menos de quinze dias. Essa irregularidade acentua-se ainda mais nos anos secos, nos quais a falta de água é ainda mais cruciante.
- Irregularidade no espaço: os escoamentos nas pequenas bacias no Semi-árido podem variar muito em função dos solos, da vegetação, da geologia e do relevo. Sem considerar os casos extremos, observamos frequentemente escoamentos variando numa relação de 1 a 5 entre diversos tipos de bacias. Esta irregularidade espacial é maior, evidentemente, nas pequenas BHD que podem ser mais heterogêneas.

Estas "irregularidades" justificam plenamente a construção e a utilização de açudes capazes de estocar estes efêmeros escoamentos.

INFORMAÇÕES QUANTITATIVAS

Indicamos a seguir algumas ordens de grandeza das principais características dos regimes hidrológicos.

Evidentemente, esses números simplificam e esquematizam muito a realidade, pois é impossível retratar com fidelidade uma zona tão vasta.

Escoamentos médios anuais

Nas zonas cristalinas, na região do Sertão e com uma pluviometria anual de 600 mm as lâminas escoadas anuais da média das bacias variam entre 35 e 45 mm, o que corresponde a coeficiente de escoamento anual de 6 a 8%. Entretanto, esse valor pode ser multiplicado ou dividido por um fator de 2, 3 ou 4, de acôrdo com as condições fisiográficas específicas locais.

Esse escoamento varia em função do total pluviométrico anual P de acordo com uma função exponencial do tipo $L(p) = L(600 \text{ mm}) \times e^{0,0033(P-600)}$, o que corresponde a um acréscimo (ou a uma diminuição) de 40% por cada 100 mm de acréscimo (ou de diminuição) do total pluviométrico anual P.

Nas zonas sedimentares e nas zonas de transição, observam-se escoamentos anuais menores; sua média é da ordem de grandeza da metade do observado no Sertão.

Irregularidade dos escoamentos

A Tabela seguinte ilustra a extrema irregularidade dos escoamentos anuais:

ESCOAMENTOS ANUAIS (mm)								
MÉDIA	FREQUÊNCIA DE ULTRAPASSAGEM (F)					ANOS SECOS CONSECUTIVOS		
	0,1	0,33	0,5	0,67	0,9	L3AC 4	L5AC 5	
18	31	10	5	0	0	2	3	
37	97	32	16	8	2,3 a 1	4	6	
74	230	76	38	19	5,4 a 2,3	7	13	

Definições:

- A lâmina escoada é uma lâmina de água fictícia que, se for repartida sobre toda a Superfície da Bacia Hidrográfica de Drenagem, teria o mesmo volume que o volume escoado. Essa lâmina pode ser comparada com a lâmina precipitada.

- Frequência de ultrapassagem (F): a lâmina de frequência de ultrapassagem de $F = 0,1$ (ou $1/10$) corresponde a lâmina que é atingida ou ultrapassada em média uma vez cada dez anos. Idem para $F = 0,33$ (ou $1/3$) mas, uma vez cada três anos, etc...

- Escoamentos em anos consecutivos: os valores proporcionados acima correspondem a valores dos escoamentos anuais médios observados durante o período de 3 anos secos consecutivos (L3AC) ou 5 anos secos consecutivos (L5AC) de período de retorno aproximado de 25 anos.

Nota-se que, o escoamento mediano ($F = 0,5$), ou seja, garantido um ano sobre dois é da ordem de grandeza da metade da média e que o escoamento médio anual da sequência de três anos consecutivos é da ordem de grandeza de 10% da média.

Nessas bacias o volume da cheia decenal pode ser da ordem de grandeza da lâmina média anual.

4.2.1.2 - ESCOLHA DO SOLO COMO FATOR PRINCIPAL DE CLASSIFICAÇÃO

As características hidrodinâmicas dos solos das bacias foram escolhidas como principais fatores de classificação das B.H.D., pelas razões seguintes:

- a) Nas regiões semi-áridas, a influência da vegetação e dos primeiros centímetros ou decímetros de solo, são preponderantes na repartição das águas da chuva, entre o escoamento de superfície e a infiltração (que é, muitas vezes, recuperada pela evapotranspiração).

- b) O solo é formado pela ação das intempéries climáticas sobre as rochas geológicas. Por esse motivo, o solo integra e encontra-se fortemente dependente das outras características fisiográficas, como: geologia, declividade, vegetação e clima.
- c) Existem, para todos os Estados do Nordeste, mapas pedológicos, cujas escalas variam entre 1:400.000 e 1:1.000.000. A listagem da Tabela Cadier - codificações utilizadas, foi obtida das unidades de mapeamento dos relatórios dos levantamentos exploratórios de solos de cada estado do Nordeste.

Esses mapas, poderão ser aproveitados para nossos objetivos de classificação hidropedológica, apesar da imprecisão oriunda de suas escalas e da definição aproximada das características hidrodinâmicas de suas principais unidades de solo.

4.2.1.3 - CÁLCULO DE L_{600} PARA CADA UNIDADE DE MAPEAMENTO DE SOLO

DEFINIÇÃO DA UNIDADE DE MAPEAMENTO PEDOLÓGICO (UM)

Nos mapas pedológicos existentes, os solos são, geralmente, cartografados por Unidade de mapeamento. Uma unidade de mapeamento delimita uma superfície na qual pode se encontrar um ou vários tipos de solos associados em proporções diversas.

Assim, na legenda do mapa pedológico do Estado do Ceará, a UM NC15 é definida como sendo uma associação de:

- Brunos Não Cálcicos Indiscriminados (NC ind.): fase pedregosa, relevo suave ondulado e ondulado mais solos Litólicos Eutróficos (Re): textura arenosa e média fase pedregosa e rochosa, relevo suave ondulado e ondulado substrato de gnaiss e granito mais Planossol Solódico (PL ind.): textura arenosa/média e argilosa fase relevo plano e suave ondulado mais Sololetz Solodizado (SS ind.): textura arenosa/média e argilosa, fase pedregosa relevo plano e suave ondulado, todos A fraco fase caatinga hiperxerófila.

As proporções dos diferentes componentes é de: (Ver definições no Anexo pedológico)

- 40% de NC ind.
- 25% de Re
- 20% de PL ind.
- 15% de SS ind.

CÁLCULO DA LÂMINA L₆₀₀

O coeficiente L₆₀₀ corresponde a uma lâmina fictícia que escoaria se o solo ou a Unidade de Mapeamento em estudo recebesse uma precipitação média anual de 600 mm, na zona climática padrão do Sertão.

A relação da Tabela 1, a seguir, indica os L₆₀₀ calculados para todas as unidades de mapeamento dos diversos mapas Estaduais.

O Anexo "Pedológico" proporciona indicações sobre os métodos utilizados para calcular o valor de L₆₀₀ de cada unidade de mapeamento a partir de seus solos componentes, e permitirá efetuar diretamente os cálculos de L₆₀₀ quando se dispõe de documentos pedológicos diferentes dos mapas Estaduais mencionados.

TABELA 1 (PROVISORIAMENTE INCOMPLETA)

Composição e valores de L₆₀₀ das Unidades de mapeamento*
(continua)

NOME DA ASSOCIAÇÃO DE SOLO	COMPONENTE 1	‡	COMPONENTE 2	‡	COMPONENTE 3	‡	COMPONENTE 4	‡	L ₆₀₀
Bahia									
AQd3	AQd	70‡	LVD	30‡					3.0mm
Ce10	Ce.med.arg.	30‡	Ce.raso	50‡	Ce.vert.	20‡			28.0mm
LEe4	LEe.med.arg.	45‡	Ce.med.arg.	35‡	Ce.raso	20‡			17.2mm
LVD12	LVD.med.arg.	100‡							10.0mm
LVD16	LVD.med.arg.	50‡	PE.med/arg.	30‡	SIPd.med.arg.	20‡			17.5mm
LVD10	LVD.med.arg.	60‡	LVD.med.arg.	40‡					10.0mm
LVD11	LVD.med.arg.	70‡	PE.med/arg.	30‡					14.5mm
LVD13	LVD.med.arg.	100‡							10.0mm
LVD14	LVD.med.arg.	100‡							10.0mm
LVD1	LVD.arg.	100‡							15.0mm
LVD20	LVD.med.	55‡	AQd	45‡					2.8mm
LVD22	LVD.med.arg.	60‡	PE.med/arg.	40‡					16.0mm
LVD2	LVD.arg.	100‡							15.0mm
LVD21	LVD.med.arg.	100‡							10.0mm
LVD7	LVD.arg.	100‡							15.0mm

* Trata-se das Unidades de mapeamento mencionadas nas legendas dos mapas pedológicos dos diversos Estados).

TABELA 1

Composição e valores de L₆₀₀ das Unidades de mapeamento
(continuação)

NOME DA ASSOCIAÇÃO DE SOLO	COMPONENTE 1	‡	COMPONENTE 2	‡	COMPONENTE 3	‡	COMPONENTE 4	‡	L ₆₀₀
PE12	PE.med/arg.	65‡	LVD.med.arg.	20‡	BV	15‡			23.8mm
PE13	PE.med/arg.	50‡	LVD.med.arg.	30‡	AQd	20‡			15.5mm
PE44	PE.plin.abr.	50‡	PE.lat.aren/med	30‡	LVD.pp.	20‡			24.0mm
PLSe20	PE.abr.	40‡	PLSe.ind.	60‡					52.0mm
PLSe19	PE.abr.	30‡	NC.plan.	20‡	PLSe.ind.	50‡			47.5mm
PLSe21	V	30‡	SS.ind.	15‡	PLSe.ind.	55‡			64.7mm
Rd1	Rd	50‡	AF	50‡					63.5mm
Rd2	Rd	25‡	AQd	25‡	LVD.med.	25‡	AF	25‡	33.0mm
REed1	REed	50‡	PLSe.ind.	30‡	Re	20‡			29.9mm
Zy	Ce	86‡	LVe	14‡					10.0mm
Ceará									
Ae3	PL.ind.	33‡	SH.ind.	33‡	Ae.ind.	34‡			72.9mm
AQd4	AQd	30‡	PE.plin.abr.	25‡	PE.med.	25‡	AQd	20‡	13.0mm
BV1	BV.trun.	55‡	Re	25‡	PE.arg.	20‡			49.7mm
BV2	PE.arg.	20‡	Re	35‡	BV.trun.	45‡			47.4mm
BV3	Re	20‡	NC.arg.	30‡	BV.trun.	50‡			48.5mm
NC11	Re	25‡	NC.arg.	35‡	NC.vert.	40‡			32.2mm
NC14	Re	30‡	NC.ind.	50‡	PL.ind.	20‡			43.6mm
NC15	NC.ind.	40‡	Re	25‡	PL.ind.	20‡	SS.ind.	15‡	56.8mm
NC3	Re	15‡	NC.arg.	50‡	PL.ind.	20‡	SS.ind.	15‡	56.8mm
NC7	Re	35‡	NC.arg.	40‡	NC.vert.arg.	25‡			34.0mm
NC9	Re	20‡	NC.vert.arg.	50‡	PL.ind.	30‡			40.9mm
PE10	PE.arg.	40‡	PE.abr.	30‡	PE.lat.arg.	30‡			33.4mm
PE11	PE.arg.	45‡	TRe.podz.arg.	30‡	Re.med.arg.	25‡			30.4mm
PE13	PE.arg.	65‡	LEe.podz.	35‡					25.8mm
PE16	TRe.podz.arg.	25‡	PE.arg.	40‡	PE.raso.arg.	35‡			31.5mm
PE17	PE.arg.	50‡	Re	20‡	NC.arg.	30‡			37.0mm
PE20	PE.arg.	45‡	Re	40‡	PE.raso.arg.	15‡			37.0mm
PE22	PE.arg.	50‡	Re	30‡	NC.ind.	20‡			37.0mm
PE23	PE.arg.	50‡	PE.raso.arg.	30‡	Re	20‡			37.0mm
PE26	PE.arg.	40‡	Re	35‡	NC.arg.	25‡			37.0mm
PE27	PE.arg.	45‡	Re	20‡	NC.arg.	35‡			37.0mm
PE29	PE.abr.	55‡	Re	25‡	NC.vert.arg.	20‡			28.0mm
PE30	PE.abr.	50‡	PE.arg.	20‡	Re	30‡			31.0mm
PE32	PE.plin.abr.	40‡	PE.arg.	25‡	PL.ind.	20‡	LHd.arg.	15‡	56.8mm
PE36	PE.plin.abr.	45‡	LVe.podz.med.	35‡	PE.arg.	20‡			25.8mm
PE38	PE.raso	35‡	Re	30‡	PE.arg.	20‡	NC.med.	15‡	37.0mm
PE39	PE.abr.	25‡	PE.raso.abr.	40‡	Re	35‡			34.0mm
PE4	PE.arg.	55‡	PE.arg.	25‡	Re	20‡			37.0mm
PE42	PE.raso.abr.	70‡	REe.frag.	30‡					27.4mm
PE6	PE.arg.	40‡	PE.arg.	30‡	Re.med.arg.	15‡	AF	15‡	45.0mm

TABELA 1

Composição e valores de L₆₀₀ das Unidades de mapeamento
(continuação)

NOME DA ASSOCIAÇÃO DE SOLO	COMPONENTE 1	%	COMPONENTE 2	%	COMPONENTE 3	%	COMPONENTE 4	%	L ₆₀₀
PE8	PE.arg.	45%	PE.arg.	35%	Re	20%			37.0MM
PE9	PE.arg.	45%	Re	35%	BV.trun.	20%			41.6MM
PL1	PE.raso.abr.	15%	PL.ind.	50%	SS.ind.	35%			84.3MM
PL3	PL.ind.	50%	SS.ind.	30%	AF	20%			90.5MM
PL4	Re	20%	PL.ind.	50%	SS.ind.	30%			79.9MM
PL6	Re	20%	PL.ind.	45%	SS.ind.	35%			82.6MM
Re11	Re	45%	Re	40%	PE.arg.	15%			37.0MM
Re18	Re	35%	NC.ind.	30%	PL.ind.	20%	SS.ind.	15%	56.8MM
Re19	Re	55%	NC.ind.	30%	PL.ind.	15%			41.9MM
Re23	Re	60%	PE.arg.	25%	AF	15%			45.0MM
Re25	Re	60%	PE.arg.	25%	AF	15%			45.0MM
Re26	Re	50%	AF	50%					63.5MM
Re5	Re	60%	PE.arg.	40%					37.0MM
Re6	Re	65%	PE.raso.arg.	35%					37.0MM
Re8	Re	45%	NC.arg.	30%	AF	25%			50.3MM
Re9	Re	40%	Re	30%	PE.arg.	30%			37.0MM
Red10	Red	45%	AF	35%	SS.ind.	20%			73.2MM
REd1	REd.frag.	100%							5.0MM
Red11	Red	45%	NC.arg.	35%	PL.ind.	20%			43.6MM
REd2	REd.frag.	55%	SS.aren.med.	25%	AF	20%			52.0MM
Red5	Red	50%	PE.arg.	20%	NC.ind.	30%			37.0MM
Red9	Red	65%	NC.arg.	20%	SS.ind.	15%			50.2MM
REe3	REe	80%	AF	20%					20.4MM
Paraíba									
Ce1	Re.arg.	40%	Ce.lat.med.	60%					17.8MM
Ce2	Re	25%	PE.orto	25%	Ce.lat.med.	50%			21.0MM
NC1	Re	40%	NC	60%					37.0MM
PE2	PE.orto	100%							37.0MM
PE3	PE.orto	55%	Re	45%					37.0MM
PE6	PE.med.	55%	Re	30%	AF	15%			32.9MM
Re1	Re.med.	100%							37.0MM
Re18	Re	50%	AF	50%					63.5MM
Re2	Re.med.	100%							37.0MM
Re5	Re	85%	AF	15%					45.0MM
Pernambuco									
AQd1	AQd	100%							0.0MM
Ce2	Re	25%	PE.orto	25%	Ce.lat.med.	50%			21.0MM
LVd12	LVd.ind.hum.	100%							15.0MM
LVe2	LVe.med.	60%	PE.orto	40%					17.8MM

TABELA 1

Composição e valores de L₆₀₀ das Unidades de mapeamento
(continuação)

NOME DA ASSOCIAÇÃO DE SOLO	COMPONENTE 1	%	COMPONENTE 2	%	COMPONENTE 3	%	COMPONENTE 4	%	L ₆₀₀
NC2	Re	35%	NC	40%	NC.vert.	25%			34.0mm
NC6	NC.plan.	55%	BV	45%					30.4mm
NC7	NC.plan.	70%	V	30%					25.0mm
NC8	Re	20%	NC	30%	NC.vert.	50%			31.0mm
PE1	PE.orto	100%							37.0mm
PE10	PE.med.	100%							15.0mm
PE11	Re	30%	AF	20%	PE.med.	50%			36.6mm
PE14	PE.arg.	55%	Re.med.	25%	AF	20%			47.6mm
PE17	PE.arg.	60%	Re.med.	40%					37.0mm
PE19	LVe.med.	25%	SC.ind.	25%	PE.med.	50%			12.5mm
PE3	PE.orto	50%	PE.arg.	35%	NC.plan.	15%			35.2mm
PE5	PE.orto	60%	Re	20%	REe.frag.	20%			30.6mm
PE6	PE.abr.arg.	70%	Re	30%					37.0mm
PE7	PE.plin.abr.	100%							37.0mm
PE9	PE.med.	60%	PE.arg.	40%					23.8mm
PL1	PL	100%							70.0mm
PL10	Re	35%	AF	20%	PL	45%			62.5mm
PL2	Re	40%	AF	15%	PL	45%			59.8mm
PL3	NC.vert.	35%	PL	65%					54.3mm
PL4	Re	20%	NC	30%	PL	50%			53.5mm
PL7	Re	25%	NC.vert.	30%	PL	45%			48.2mm
PV3	PE.orto	100%							37.0mm
Rd1	Rd.aren.	100%							37.0mm
Rd2	Rd.aren.	50%	AQd	50%					18.5mm
Re10	Re	50%	AF	50%					63.5mm
Re4	Re	40%	REe.frag.	35%	PL	25%			34.1mm
Re5	Re	40%	AF	30%	PE.med.	30%			46.3mm
Re7	Re	40%	AF	25%	PL	35%			61.8mm
Re9	Re	50%	AF	50%					63.5mm
REe1	REe.frag.	100%							5.0mm
REe2	Re	30%	AF	20%	REe.frag.	50%			31.6mm
REe3	REe.frag.	35%	PE.med.	35%	Re	30%			18.1mm
REe5	REe.frag.	40%	AF	30%	SS.ind.	30%			66.5mm
REe8	Re	25%	REe.frag.	55%	SS.ind.	20%			37.0mm

TABELA 1

Composição e valores de L₆₀₀ das Unidades de mapeamento
(conclusão)

NOME DA ASSOCIAÇÃO DE SOLO	COMPONENTE 1	%	COMPONENTE 2	%	COMPONENTE 3	%	COMPONENTE 4	%	L ₆₀₀
SS2	Re	25%	NC.vert.	35%	SS.ind.	40%			68.0mm
V1	V	100%							25.0mm
V2	V	100%							25.0mm
Rio Grande e do Norte									
Ae4	SH.ind.	30%	Ae.ind.	70%					55.0mm
Ce1	Ce.arg.	70%	Re.med.arg.	30%					37.0mm
Ce4	Ce.arg.	55%	LVe.arg.	30%	Re.med.arg.	15%			30.4mm
LVD1	LVD.arg.	100%							15.0mm
LVD3	LVD.med.	100%							5.0mm
LVe2	LVe.podz.med.	40%	AQd	30%	PE.lat.med.	30%			6.5mm
NC1	Re	30%	NC	70%					37.0mm
NC2	PE.med.	35%	Re	20%	NC	45%			29.3mm
NC3	PE.med.	25%	Re	35%	NC	40%			31.5mm
NC4	PE.raso.med.	35%	Re	25%	NC	40%			37.0mm
PE1	LVe.cam.arg.	15%	PE.orto	60%	Re	25%			33.7mm
PE2	PE.med.	60%	PE.raso.med.	40%					23.8mm
PE3	Re	30%	PE.med.	40%	NC	30%			28.2mm
PE4	PE.med.	45%	PE.raso.med.	30%	NC	25%			27.1mm
PE5	PE.raso.med.	30%	Re	20%	REe.frag.	25%	NC	25%	29.0mm
PE6	PE.abr.med.	50%	LVe.podz.med.	30%	AQd	20%			9.0mm
Rel3	Re	50%	NC.vert.	30%	V	20%			31.0mm
Rel5	PE.raso.med.	35%	Re	50%	AF	15%			45.0mm
Rel6	Re	50%	AF	50%					63.5mm
Re4	Re.med.	60%	NC	40%					37.0mm
Re6	Re	60%	NC.vert.	40%					32.2mm
REe2	PE.raso.med.	30%	Re	20%	REe.frag.	50%			21.0mm
SS1	SS.ind.	100%							125.0mm

4.2.2 - CORREÇÕES DE L₆₀₀

Sub-Etapa 2.2

As correções de L₆₀₀ só deverão ser realizadas quando forem detectadas anomalias nos fatores corretivos, em relação aos valores padrões atuais. Elas serão efetuadas em função de critérios de apreciação mais subjetivos que na etapa anterior e requererão uma visita ao campo e uma certa experiência para a avaliação do peso real a ser atribuído a cada fator corretivo.

4.2.2.1 - INFLUÊNCIA DA COBERTURA VEGETAL

Sub-Etapa 2.2.1

CONDIÇÕES PADRÕES ATUAIS DA COBERTURA VEGETAL

Os valores de L_{600} propostos no parágrafo anterior correspondem a situações médias ou centrais da cobertura vegetal, nas condições médias atuais do Semi-Árido Nordeste, as quais são intermediárias entre uma cobertura plena e um desmatamento total.

INFORMAÇÕES QUANTITATIVAS DISPONÍVEIS DA INFLUÊNCIA DA COBERTURA VEGETAL SOBRE O ESCOAMENTO

Dispõe-se, na realidade, de pouquíssimas informações da influência quantitativa da vegetação sobre o escoamento.

A nível de pequenas parcelas e microbacias de superfícies entre 100 m² e 1 ha, ^{Barnes,} ~~Silva~~ e alii (1989) mostraram que, para coberturas pedológicas de Regossolo (RE) e de solo Bruno Não Cálcico (NC), os escoamentos podem aumentar até cinco vezes, quando a cobertura vegetal alterna entre a caatinga nativa, bem conservada (que assegura uma proteção máxima ao solo) e o desmatamento total (solo descoberto).

Na Bacia Experimental de Sumé (PB), estudando o comportamento de 4 microbacias cobertas com solos Bruno Não Cálcicos Vérticos, equipes da SUDENE, da UFPE e do ORSTOM, evidenciaram um acréscimo de sete vezes para o valor L_{600} , elevando-o de 9 mm para 65 mm, depois do desmatamento de duas microbacias. Nessas mesmas microbacias, após terem sido submetidas a três anos de erosão intensiva que eliminou as camadas superiores dos solos, o valor de L_{600} subiu para 180 mm, ou seja, os valores iniciais foram multiplicados por um fator 20. Lembramos que o L_{600} proposto no parágrafo anterior para o solo Bruno Não Cálcico Vértico é de 25 mm.

Na Bacia Hidrográfica Experimental de Tauá (CE), as equipes da SUDENE, da UFCE e do ORSTOM evidenciaram variações de L_{600} da ordem de 40% a 50% para as bacias de superfícies de 1 a 10 km², em função do estado da cobertura vegetal.

Estes números mostram a influência muito forte que pode ter a cobertura vegetal. Entretanto, devemos ressaltar que essas variações correspondem a experimentações que implicaram, geralmente, em um desmatamento total, raramente observado em bacias maiores.

COEFICIENTE CORRETIVO CV PROPOSTO

No caso de uma pequena bacia e para os grupos de solos 1, 3, 4.1 e 4.2, propomos multiplicar o valor de L_{600} por um fator de correção CV, que poderá variar entre 0,5 e 2, segundo o grau de conservação ou de deterioração da vegetação. No entanto, recomendamos não utilizar valores de CV inferiores a 0,75 ou superiores a 1,5, salvo em casos extremos.

Faltam ainda informações mais precisas sobre a influência da cobertura vegetal para os solos dos grupos 1, 2 e 4.3 a 4.6. Entretanto, supomos que a mesma seja menor. Podemos propor, como tentativa, para esses casos, valores de CV entre 0,75 e 1,5.

RESUMO DA CORREÇÃO PELA VEGETAÇÃO

Fórmula de correção: L_{600} corrigida = CV x L_{600}

VALORES DO COEFICIENTE DE CORREÇÃO CV

Grupo ou Sub-grupo de Solo	Estado da Cobertura Vegetal*	Extremamente bem Conservado	Bem Conservado	Ocupação normal	Muito degradado	Extremamente degradado
3, 4.1 e 4.2		0,5	0,75	1	1,5	2
1,2 e 4.3 a 4.6		(0,75)	(0,88)	1	(1,25)	(1,5)

* Deve-se considerar, sobretudo, o grau de proteção de cobertura do solo e da interceptação da chuva causada pela vegetação. Assim, um pasto em bom estado, ou seja, onde as plantas criam uma camada fechada que protege totalmente o solo, pode ser considerado como uma unidade bem conservada, pois é equivalente, em termos de interceptação de chuva, a uma caatinga nativa. As zonas de solo nú, desprovido de cobertura vegetal e compactado, devem ser consideradas como muito degradadas.

4.2.2.2 - CORREÇÃO PELA PRESENÇA DE OUTROS AÇUDES A MONTANTE DO LOCAL DA REPRESA

Sub-Etapa 2.2.2

CONDIÇÕES PADRÕES ATUAIS DE DENSIDADE DE AÇUDES

Os valores de L_{600} propostos foram estabelecidos para as condições atuais das grandes bacias estudadas, nos quais se pode considerar que os açudes existentes a montante já controlam, em média, 30 a 50% da superfície das bacias, com um volume total de armazenamento da ordem de 25 a 50% do volume natural médio escoado. Nesse caso, não se deve efetuar correções.

INFORMAÇÕES QUANTITATIVAS EXISTENTES

Estudos realizados pela SUDENE, UFCE e o ORSTOM na Bacia Hidrográfica Representativa de Tauá (CE), evidenciaram uma diminuição de mais de 50% de L_{600} , entre as bacias hidrográficas elementares desprovidas de açudes e a bacia maior de 180 km², contendo 30 açudes.

Girard (1968) e Dubreuil (1971) avaliaram, na Bacia do Vale do Jaguaribe, a lâmina equivalente ao total armazenável em 18 mm, ou seja, perto de 40% do escoamento médio.

Esses pesquisadores evidenciaram, também, numa bacia hidrográfica teste de 2.000 km², uma diminuição de 32% do escoamento médio, provocado pela construção de numerosos reservatórios suscetíveis de armazenarem uma lâmina total de 37 mm, ou seja, 42% do escoamento médio. Um simples cálculo mostra que essa diminuição de 32% corresponde a um coeficiente CA de 1,47.

COEFICIENTE CORRETIVO (CA) PROPOSTO

Da mesma maneira que para a vegetação, devemos considerar um fator corretivo CA, que dependerá das características dos açudes já existentes na bacia de alimentação.

Esse coeficiente varia, normalmente, entre 1 e 1,5, podendo, excepcionalmente, ser inferior a 1, quando o número e o volume dos açudes situados a montante são extremamente elevados. Nesse caso, recomenda-se a realização de um estudo específico.

RESUMO DA CORREÇÃO PELA PRESENÇA DE AÇUDE

Fórmula de correção: L_{600} corrigida = CA x L_{600}
Valores do coeficiente de correção CA

Densidade de Açudes	Muito forte, superior a 0,5 ac/km ² * ou presença de açude muito grande	Normal**	Nula
Coeficiente de Correção CA	< 1	1	1,5

* Necessidade de realizar um estudo específico,

** Volume total dos açudes da ordem de 40% do volume anual escoado; densidade entre 0,25 e 0,5 açude por km².

((Frisamos a imperiosa necessidade de multiplicar por 1,5 as lâminas L_p calculadas para pequenas bacias perto das cabeceiras e desprovidas de açudes.

4.2.2.3 - INTERVENÇÃO DE OUTROS FATORES CORRETIVOS

Sub-Etapa 2.2.3

Como já foi explicado, a classificação por grupo de solo, integra e depende de muitos outros fatores: natureza geológica do sub-solo, influência do clima, do relevo, etc...

Entretanto, um pedólogo experimentado pode estimar eventuais anomalias no comportamento hidrodinâmico de um determinado solo, em relação ao comportamento mediano que se deveria esperar desse solo no contexto do seu grupo ou sub-grupo.

Essas correções só deverão ser realizadas no caso de anomalias visíveis, tais como:

- presença de depressões ou de bancos de areia suscetíveis de reterem uma parte do escoamento, sobretudo quando estão situados na parte inferior das toposequências ou dos rios.
- Densidade de drenagem ou relevo excepcionais que podem modificar o escoamento em relação com o que se poderia esperar através do tipo de solo identificado.

Pode-se, também, nesse caso, efetuar correções dos valores de L_{600} dos solos suscetíveis a muitas variações.

Assim, a L_{600} dos aluviões, cujo valor central foi fixado em 25 mm, pode variar, na realidade, entre 0, no caso de aluviões arenosos, e mais de 100 mm, no caso de aluviões argilosos.

O valor central de L_{600} dos Planossolos que foi fixado em 70 mm, pode diminuir consideravelmente quando o horizonte A arenoso for muito espesso. Essa diminuição é agravada pelo fato de que os Planossolos mais espessos e suscetíveis de maior intercepção de água, encontram-se na parte baixa da toposequência.

A L_{600} dos afloramentos de rocha que foi fixada em 90 mm, pode, também, variar muito, em função da permeabilidade e da espessura do solo situado embaixo dos afloramentos e da superfície efetivamente coberta pelos afloramentos.

Frisamos, novamente, que a realização dessa etapa relativa a "outros fatores corretivos" precisaria ser, na medida do possível, evitada e que só deveria ser realizada por pedólogos já experimentados na aplicação do presente método de classificação.

4.2.3 - CÁLCULO DO VALOR DE L₆₀₀ CORRIGIDA DA BHD

O valor da lâmina L₆₀₀ corrigida de toda a BHD é a média ponderada dos L₆₀₀ de cada Unidade de Mapeamento (UM) por suas superfícies. Utilizar a fórmula seguinte:

$$L_{600} \text{ da BHD} = \frac{\sum (L_{600} \text{ corrigida de cada UM} \times \text{Superfície de cada UM})}{\text{Superfície da BHD}}$$

4.3 - AVALIAÇÃO DO CLIMA

E T A P A 3

4.3.1 - DETERMINAÇÃO DO TOTAL ANUAL MÉDIO DAS PRECIPITAÇÕES APARTIR DO MAPA DE ISOIETAS

Sub-Etapa 3.1

Esta avaliação pode ser efetuada a partir do mapa de Isoietas em fase de publicação pela SUDENE ou por qualquer outro mapa local disponível.

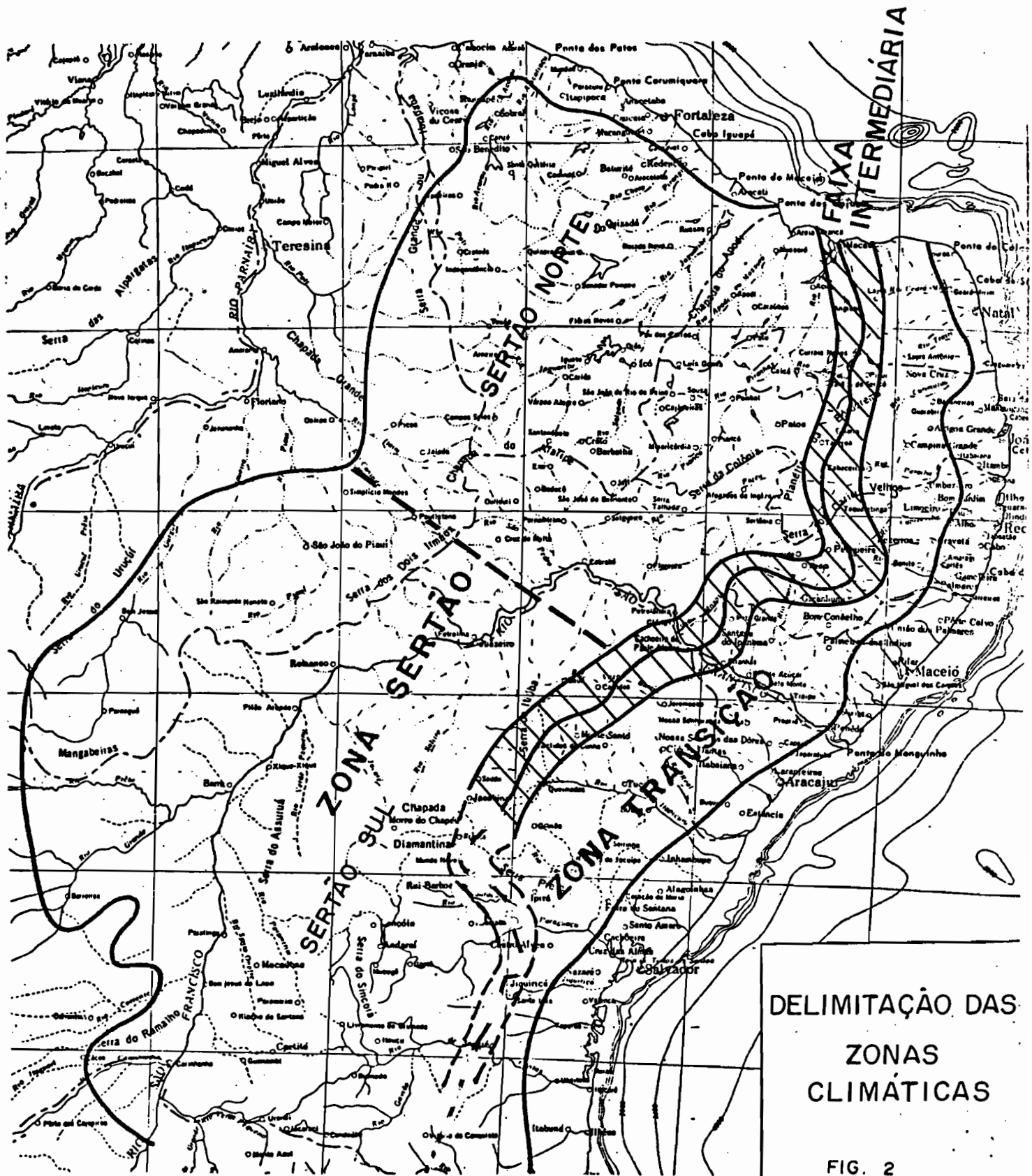
É possível, também, avaliar diretamente a precipitação média na bacia, partindo de postos pluviométricos de boa qualidade e de longa duração, instalados na região. Esta avaliação direta representa um trabalho suplementar e só será justificada quando a precisão do mapa de isoietas se mostra visivelmente insuficiente, como por exemplo, nas zonas de forte variação pluvial.

Nas bacias menores, quando os gradientes pluviométricos não são elevados, pode-se admitir que todas as unidades de solo da bacia recebem a pluviometria anual P.

Caso contrário, as isoietas que interessam a B.H.D., deverão ser traçadas. O cálculo da pluviometria média deverá ser realizado para cada unidade de solo, seja por planimetragem, seja efetuando um cálculo simplificado, aplicando-se a fórmula:

$$P_i = \frac{P_{\max_i} + P_{\min_i}}{2}$$

Quando a diferença entre P_{max} e P_{min} é superior a 300 mm, a unidade de solo deve ser subdividida em duas partes pela isoietas média e os cálculos da chuva média deverão ser realizados, separadamente, para cada sub-unidade..



4.3.2 - DETERMINAÇÃO DA ZONA CLIMÁTICA E DO COEFICIENTE DE CORREÇÃO CLIMÁTICA C

Sub-Etapa 3.2

A delimitação dessas zonas corresponde a zonas globalmente homogêneas em relação à distribuição estatística de fortes precipitações em 24 h. Assim, para uma mesma frequência, as fortes chuvas em 24 h na zona "SERTÃO", são maiores que na zona "TRANSIÇÃO". Isso induz a um comportamento hidrológico diferente.

O coeficiente climático C vale 1 no centro da zona "SERTÃO" e 0,4 no centro da zona "TRANSIÇÃO".

Admite-se que o coeficiente C varia progressivamente de 1 para 0,4, quando se passa de uma zona para outra. Esta faixa intermediária, que foi delimitada no gráfico 2, possui uma largura de, aproximadamente, 50 km, e a ela se adaptará uma variação contínua e linear de C.

4.4 - CÁLCULO DA LÂMINA ESCOADA L(P)

E T A P A 4

A lâmina parcial de cada unidade de solo U_i pode ser calculada a partir de L_{600} corrigida, da precipitação média P e do coeficiente climático C, sendo S_i a superfície ocupada pela unidade de solo U_i e S a superfície total da BHD.

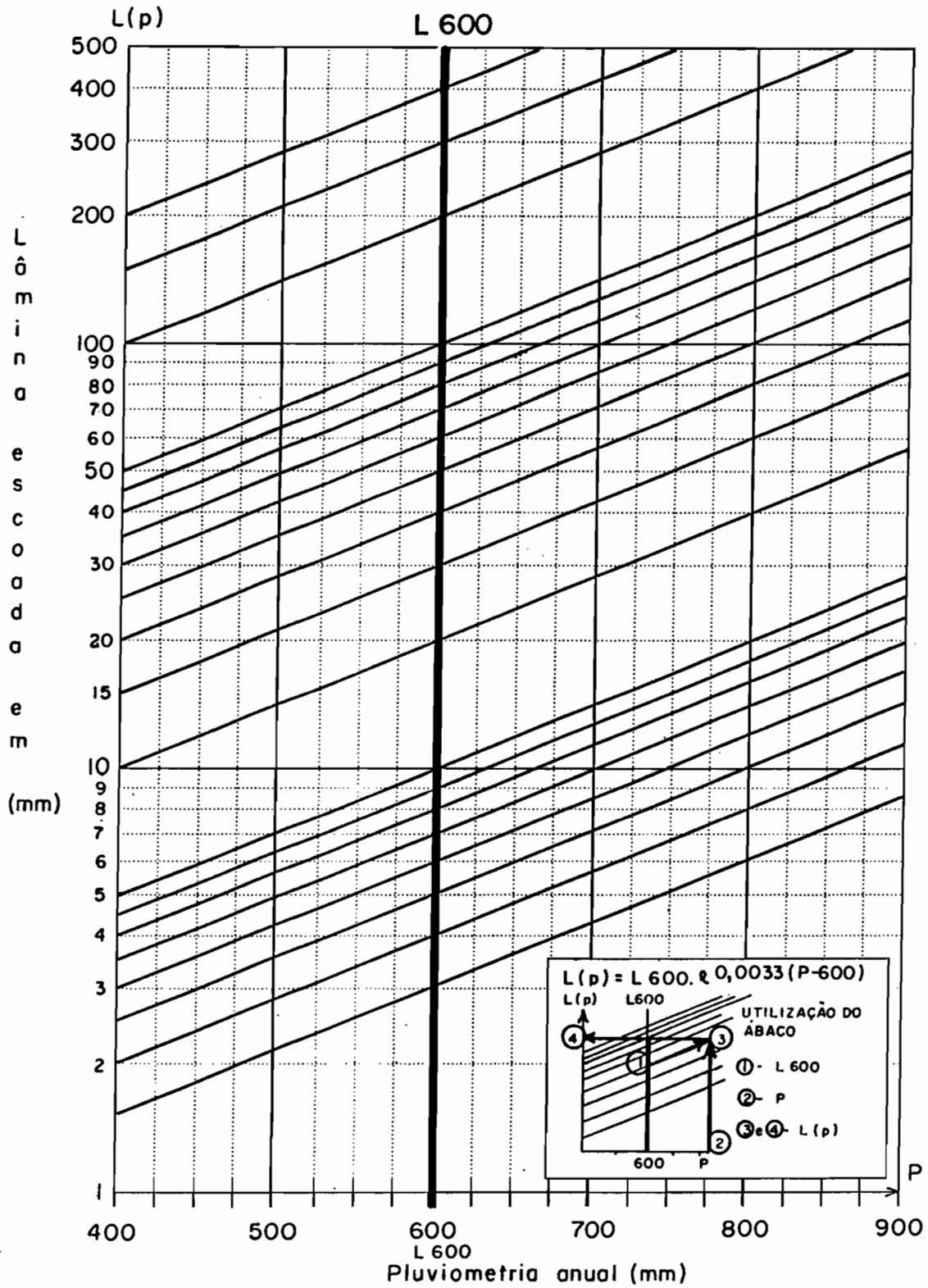
O cálculo utiliza o ábaco da Figura 3 ou a seguinte fórmula:

$$l_i = \frac{S_i}{S} \times L_{600} \text{ corrigida} \times C \times e^{A(P - 600)}$$

A vale, normalmente, 0,0033

VALORES DO COEFICIENTE A		
CASO GERAL	ZONA DE TRANSIÇÃO OU BACIA MUITO HETEROGÊNEA	BACIA COM $L_{600} > 100\text{mm}$
0,0033	0,0040	0,0025

FIG. 3. CÁLCULO DA LÂMINA ESCOADA ANUAL



A lâmina escoada $L(p)$ pode ser calculada posteriormente através do somatório das lâminas parciais l_i de todas as unidades de solo.

$$L(p) = \sum_1^n l_i$$

4.5 - CÁLCULO DO VOLUME MÉDIO ESCOADO

E T A P A 5

O volume escoado médio anual Ve (em m^3) é calculado pela fórmula:

$$Ve = S \times L(p) \times 1000$$

onde: S é a superfície da Bacia Hidrográfica de Drenagem em km^2

$L(p)$ é a lâmina escoada média em mm.

EXEMPLO DE CÁLCULO

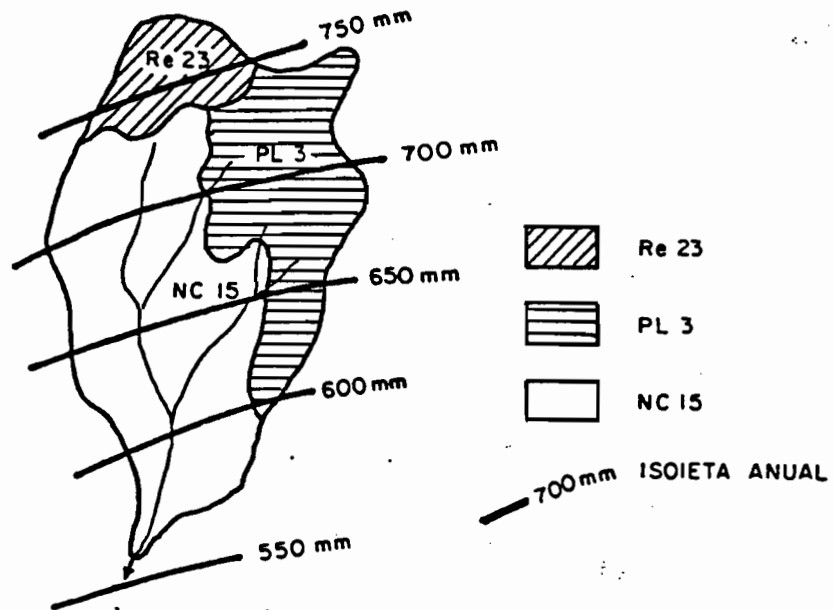
CARACTERÍSTICAS PEDOLÓGICAS E PLUVIOMÉTRICAS DA BACIA

Tomando o caso de uma pequena bacia de $48 km^2$, situada no Ceará e constituída das unidades de mapeamento pedológico seguintes:

Superfície do mapeamento pedológico	Unidade de Mapeamento	Composição em %		Precipitação (mm)
32 km^2	NC 15	NC.ind-40%	Re-25%	650
		PL.ind 20%	SS.ind-15%	
10 km^2	PL 3	Pl.ind-50%	SS.ind-30%	700
		Af-20%		
6 km^2	Re 23	Re-60%	PE.Arg.-25%	750
		Af-15%		

NC 15, PL 3 e Re 23 representam associações de solo ou unidade de mapeamento definidas na legenda do mapa pedológico do Ceará. NC 15, por exemplo, é constituída de 40% de NC.ind, de 25% de Re, 20% de PL e 15% de SS. Na Bacia escolhida como exemplo, o total pluviométrico anual médio na unidade NC 15 é estimado em 650 mm de acordo com as isoietas.

FIG. 4
EXEMPLO DE UNIDADE DE SOLO E DE ISOIETAS
NUMA BHD



CÁLCULO DE $L(p)$

A Tabela do parágrafo 4.2.1.2, fornece os seguintes valores de L_{600} das diversas unidades de mapeamento:

$$\begin{aligned} L_{600} \text{ (NC 15)} &= 56,8 \text{ mm} \\ L_{600} \text{ (PL3)} &= 90,5 \text{ mm} \\ L_{600} \text{ (Re 23)} &= 45,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

$L(p)$ (NC 15), lâmina corrigida para uma pluviometria média P de 650 mm da Unidade de Mapeamento, é calculada através da fórmula seguinte, admitindo um coeficiente A de 0,0033:

$$L(p) \text{ (NC 15)} = L_{600} \times e^{A(P-600)} = 45,0 \times e^{0,0033(650-600)} = 66,9 \text{ mm}$$

Cálculos análogos forneçam:

$$L(p) \text{ (PL3)} = L_{600} \text{ (PL3)} \times e^{0,0033 \times (700-600)} = 126 \text{ mm}$$

$$L(p) \text{ (Re23)} = L_{600} \text{ (Re23)} \times e^{0,0033 \times (750 - 600)} = 73,8 \text{ mm}$$

CÁLCULO DO L(p) MÉDIO E DO VOLUME ESCOADO

$$L(p) = \frac{66,9\text{mm} \times 32\text{km}^2}{48\text{km}^2} + \frac{126\text{mm} \times 10\text{km}^2}{48\text{km}^2} + \frac{73,8\text{mm} \times 6\text{km}^2}{48\text{km}^2} = 80 \text{ mm}$$

$$\text{Volume médio anual escoado} = \frac{94}{80} \text{mm} \times 48\text{km}^2 \times 1000 = 3.840.000 \text{ m}^3$$

OBS: Aproveitamos este exemplo para mostrar como foi determinado o L_{600} de cada unidade de mapeamento. A Tabela do parágrafo 4.2.1.2., fornece, por exemplo, para a unidade NC 15 as proporções de solo seguintes:

NC.ind:	$L_{600} = 37 \text{ mm}$
Re:	$L_{600} = 37 \text{ mm}$
Pl.ind:	$L_{600} = 70 \text{ mm}$
SS.ind:	$L_{600} = 125 \text{ mm}$

O valor de L_{600} da unidade de solo NC 15 deve ser calculado pela fórmula seguinte:

$$L_{600} = \frac{37 \times 40\% + 37 \times 25\% + 70 \times 20\% + 125 \times 15\%}{100} = 56,8\text{mm}$$

(Os valores de L_{600} de cada solo: 37 mm, 37 mm, 70 mm e 125 mm são extraídos da Tabela 1 no Anexo pedológico).

Cálculos análogos fornecem para as unidades PL3 e Re 23:

$$L_{600}(\text{PL3}) = (70 \text{ mm} \times 50\% + 125 \times 30\% + 90 \times 20\%)/100 = 90,5\text{mm}$$

$$L_{600}(\text{Re23}) = (37 \text{ mm} \times 60\% + 37 \times 25\% + 90 \times 15\%)/100 = 45,0\text{mm}$$

4.6 - UTILIZAÇÃO PREVISTA DA BARRAGEM (em elaboração)

E T A P A 6

4.7 - DIMENSIONAMENTO DO ACUDE (em elaboração)

E T A P A 7

4.8 - CÁLCULO DA CHEIA DO PROJETO

E T A P A S

4.8.1 - CONDIÇÕES DE GERAÇÕES DAS FORTES CHEIAS

4.8.1.1 - DEFINIÇÕES E EXPLICAÇÕES GERAIS

CHUVA

A chuva precipitada sobre uma pequena Bacia Hidrográfica de Drenagem (BHD) pode ser caracterizada por vários parâmetros, dentre os quais citamos, por exemplo:

- ~~A lâmina média total precipitada (em mm)~~
- ~~A lâmina média total precipitada (em mm)~~
- O volume total precipitado (em m^3) que corresponde ao produto da lâmina precipitada em m pela superfície da BHD em m^2 .
- As intensidades (ou as alturas) máximas de chuvas para diversos intervalos de tempo em mm/h (ou em mm).
- A repartição espacial das precipitações na BHD.

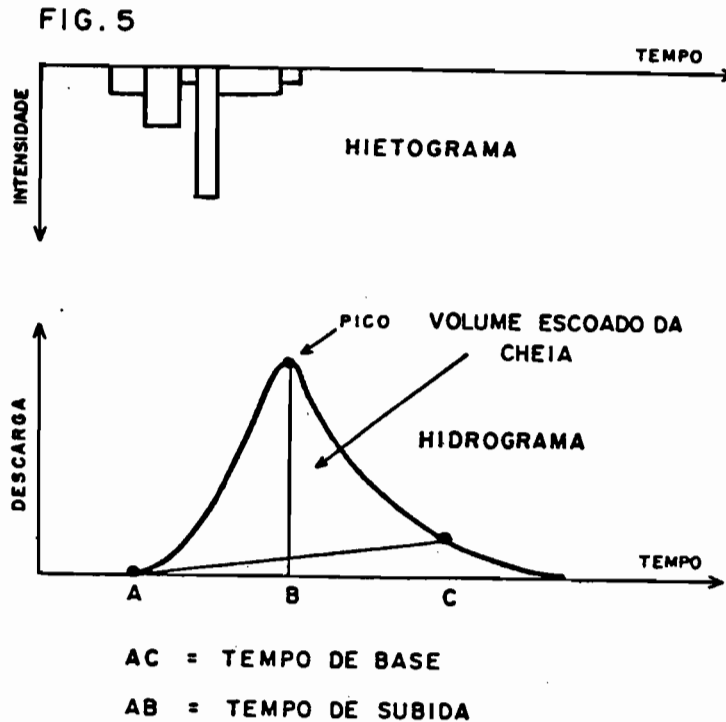
CHEIA

As fortes cheias têm duas características principais:

- a) Os volumes e lâminas totais escoados.
- b) O tempo durante o qual o volume da cheia se escoou.

Estas duas características permitirão o cálculo da vazão máxima chamada vazão ou descarga de pico que constitui a característica da cheia mais importante (e mais perigosa), pois é esta vazão de pico que provocará inundações, arrombamento de açudes e de pontes.

Esquemmatizando muito a realidade, podemos dizer que a vazão de pico será aproximadamente proporcional ao volume total escoado e inversamente proporcional ao tempo de base da cheia.



Chama-se tempo de base o tempo incluído entre o início e o fim do escoamento superficial. O tempo de base caracteriza o tempo durante o qual o volume da cheia escoou, e tempo de subida o tempo entre o início e o pico da cheia. O tempo de subida será usado para o cálculo da amortização da cheia na represa.

O volume escoado da cheia é calculado pela integração da descarga instantânea:

$$V_e = A \int^C Q(t) dt$$

(Q = descarga em m^3/s ; V_e = volume escoado em m^3).

Chama-se lâmina escoada (L_e) uma lâmina de água fictícia que, repartida sobre toda a superfície da BHD teria um volume igual ao volume escoado. A lâmina escoada pode ser diretamente comparada com a lâmina precipitada.

Chama-se coeficiente de escoamento a relação entre os volumes (ou as lâminas) escoado e precipitado.

PERÍODO DE RETORNO

A maior parte dos parâmetros anteriores, que caracterizam cada cheia são suscetíveis de análises em termos estatísticos para determinação das características de cheias de frequências ou período de retorno determinado.

Assim, por exemplo, o valor do período de retorno decenal do volume, da vazão de pico de uma cheia ou da intensidade de chuva em 10 minutos será o valor do referido parâmetro que será igualado ou ultrapassado em média uma vez cada dez anos (ou seja, por exemplo 10 vezes em cada cem anos, etc...).

Os parâmetros das cheias decenais das pequenas Bacias Hidrográficas Representativas estudadas pela SUDENE foram sistematicamente estudadas e são relativamente bem conhecidos.

CHEIA DE PROJETO

O dimensionamento das obras de proteção contra as cheias devem ser realizadas para frequências bem superiores a dez anos, pois não é admissível a construção de açudes ou pontes que arrombarão cada dez anos.

Proporcionaremos arbitrariamente, para as cheias de projeto valores de vazão de pico e de volume escoado correspondendo ao dobro dos valores decenais. O período de retorno teórico destes valores oscila, segundo as nossas estimativas, entre 100 e 150 anos, o que corresponde a uma norma habitualmente admitida para pequenos aproveitamentos.

4.8.1.2 - PRECIPITAÇÕES E INTENSIDADES DE CHUVA

Nas pequenas bacias do Semi-árido, as maiores cheias são geralmente provocadas por fortes chuvas de origem convectivas. Observa-se, muito raramente, mais de uma forte chuva convectiva por período de 24 h.

A distribuição estatística dessas fortes chuvas (que têm, geralmente, a mesma origem climática) é bastante homogênea em todo o Nordeste Semi-Árido.

ALTURAS DE CHUVA EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA

Frequência	Duração					
	24 h	2 h	1 h	30'	10'	5'
Bienal (1 vez a cada 2 anos)	63 a 80mm	60mm	45	32	16	10
Decenal (1 vez a cada 10 anos)	100 a 115mm	80	60	41	20	13
Centenal (1 vez a cada 100 anos)	140 a 165mm	110	80	52	27	17

Observa-se que 56% do total em 24 h precipita em menos de 1 hora e 75% em menos de 2 horas.

4.8.1.3 - VARIAÇÕES DO VOLUME ESCOADO

A maioria dos solos, excetuando-se os muito permeáveis, tem um comportamento relativamente homogêneo frente as precipitações excepcionais. Com efeito, uma vez a saturação do solo realizada, toda precipitação suplementar terá que escoar. Esquematisando, podemos dizer que os escoamentos provocados pelas fortes chuvas serão iguais ao volume da chuva depois de descontar uma quantia fixa que corresponde a água retida no solo.

As intensidades das fortes chuvas são também, relativamente homogêneas em todo o Nordeste Semi-Árido. Podemos, então deduzir que a lâmina escoada das fortes cheias apresentarão uma variação relativamente pequena na maior parte do Nordeste, pelo menos nas bacias de permeabilidade média a baixa.

Por consequência os volumes escoados das fortes cheias serão então principalmente função da superfície da BHD.

4.8.1.4 - VARIAÇÕES DOS TEMPOS DE ESCOAMENTO

Os tempos de escoamento das cheias (tempo de base e tempo de subida) dependerão do tempo de transferência das águas precipitadas e escoadas até o exutório da bacia.

Esses tempos dependerão, principalmente de:

- a) Tamanho da BHD (Superfície e forma).
- b) Velocidades de escoamento nos leitos dos rios que será função do relevo, da declividade e dos obstáculos nos leitos (curvas, pedras, vegetação).

*

- c) Forma da rede hidrográfica de drenagem: muitos riachos pequenos gerarão cheias mais perigosas quando convergem simultaneamente no exutório da bacia, em vez de ser repartidas ao longo de um curso d'água principal.

4.8.2 - ROTEIRO DE CÁLCULO DE VAZÃO DE PICO DA CHEIA DE PROJETO

A vazão de pico da cheia de projeto é calculada pela fórmulas:

$$Q_x = 25 * (S_c)^{0,58} * F_c \quad \text{para } S_c > 5 \text{ km}^2$$

$$Q_x = 17 (S_c)^{0,8} * F_c \quad \text{para } S_c < 5 \text{ km}^2$$

Onde: Q_x (m^3/s) é a vazão de pico da cheia do projeto.
 S_c (km^2) é a superfície efetiva de contribuição de cheia.

F_c é o fator de correção de cheia.

Descarga máxima em função da superfície (sem correção)

$S(\text{km}^2)$	0,1	0,5	1	2	5	10	20	50	100	200	500
$Q(\text{m}^3/\text{s})$	2,7	9,8	17	30	62	95	142	242	361	540	920

4.8.2.1 - DETERMINAÇÃO DA SUPERFÍCIE EFETIVA DE CONTRIBUIÇÃO DE CHEIA S_c (KM^2)

- Calcular a superfície S_3 coberta de solos dos grupos 3 e 4 (são os mais perigosos).
- Calcular a superfície S_2 coberta de solos do grupo 2.
- Calcular a superfície S_1 coberta de solos do grupo 1.

S_c é calculado pela fórmula $S_c = 0,1 S_1 + 0,5 S_2 + S_3$

4.8.2.2 - DETERMINAÇÃO DO FATOR CORRETIVO F_c

Em condições normais todos os coeficientes apresentados a seguir tem o valor 1. Só se deverá efetuar uma correção quando a BHD apresentar características especiais.

F_c é um fator de correção que pode variar entre 0,5 e 1,2 que integra correções oriundas dos fatores seguintes:

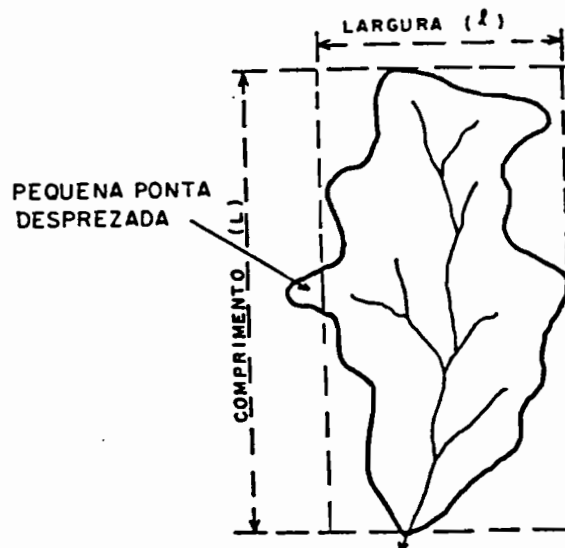
- forma do contorno da Bacia Hidrográfica de Drenagem (Coeficiente C_{form});
- forma da rede de drenagem (Coeficiente C_{dren});
- relevo (Coeficiente C_{rel});
- existência de depressões ou lagoas (Coeficiente C_{lag});
- existência de zonas particularmente degradadas, suscetíveis de apresentarem solos quase impermeáveis (Coeficiente C_{degr});
- condições climáticas especiais ao microclima da BHD (Coeficiente C_{clim}).

F_c é calculado pela fórmula:

$$F_c = C_{form} \times C_{dren} \times C_{rel} \times C_{lag} \times C_{degr} \times C_{clim}$$

a) INFLUÊNCIA DA FORMA DA BHD (COEFICIENTE CORRETIVO C_{form})

FIG.6 FORMA DA BACIA HIDROGRÁFICA



Deve-se determinar no mapa o comprimento e a largura máxima da BHD L e l , estimando-se este contorno desprezando eventualmente pequenas pontas que poderiam alterar muito os resultados. Escolhemos a relação L/l para representar a compacidade da bacia.

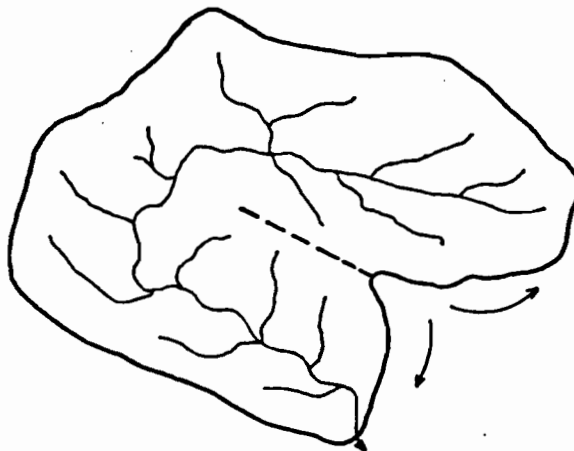
A Tabela seguinte fornece os valores do coeficiente C_{form} a ser aplicado. Indicamos também, a título informativo, os valores do coeficiente de forma de "Gravelius" (de formulação mais complicada, mais utilizado habitualmente pelos hidrólogos).

Coeficiente C_{form}

$\frac{L}{l}$	1	2	3	4	5	6	7
C_{form}	1	1	0,85	0,75	0,70	0,65	0,63
Coeficiente de Gravelius	1,12	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7

OBS: Uma atenção especial deve ser dirigida ao tipo de bacia cujo curso de água principal é "dobrado" conforme figura seguinte.

FIG. 7 BACIA HIDROGRÁFICA "DOBRADA"



Neste caso L e l deverão ser avaliados "desdobrando" ou retificando ficticiamente a bacia. Dever-se-á considerar valores de L e l reais, respectivamente, bem maiores e bem menores, que os L e l calculados sem considerar o "dobramento".

b) INFLUÊNCIA DA FORMA DA REDE DE DRENAGEM: COEFICIENTE C_{dren}

Considera-se dois tipos especiais de configuração da rede de drenagem suscetíveis de alterarem o coeficiente C_{dren} :

- 1) Rede de drenagem em "espinha de peixe". Quando o talvegue principal ocupa uma posição central com afluentes de importância secundária nos dois lados.

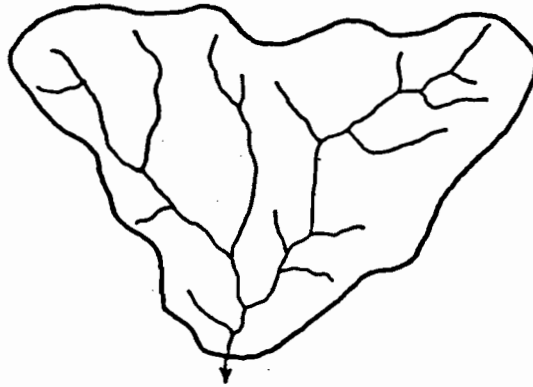
FIG. 8
REDE DE DRENAGEM ESPINHA DE PEIXE



As cheias desse tipo de bacia são menos perigosas. C_{dren} pode ser diminuído no máximo de 25%, variando, então, entre 0,75 e 1.0.

- 2) Rede de drenagem "radial". Quando um talvegue principal, é formado pela convergência de dois ou mais rios de igual importância juntando-se na sua parte a jusante.

FIG. 9
REDE DE DRENAGEM RADIAL



As cheias desse tipo de bacia serão mais perigosas. C_{dren} pode ser aumentado no máximo de 15%, variando, então, entre 1 e 1,15.

Valores do coeficiente C_{dren}

Aspectos da Rede de drenagem	Valores do coeficiente C_{dren}
Normal	1
Espinha de peixe	0,75 a 1
Radial	1 a 1,20

c) INFLUÊNCIA DO RELEVO DA BHD: COEFICIENTE C_{rel}

O coeficiente C_{rel} pode variar entre 0,6 e 1,1. O relevo padrão corresponde a relevo ondulado a forte com declividades transversais da ordem de 10 a 15% e longitudinais de 0,5 a 2%.

Quando o relevo for muito mais forte (ou seja, montanhoso e escarpado), C_{rel} poderá subir para 1,10 ou excepcionalmente para 1,20 quando o leito dos riachos for liso e desprovido de vegetação (baixos coeficientes de MANNING) e permite, assim uma evacuação rápida das cheias.

Valores do coeficiente C_{rel}

RELEVO DECLIVIDADES	Montanhoso e Escarpado (> 25%)	Forte Ondulado 15 a 25%	Ondulado 15 - 8%	Suave Ondulado 3 - 8%	Plano 0 - 3%
C_{rel}	1,1 a 1,2	1	1	0,8	0,6

d) INFLUÊNCIA DE DEPRESSÕES E LAGOA (COEFICIENTE CORRETIVO C_{lag})

Lagoas e depressões podem diminuir sensivelmente as vazões de pico, especialmente quando estão situadas na parte a jusante.

Avalia-se, assim, em 20 a 30% a diminuição da vazão de pico provocada por uma depressão, abarcando 5% da superfície da bacia e situada na parte a jusante.

e) INFLUÊNCIA DAS ZONAS DE SOLOS COMPACTADOS OU TRUNCADOS (COEFICIENTE C_{degr})

As zonas degradadas, geralmente pela ação do homem, podem aumentar sensivelmente o volume escoado e a vazão de pico.

Essas zonas muito impermeáveis podem ser constituídas de encrostamentos ("películas de superfícies"), de zonas compactadas pelo homem ou de zonas de solos "truncados", quer dizer, cujas primeiras camadas já foram levadas pela erosão.

É possível considerar que o escoamento de cheia dessas zonas impermeáveis pode ser acrescido de um fator F_{acr} de 50% para as unidades de solo dos grupos 3 e 4. Para as unidades de solo do grupo 1 e 2, esse fator de acréscimo vale 100%.

A correção deve ser proporcional à parte da bacia realmente degradada.

Assim, por exemplo, uma bacia composta de solos do grupo 3, apresentando degradações importantes em uma proporção S_{degr} da sua superfície avaliada em $S_{degr} = 20\%$, terá um coeficiente C_{degr} de 1,10, calculado da seguinte maneira:

$$C_{degr} = 1 + F_{acr} * S_{degr} = 1 + 0,5 * 0,20 = 1,10$$

Se os solos da bacia fossem do grupo 2, a correção seria de 1,20. $C_{degr} = 1 + 1,00 * 0,20 = 1,20$

Frisamos que essa correção C_{degr} só deverá ser realizada quando uma parte importante da BHD (superior a 10 e 15% em todos os casos) é efetivamente degradada. Não devem ser tomadas em conta degradações localizadas e de pequena superfície (estradas - campo de futebol...).

f) CORREÇÕES CLIMÁTICAS (COEFICIENTE C_{clim})

Apesar da relativa homogeneidade, no Nordeste Semi-árido, das características das intensidades e das fortes chuvas em 24 h, observam-se diferenças não desprezíveis.

Assim, na zona de transição avalia-se o coeficiente C_{clim} em torno de 0,75 a 0,80. Podem existir, também, microclima com C_{clim} superior a 1, podendo atingir 1,1 a 1,2. Esperando a delimitação sistemática dessas zonas que não foram ainda realizadas, pode-se aplicar tentativamente um coeficiente de 1,1 a 1,2, quando uma análise estatística das precipitações em 24 h, demonstra valores superiores àqueles apresentados na Tabela do parágrafo 4.8.1.2.

g) CÁLCULO FINAL DO FATOR DE CORREÇÃO F_c

F_c é calculado pela fórmula:

$$F_c = C_{form} * C_{dren} * C_{rel} * C_{larg} * C_{degr} * C_{clim}$$

F_c não pode ser inferior a $0,5 * C_{clim}$. Neste caso adotar-se-á $F_c = 0,5 * C_{clim}$.

F_c não pode ser superior a $1,2 * C_{clim}$. Neste caso admite-se $F_c = 1,2 * C_{clim}$.

Lembramos que F_c é utilizado para calcular a descarga máxima da cheia de projeto através das fórmulas:

$$Q_x = 25 * (S_c)^{0,58} * F_c \quad \text{para } S_c > 5 \text{ km}^2$$

$$Q_x = 17 (S_c)^{0,8} * F_c \quad \text{para } S_c < 5 \text{ km}^2$$

4.8.3 - OUTRAS CARACTERÍSTICAS DE CHEIAS

Os volumes escoados e as lâminas escoadas das cheias de projetos podem ser calculados pelas equações (válidas para $S > 5 \text{ km}^2$).

$$V_e (\text{m}^3) = 102.000 S^{0,85}$$

$$L_e (\text{mm}) = 102 S^{-0,15}$$

As Figuras 10 e 11 e a Tabela seguinte mostram a relação do tempo de base (T_{bmed}) das fortes cheias em função da superfície.

Tempo de base médio das cheias em função da superfície

Superfície (km^2)	5 km^2	10	20	50	100	200	500	1000
Tempo de base	7	8h30'	10	13,5	16	18	22	25

O tempo de subida médio T_{smed} varia entre:

$$T_{smed} = 0,1 T_{bmed}$$

e $T_{smed} = 0,2 T_{bmed}$

O tempo de subida é utilizado para o cálculo da amortização da cheia na represa.

FIG. 10 Características das Cheias
 Tempo de base medio em funcao da
 superficie - Bacias Cristal.

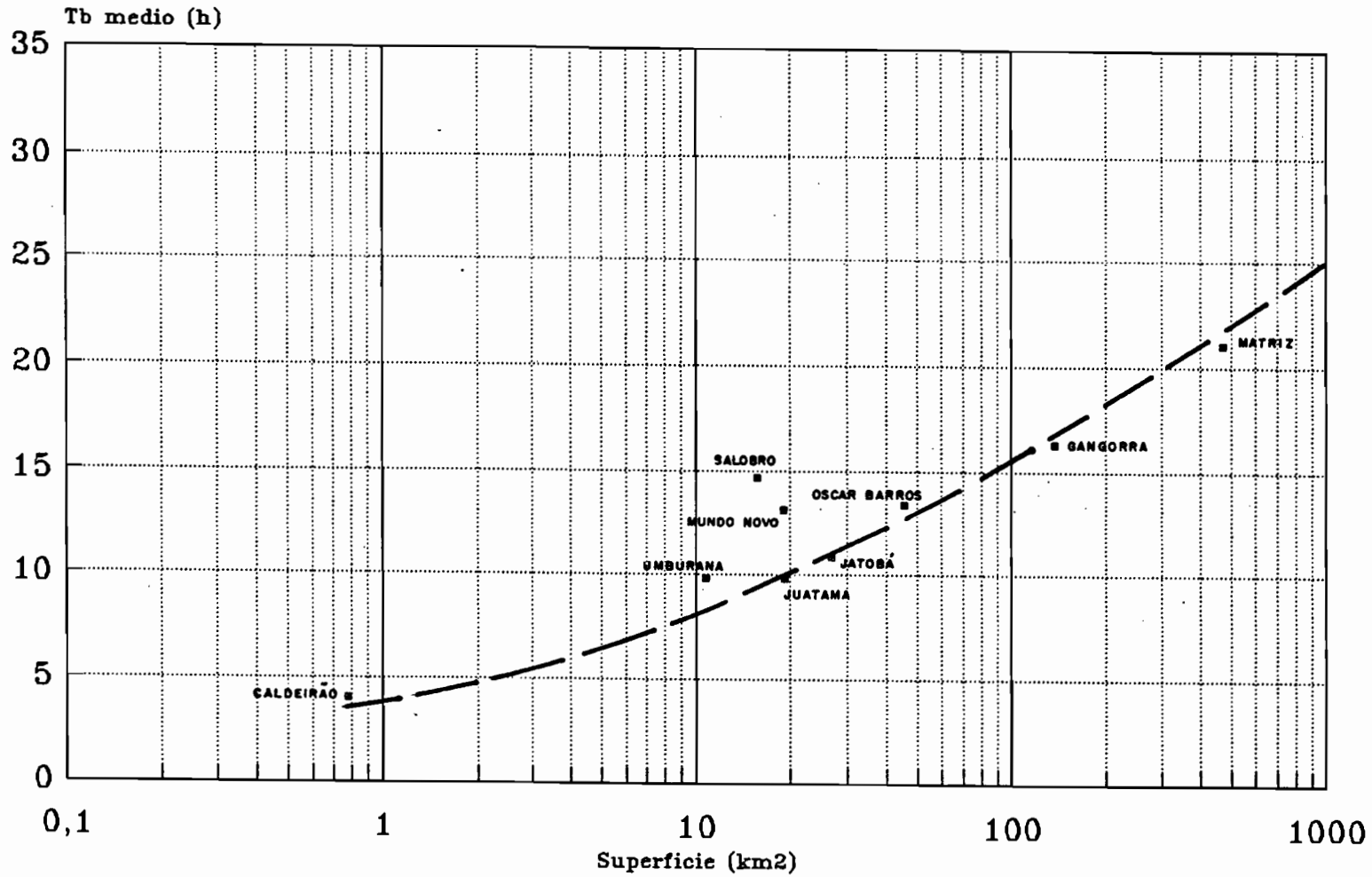
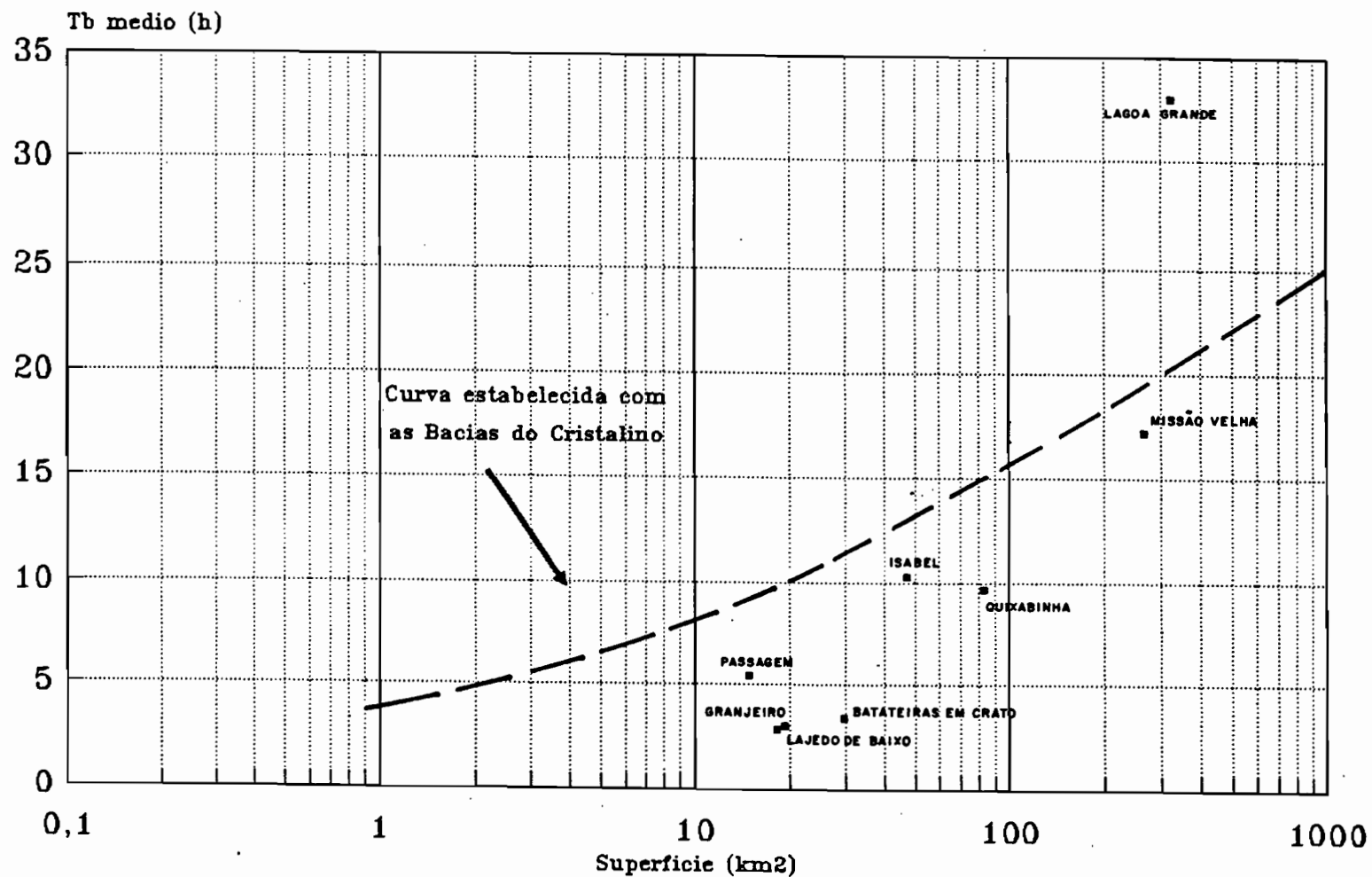


FIG. 11 Características das Cheias
Tempo de base medio em funcao da
superficie - Bacias Sedim.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, F.G. de - Estudo hidrométrico do Nordeste Brasileiro. IFOCS.B., Rio de Janeiro, jan/mar, 1940. V. 13, n. 1.
- ASSUNÇÃO, M.S. de; LEPRUN, J.C.; CADIER, E. Avaliação dos recursos hídricos das pequenas bacias do Nordeste semi-árido: Açú, Batateiras, Missão Velha e Ouixabinha; características físico-climáticas. (Síntese dos resultados). Recife, SUDENE-DRN-HME, 1984. 52p.il. (Brasil.SUDENE.Hidrologia, 22). "Convênio SUDENE/ORSTOM".
- BARRETO, F.H.; LEPRUN, J.C.; CADIER, E.; Cavalcante N. Ma. da C; HERBAUD. J. J. M. Classificação hidrológica de pequenas bacias hidrográficas no Nordeste semi-árido. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, VIII. ABID, Foz do Iguaçu, 1989. Anais do..., V.1, p. 666-676. S. Paulo, 1989.
- BERTON, S. La maîtrise des crues dans les bas-fonds. Petits microbarrages en Afrique de l'ouest. Paris, 1988. 474 p. il. Dossier n^o 12. GRET (Groupe de Recherche et d'échanges Technologiques).
- BORGES, M.C. de A. Estudo hidro-agronômico de 47 açudes no Nordeste Brasileiro. Recursos Naturais, Meio ambiente e poluição. Rio de Janeiro, SUPREN, IBGE, 1977. v. 1. p. 123-40.
- Brasil.MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco. Recife, 1973, 359 p. (Boletim Técnico, 26, v.1.)/(1972, 354 p. Boletim Técnico, 26, v.2).
- Brasil.MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do Estado do Ceará. Recife, 1973, 301 p. (Boletim Técnico, 28, v.1.)/(1973, 502 p. Boletim Técnico, 28, v.2.).
- Brasil.SUDENE. Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste do Brasil. Recife, 1980. Fase I, 13 volumes.
- Brasil.SUDENE.Divisão de Hidrogeologia. Mapa hidrogeológico do Nordeste (folha 9). Recife, 1968.
- Brasil.SUDENE.CISAGRO.COOPERAÇÃO FRANCESA/ORSTOM - Estudo da Pequena Açudagem na Região do Alto Pajéu/PE. Recife, SUDENE. 1988. 118p.
- Brasil.SUDENE.GEVJ. Estudo Geral de Base do Vale do Jaguaribe. Recife, 1967. SUDENE/ASMIC, V.5, Monografia Hidrológica, Bibliografia.

- CADIER, E. Método de avaliação dos escoamentos nas pequenas bacias do Semi-árido. Recife, SUDENE-DRN-HME, 1984. 75 p. il. (Brasil.SUDENE.Hidrologia, 21). "Convênio SUDENE/ORSTOM".
- CADIER, E; ALBUQUERQUE, C.H.C de; ARAÚJO FILHO, P.F.; NASCIMENTO. P.H. de A.; MONTGAILLARD, M. Dimensionamento de pequenos reservatórios superficiais do Nordeste semi-árido. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, VIII. ABID, Foz do Iguaçu, 1989. Anais do..., V. 1, p. 202-225 S. Paulo, 1989.
- CADIER, E.; COCHONNEAU, G.; GUSMÃO, A.C.S. Estudo estatístico das precipitações diárias no Estado de Pernambuco. In: Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, IV. Fortaleza, 1981. Anais do... ABRH. v.1. p. 414-22.
- CADIER, E.; FREITAS, R.J. Bacia Representativa de Sumé. Primeira estimativa dos recursos de água. Campanhas 73/80. Recife, SUDENE-DRN, 1983. 180 p. il. (Brasil. SUDENE.Hidrologia, 14). "Convênio SUDENE/ORSTOM".
- CADIER, E.; FREITAS, R.J. LEPRUN, J.C. Bacia Experimental de Sumé-PB; instalação e primeiros resultados. In: Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, V. Blumenau, 1983. Anais do... Blumenau, ABRH, 1983. v. 1. p. 69-90.
- CADIER, E.; LANNA, A.E.; MENEZES, M. et al. - Avaliação dos estudos referentes aos Recursos Hídricos das pequenas Bacias do Nordeste Brasileiro. In: Simpósio Brasileiro de Hidrologia e de Recursos Hídricos, VII. Anais do... ABID, Salvador, 1984.
- CAMPELLO, S. Modélisation de l'écoulement sur des petits cours d'eau du Nordeste (Brésil). Paris, ORSTOM, 1979. 121 p.il. Bibliografia, Tese.
- CAMPELLO, S.; et al. Planificação, instalação e operação de uma rede de bacias representativas em fase de rotina: experiência da SUDENE. In: Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, V. Blumenau, 1983. Anais do... Blumenau, ABRH, 1983. v.1. p. 25-38.
- CASENAVE, A.; VALENTIM, C. Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. Paris, 1989. Editions de l'ORSTOM. 229 p.
- CIEH - Département Hydrologie. Etude des pluies journalières de fréquence rare dans les états membres du CIEH. Rapport de synthèse. CIH, Ouagadougou, 1985.
- DNAEE (Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica). Mapa de disponibilidade hídrica do Brasil. Recife, 1984.

- DUBREUIL, P. Le rôle des paramètres caractéristiques du milieu physique dans la synthèse et l'extrapolation des données hydrologiques recueillies sur bassins représentatifs. In: Symposium sur les Résultats de Recherches sur Bassins Représentatifs et Expérimentaux. Wellington. AISH-Publication, 96. 1970.
- EMBRAPA. Seleção de Áreas e Construção de Barreiros para Uso de Irrigações de Salvação no Trópico Semi-árido. Circular Técnica 3. Petrolina, 1981.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Agricultural Research Service. Soil and water conservation Research Division. Field manual for research in agricultural hydrology. Washington D.C., 1986, 214 p. (Agriculture Handbook, 224).
- ESTADOS UNIDOS. Bureau of Reclamation Publications. Design of Small Dams. 856 p. Third edition 1987. 2 maps cloth Bound.
- France. Ministère de l'Agriculture. Groupe de travail permanent pour les barrages en aménagement rural. Techniques des barrages en aménagement rural. Paris, 1977. 325 p.
- HARGREAVES, G. Monthly precipitation probabilities for Northeast Brazil. S.L. University Utah State, Departement of Agricultural and Irrigation Engineering, 1973. 423 p.
- HERBAUD, J.J.M.; MAGALHÃES, F.X. de; CADIER, E.; et al. Bacia Representativa de Juatama. Relatório Final. Recife, SUDENE-DPG-PRN-HME, 1989. 153 p. (Brasil.SUDENE.Hidrologia, 24). "Convênio SUDENE/ORSTOM".
- HERBBAUD, J.J.M.; LINS, M.J.A; ASSUNÇÃO, M.S. de; et al. Bacia Hidrográfica Representativa de Ibipeba. Relatório Final. Recife, SUDENE-DPG-PRN-HME, 1989. 219 p. (Brasil.SUDENE.Hidrologia, 27). "Convênio SUDENE/ORSTOM".
- HIEZ, G. Processamento dos dados pluviométricos do Nordeste. 2ª Parte - A. Homogeneização dos dados. Método do Vetor Regional. Recife, SUDENE-DRN-HME, 1978. "Convênio SUDENE/ORSTOM".
- LARAQUE, A. SIMSAL: Um modelo de previsão da salinização dos açudes do Nordeste brasileiro. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, VIII. ABID, Foz do Iguaçu, 1989. Anais do..., Salvador, 1989.
- LARAQUE, Alain; Estudo e previsão da qualidade da água dos açudes do Nordeste semi-árido Brasileiro. Recife, SUDENE-DPG-PRN-HME, 1989. 91 p. il. (Brasil.SUDENE.Hidrologia, 26). "Convênio SUDENE/ORSTOM".

- LEPRUN, J.C. Primeira avaliação das águas superficiais do Nordeste Relatório de fim de convênio de manejo e conservação do solo do Nordeste brasileiro. Recife, SUDENE-DRN, 1983. 91 - 141p. "Convênio SUDENE/ORSTOM".
- LEPRUN, J.C.; ASSUNÇÃO, M.S.; CADIER, E. Avaliação dos recursos hídricos das pequenas bacias do Nordeste semi-árido. Características físico-climáticas. (Primeira síntese dos resultados obtidos). Recife, SUDENE-DRN-HME, 1983. 71 p. il. mapas. (Brasil.SUDENE.Hidrologia, 15). "Convênio SUDENE/ORSTOM".
- MOLLE, F. Perdas por evaporação e infiltração em pequenos açudes. Recife, SUDENE-DPG-PRN-GT.HME, 1989. 172p. (Brasil. SUDENE. Hidrologia, 25). "Convênio SUDENE/ ORSTOM".
- MOLINIER, M. Homogeneização e zoneamento da pluviometria anual no Nordeste. Recife, SUDENE-DRN, 1989. (Em elaboração). "Convênio SUDENE/ORSTOM".
- NOUVELOT, J.F. Planificação da implantação de Bacias Representativas. Aplicação à área da SUDENE. Recife, SUDENE-DRN, 1974. 91 p. ilust. Bibliografia original: Planification d'implantation de bassins versants représentatifs. "Convênio SUDENE/ORSTOM".
- NOUVELOT, J.F.; FERREIRA, P.A.S.; CADIER, E. Bacia Representativa do Riacho do Navio. Relatório Final. Recife, SUDENE-DRN-HME, 1979. 193 p. il. (Brasil.SUDENE.Hidrologia, 6). Bibliografia. "Convênio SUDENE/ORSTOM".
- PFAFSTETTER, O. Chuvas intensas no Brasil. Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 1957.
- PUECH, C.; CHABI-GONNI, D. Méthode de calcul des débits de crue décennale pour les petits et moyens bassins versants en Afrique de l'Ouest et Centrale (2e édition). CIEH, Ouagadougou, 1984. 91 p.
- PUNGS, J.P.; CADIER, E. Manual de Utilização dos Sistemas BAC e DHM. Banco de Dados Hidrometeorológicos da SUDENE. Recife, SUDENE-DRN-HME, 1985. 139 p. il. (Brasil.SUDENE.Hidrologia, 23). "Convênio SUDENE/ORSTOM".
- RIBSTEIN, P. Modèles de crues et petits bassins versants au sahel. Montpellier, 1990. 317 p. Université des Sciences et Techniques du Languedoc (These de Doctorat).
- RODIER, J.A., RIBSTEIN, P. Estimation des caractéristiques de la crue décennale pour les bassins versants du SAHEL couvrant 1 à 10 km². Montpellier, 1988. ORSTOM. 133 p.

- RODIER, J.A. La transposition des résultats des bassins représentatifs et ses problèmes. Cahiers ORSTOM, série Hydrologie. Paris, 1982. 19(2), p. 115-27.
- RODIER, J.A. Evaluation de l'écoulement annuel dans le Sabel tropical africain. Paris, ORSTOM, 1975. 121 p. il. (Travaux et Documents de l'ORSTOM, 46). Bibliografia.
- RODIER, J.A.; AUVRAY, C. Estimation des débits des crues décennales pour les Bassins Versants de superficies inférieures à 200 km². Paris, ORSTYOM-CIEH, 1965. 30 p. il.
- RODIER, J.A. - Ecoulement de surface dans les bassins perméables du Sahel. Comparaison avec d'autres bassins perméables tropicaux. Hydrologie continentale. Vol. 4, n^o 2. Paris, 1990. ORSTOM. p. 123 - 138.
- S.C.S. (Soil Conservation Service). Urban Hydrology for small watersheds technical Release 55. Department of agriculture, U.S.A., 1975.
- THORNTWHAITE, C. W.; MATHER, J.C. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water ballance. Centertan, 1957. Drexel Institut of Technology (Publications in Climatology, 3).
- TOEBES, C.; OURIVA EV, V. Representative and experimental bassins, an international Guide for research and Praticce. Paris, UNESCO, 1970.
- VIEIRA et al. Descrição da Rede de Bacias Representativas e Experimentais do Nordeste brasileiro. In: Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, V. ABRH, Blumenau, 1983. Anais do.... Fortaleza, 1983. v. 1, p. 39-66.
- OBS: Faltam referencias dos outros mapas de solo e hidrologico do Nordeste a serem sugeridos por LEPRUN, S. CAMPELLO, BUREC e DNOCS.

A N E X O P E D O L Ó G I C O**(PROVISORIAMENTE INCOMPLETO)**

- 1 - **AGRUPAMENTOS DE SOLOS PROPOSTOS**
- 2 - **QUADRO RESUMO DA CLASSIFICAÇÃO HIDRO-PEDOLÓGICA**
- 3 - **CODIFICAÇÕES UTILIZADAS**
- 4 - **EXPLICAÇÕES E DEFINIÇÕES**

1 - AGRUPAMENTOS DE SOLOS PROPOSTOS

Os solos foram reagrupados em 4 grupos, de acordo com seus funcionamentos hidrodinâmicos.

Para cada grupo que será descrito, relacionamos as informações seguintes:

- a) Características e funcionamento hidrodinâmico que justificaram o reagrupamento;
- b) Definição de sub-grupos e valor de L_{600} para cada sub-grupo (L_{600} será utilizado posteriormente, para o cálculo das lâminas escoadas);
- c) Relação dos solos de cada grupo e sub-grupos, de acordo com as legendas dos mapas.

GRUPO 1:

Solos espessos, de textura arenosa, excessivamente drenados caracterizado por um escoamento nulo ou muito fraco.

. SUB-GRUPO 1.1 - Solos com $L_{600} = 0$ mm

Areias Quartzosas eutróficas e distróficas - (AQd, AQe e AQa), Areias Quartzosas marinhas distróficas (Amd) e Dunas (D).

Relação dos solos do sub-grupo 1.1:

- | | |
|-------|---------|
| - AQ | - (AMd) |
| - AQd | - (AM) |
| - AQe | - (D) |

. SUB-GRUPO 1.2 - Solos com $L_{600} = 3$ mm

Regossolos eutróficos e distróficos (REe e REd). Esses solos não devem apresentar o horizonte "fragipan" e quando o mesmo existir, deverá ocorrer a uma profundidade superior a 120 cm.

Relação dos solos do sub-grupo 1.2:

- RE
- REe
- REed

GRUPO 2:

Solos profundos, de textura média a argilosa, acentuadamente a bem drenados que apresentam um escoamento fraco a médio.

. SUB-GRUPO 2.1 - Solos com $L_{600} = 5$ mm

Latossolo Roso, Cambissolos eutróficos e distróficos (Ce e Cd), os Latossolos Vermelho-Amarelo e Vermelho Escuro (LV e LE) eutróficos e distróficos (LVe, LVd, LEe), todos de textura média, e, os Regossolos eutróficos e distróficos com fragipan (o fragipan deverá ocorrer a uma profundidade de 80 a 120 cm).

Observação: quando o fragipan ocorrer em profundidades menores, deverá esse solo passar para uma classe que tenha um L_{600} superior a 5 mm.

Relação dos solos do sub-grupo 2.1:

- Ce.lat.med.
- (LEH)
- LEe.podz.
- (LR)
- LVd.med.
- LVd.pp.
- LVd.pp.med.
- LVe.med.
- LVe.podz.med.
- REd.frag.
- REe.frag.

. SUB-GRUPO 2.2 - Solos com $L_{600} = 10$ mm

Cambissolos Eutróficos, Latossolos Vermelho-Amarelo e Vermelho Escuro Eutrófico e Distrófico, todos de textura média a argilosa (LVe, LEe e LVd).

Relação dos solos do sub-grupo 2.2:

- (Cd)
- Ce
- (LA)
- (LE)
- (LEa)
- LEe.med.arg.
- (LV)
- (LVa)
- LVd
- LVd.med.arg.
- (LVdp)

- LVe
- LVED.med.arg.

. SUB-GRUPO 2.3 - Solos com $L_{600} = 15$ mm

Latossolos e a Terra Roxa, todos de textura argilosa e os Podzólicos Eutróficos de textura arenosa/média. (LVd, LVe, LEe, TRe e PE).

Relação dos solos do sub-grupo 2.3:

- LEe.arg.
- (LV)
- LVd.arg.
- LVd.hum.arg.
- LVd.ind.hum.
- LVe.arg.
- LVe.cam.arg.
- PE.lat.aren/med
- (TR)
- (TRd)
- TRe.arg.
- TRe.podz.arg.
- (TRSa)
- (TRSe)

. SUB-GRUPO 2.4 - Solos com $L_{600} = 15$ mm

Cambissolos, Podzólicos Eutróficos e Solos Concrecionários Indiscriminados, todos de textura média.

Relação dos solos do sub-grupo 2.4:

- (Ca)
- Ce.med.arg.
- PE.abr.med.
- PE.lat.med.
- PE.med.
- (Pvc)
- SC.ind.

. SUB-GRUPO 2.5 - Solos com $L_{600} = 25$ mm

Solos Aluviais indiscriminados, alguns Podzólicos Abrúpticos (arenoso/médio), Podzólico de textura média/argilosa e Solos Indiscriminados Pedregosos Distróficos de textura média/argilosa.

Relação dos solos do sub-grupo 2.5:

- (A)
- (Ad)
- (Ade)
- Ae. ind.
- PE. abr.
- PE. med/arg.
- SIPd. med. arg.

GRUPO 3:

Solos que apresentam um escoamento médio em função de alguns caracteres tais como: textura argilosa, rasos a medianamente profundos, atividade de argila, bem moderadamente drenados, etc.

. SUB-GRUPO 3.1 - Solos com $L_{600} = 37$ mm

Foram agrupados todos os Solos Litólicos Eutróficos e Distróficos (Re e Rd) de textura arenosa a média e média a argilosa.

Relação dos solos do sub-grupo 3.1:

- (R)
- (Ra)
- Rd
- Rd.aren.
- Red. ind.
- Red.
- Red. med. arg.
- Re
- Re. med.

. SUB-GRUPO 3.2 - Solos com $L_{600} = 37$ mm

Foram agrupados todos os Podzólicos Eutróficos rasos, abrupticos (arenoso/argiloso) ou de textura média.

Relação dos solos do sub-grupo 3.2:

- PE. raso
- PE. raso.abr.
- PE. raso. med.

. SUB-GRUPO 3.3 - Solos com $L_{600} = 37$ mm

Este grupo está representado pela Brunizem Avermelhado.

Relação dos solos do sub-grupo 3.3:

- BV

. SUB-GRUPO 3.4 - Solos com $L_{600} = 37$ mm

Este sub-grupo está representado pelos Bruno Não Cálcico (NC) de textura média.

Relação dos solos do sub-grupo 3.4:

- NC
- NC. ind.
- NC. med.

. SUB-GRUPO 3.5 - Solos com $L_{600} = 37$ mm

Este grupo está representado pela classe de Solo Cambissolo Eutrófico raso (Ce) de textura média e Rendzinas (RZ).

Relação dos solos do sub-grupo 3.5:

- Ce. raso
- (RZ)

. SUB-GRUPO 3.6 - Solos com $L_{600} = 37$ mm

Este grupo está representado pelos Cambissolos Eutróficos (Ce), Podzólicos Eutróficos (PE), Podzólicos Distróficos (PVA), Litólicos (Re), e Bruno Não Cálcico (NC) de textura argilosa a muito argilosa.

Relação dos solos do sub-grupo 3.6:

- Ce. arg.
- NC. arg.
- (PA)
- PE. abr. arg.
- PE. arg.
- PE. lat. arg.
- PE. plin. arg.
- PE. raso. arg.
- PE orto
- (PA)

- (PVa)
- (PVd)
- PVA. orto.
- Re. arg.

GRUPO 4:

Solos que apresentam um escoamento médio a forte e que apresentam características morfológicas no perfil do solo que influenciam a hidro-dinâmica desses solos.

. SUB-GRUPO 4.1 - Solos com $L_{600} = 25$ mm

Foram agrupados os solos com características vérticas (rachaduras ao longo do perfil) e os Vertissolos, os quais podem passar para uma classe inferior em função da quantidade e largura das rachaduras serem muito grande (superior a 6 cm de largura).

Relação dos solos do sub-grupo 4.1:

- Ce. vert.
- NC. vert.
- NC. vert. arg.
- V

. SUB-GRUPO 4.2 - Solos com $L_{600} = 25$ mm

Foram agrupados neste grupo somente o Bruno Não Cálcico planossólico.

Relação dos solos do sub-grupo 4.2:

- NC. plan.

. SUB-GRUPO 4.3 - Solos com $L_{600} = 60$ mm

Foram agrupados neste grupo os solos truncados (solos com horizonte superficial decaptado).

Relação dos solos do sub-grupo 4.3:

- BV. trun.

. SUB-GRUPO 4.4 - Solos com $L_{600} = 70$ mm

Foram agrupados neste grupo os Planossolos.

Relação dos solos do sub-grupo 4.4:

- PL
- (PLe)
- PL. ind.
- PLSe ind.

. SUB-GRUPO 4.5 - Solos com $L_{600} = 125$ mm

Foram agrupados neste grupo os solos solódicos e com permeabilidade restrita, tais como as Lateritas Hidromórficas (Plintossolos - LHd e PT), de textura arenosa à média e argilosa, os Solonetz Solodizados e os solos Halomórficos.

Relação dos solos do sub-grupo 4.5:

- LHd. arg.
- LHd. med. arg.
- (PT)
- (PTc)
- SH. ind.
- SS. aren. med.
- SS. ind.
- SK

. SUB-GRUPO 4.6 - Solos com $L_{600} = 90$ mm

É um agrupamento de Solos com Afloramentos rochosos e sendo assim, o valor de L_{600} deste grupo pode variar muito, dependendo, principalmente da permeabilidade do solo situado a jusante dos afloramentos e da percentagem efetivamente coberta por esses afloramentos.

Relação do solo do grupo 4.6:

- AF

OBS: os solos que se apresentam entre parênteses na relação dos sub-grupos indicam que ocorrem no Nordeste, mas que não foram contemplados nos estudos de Bacias Hidrográficas. Sendo assim, o valor de L_{600} , reflete uma estimativa do valor real.

2 - QUADRO RESUMO DA CLASSIFICAÇÃO HIDRO-PEDOLÓGICA

(continua)

GRUPO 1: SOLOS ARENOSOS PROFUNDOS COM ESCOAMENTO QUASE NULO

SUBf-GRUPO 1.1: $L_{600} = 0$ mm
 - (AQ) - AQd - AQe
 - (AMd) - (AM) - (D)

SUB-GRUPO 1.2: $L_{600} = 3$ mm
 - (RE) - REe - REed

GRUPO 2 - SOLOS ESPessos

SUB-GRUPO 2.1: $L_{600} = 5$ mm
 - Ce.lat.med. - REd.frag.
 - (LR) - REe.frag.
 - LEe.podz. - LVd.pp.
 - (LEH) - LVe.med.
 - LVd.med. - LVe.podz.med.
 - LVd.pp.med.

SUB-GRUPO 2.2: $L_{600} = 10$ mm
 - Cd - (LVa)
 - Ce - LVd
 - (LA) - (LVdp)
 - (LE) - LVd.med.arg.
 - (LEa) - LVED.med.arg.
 - LEe.med.arg. - LVe
 - (LV)

SUB-GRUPO 2.3: $L_{600} = 15$ mm
 - LEe.arg. - TRe.arg.
 - (LU) - (TR)
 - LVd.hum.arg. - (TRd)
 - LVd.ind.hum. - TRe.podz.arg.
 - LVd.arg. - PE.lat.aren/med
 - LVe.arg.
 - LVe.cam.arg.

SUB-GRUPO 2.4: $L_{600} = 15$ mm
 - (Ca)
 - Ce.med.arg.
 - PE.abr.med.
 - PE.lat.med.
 - PE.med.
 - SC.ind.
 - (Pvc)

SUB-GRUPO 2.5: $L_{600} = 25$ mm

- Ae. ind. - PE. med./arg. - PE. Abr. - SIPd. med.arg.

GRUPO 3 - SOLOS COM ESCOAMENTO MÉDIO

Litólicos

SUB-GRUPO 3.1: $L_{600} = 37$ mm
 - (R) - Re.med.
 - (Ra) - Re
 - Rd - Red.ind.
 - Rd.aren. - Red. med. arg.
 - Red

Podzólicos rasos

SUB-GRUPO 3.2: $L_{600} = 37$ mm
 - PE. raso
 - PE.raso.abr.
 - PE.raso.med.

Brunizem

SUB-GRUPO 3.3: $L_{600} = 37$ mm
 - BV

Bruno Não Cálculo

SUB-GRUPO 3.4: $L_{600} = 37$ mm
 - NC - NC med.
 - NC. ind.

QUADRO RESUMO DA CLASSIFICAÇÃO HIDRO-PEDOLÓGICA

(conclusão)

Cambissolos e Rendzinas rasosSUB-GRUPO 3.5: $L_{600} = 37$ mm

- Ce. raso
- (RZ)

Solos argilososSUB-GRUPO 3.6: $L_{600} = 37$ mm

- Ce. arg. - PE.orto
- NC. arg. - PE.raso.arg.
- (PA) - PE.orto
- PE.arg. - (PVa)
- PE.abr.arg. - (PVd)
- PE.lat.arg. - PVA. orto
- PE.plint.arg. - Re. arg.

GRUPO 4 - SOLOS COM COMPORTAMENTO HÍDRICO ESPECIAL (MÉDIO A ALTO)

VérticosSUB-GRUPO 4.1: $L_{600} = 25$ mm

- Ce.vert. - NC. vert. arg.
- NC.vert. - V

PlanossólicoSUB-GRUPO 4.2: $L_{600} = 25$ mm

- NC. plan.

TruncadoSUB-GRUPO 4.3: $L_{600} = 60$ mm

- BV.trun.

PlanossolosSUB-GRUPO 4.4: $L_{600} = 70$ mm

- PL - (PLe)
- PL.ind. - PLSe. ind.

Halomórficos e PlínticosSUB-GRUPO 4.5: $L_{600} = 125$ mm

- LHd. arg. - (PTc)
- LHd.med.arg. - SS.aren.med.
- SH.ind. - SS.ind.
- (PT) - (SK)

AfloramentosSUB-GRUPO 4.6: $L_{600} = 90$ mm

- AF

OBS: os solos que aparecem entre parênteses na relação dos sub-grupos indicam que ocorrem no Nordeste, mas que não foram contemplados nos estudos de Bacias Hidrográficas. Sendo assim, o valor de L_{600} , reflete uma estimativa do valor real.

3 - CODIFICAÇÕES UTILIZADAS

(continua)

Re	- Solo Litólico Eutrófico
Rd	- Solo Litólico Distrófico
Red	- Solo Litólico Eutrófico e Distrófico
PL	- Planossolo Solódico
SS	- Solonetz Solodizado
BV	- Brunizem Avermelhado
PE	- Podzólico Vermelho-Amarelo Equivalente Eutrófico
NC	- Bruno Não Cálcico
LEe	- Latosol Vermelho Escuro Eutrófico
AF	- Afloramento de rocha
TRe	- Terra Roxa Estruturada Similar Eutrófica
REd	- Regossolo Distrófico
REe	- Regossolo Eutrófico
REed	- Regossolo Eutrófico e Distrófico
LVD	- Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico
LHD	- Laterita Hidromórfica Distrófica
LVE	- Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico
V	- Vertissolo
Ae	- Aluvião Eutrófico
SH	- Solo Hidromórfico
LVED.	- Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico e Distrófico
AQd	- Areia Quartzosa Distrófica
SC	- Solo Concrecionário Indiscriminado
PVA	- Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico
Ce	- Cambissolo Eutrófico
SIPd	- Solos Indiscriminados Pedregosos Distróficos
PLSe	- Planossolo Solódico Eutrófico
LA	- Latossolo Amarelo
LV	- Latossolo Vermelho Amarelo
LE	- Latossolo Vermelho Escuro
LEH	- Latossolo Vermelho Escuro húmico
LR	- Latossolo Roxo
TR	- Terra Roxa
PT	- Plintossolo
PA	- Podzólico Acinzentado
PVc	- Podzólico Vermelho Amarelo Concrecionário
SK	- Solonchak
(SM)	- Solos indiscriminados de Mangue

CODIFICAÇÕES UTILIZADAS

(continuação)

(G)	- Gleissolo
A	- Solo Aluvial (Aluvião)
AM	- Areias Quartzosas marinhas
RE	- Regossolo
R	- Solo Litólico (Litossolo)
D	- Dunas
AQ	- Areias Quartzosas
AMd	- Areias Quartzosas Marinhas Distróficas
(HOe)	- Solos Orgânicos Eutróficos
(HGe)	- Glei Húmico Eutrófico
RZ	- Rendzina
HP	- Podzol Hidromórfico
TRd	- Terra Roxa Distrófica
(HG)	- Glei Húmico
(P)	- Podzol
(HGpd)	- Glei pouco Húmico Distrófico
(Hod)	- Solos Orgânicos Distróficos
Ade	- Solo Aluvial Distrófico e Eutrófico
Ad	- Solo Aluvial Distrófico
PLe	- Planossolo Eutrófico
(HGed)	- Glei Húmico e Pouco Húmido Eutrófico e Distrófico
LEd	- Latossolo Vermelho Escuro Distrófico
Cd	- Cambissolo Distrófico
LU	- Latossolo Variação Una
LVdp	- Latossolo Vermelho Distrófico Pálido
(HQd)	- Areias Quartzosas Hidromórficas
LVa	- Latossolo Vermelho Amarelo Álico
LEa	- Latossolo Vermelho Escuro Álico
PVa	- Podzólico Vermelho Amarelo Álico
PVd	- Podzólico Vermelho Amarelo Distrófico
TRSa	- Terra Roxa Similar Álica
TRSe	- Terra Roxa Similar Eutrófica
Ca	- Cambissolo Álico
(HGPa)	- Glei Húmico e Pouco Húmico Álico
Ra	- Solo Litólico Álico
AQa	- Areia Quartzosa Álica
PVc	- Podzólico Vermelho Amarelo Concrecionário

CODIFICAÇÕES UTILIZADAS

(conclusão)

PTc	- Plintossolo Concrecionário
podz	- podzólico (Intermediário entre uma classe e outra de solo)
vert.	- vértico (Intermediário entre uma classe e outra de solo)
lat.	- latossólico (Intermediário entre uma classe e outra de solo)
plan.	- Planossólico
Cam	- Câmbico
ind.	- Indiscriminado (textura arenosa, média e argilosa)
Arg.	- Argilosa (textura)
Aren.	- Arenosa (textura)
med.	- média (textura)
med/arg.	- Horizonte superficial de textura média, sob um horizonte argiloso (textura)
Orto	- Argilosa (textura)
Aren/med.	- Horizonte superficial arenoso, sob um horizonte de textura média.
raso	- profundidade do solo, inferior a 50 cm
p p.	- pouco profundo
trun	- Truncado (Horizonte superficial decaptado)
abr.	- abruptico (transição entre horizonte do solo)
frag.	- com fragipan
hum.	- húmico (teor alto em matéria orgânica) outra de solo)
plin.	- plíntico

OBS: foi utilizada essa codificação para indicar os solos que ocorrem em associação numa unidade de mapeamento descrita nos levantamentos exploratórios de solos de cada estado do Nordeste.

4 - EXPLICAÇÕES E DEFINIÇÕES

Apresentamos a seguir as descrições de algumas características encontradas nos solos que servem para subdividi-lo em sub-classes. Estas características regem também as características hidrodinâmicas dos solos.

- Hidromorfismo: a drenagem natural do perfil do solo é uma característica que permite indicar a capacidade de escoamento superficial do terreno, permeabilidade do solo e profundidade do lençol freático.

No exame morfológico do perfil a melhor indicação do grau de hidromorfismo do solo é dada pela coloração dos seus horizontes. A má drenagem, em razão do acúmulo excessivo de água no solo e da conseqüente redução do seu arejamento, é indicada pelo acúmulo excessivo de matéria orgânica (tufas), ou pela cor cinza, indicativo de gleização, com ou sem mosqueado (manchas no solo), amarelo pálido ou pardo-enferrujado.

- Caráter abrupto: refere-se a uma brusca mudança textural no perfil do solo, com um exagerado aumento de argila (equivalente ao dobro ou mais), num pequeno intervalo vertical na zona limítrofe entre horizonte A e o horizonte subjacente.

Tal característica indica alta potencialidade para o escoamento superficial, devido à brusca mudança de permeabilidade entre os horizontes superficiais e subjacentes. Daí a importância de sua identificação nos trabalhos de campo.

- Caráter vértico: é próprio dos solos que possuem predomínio de argilominerais expansivos de alta atividade, como as argilas do tipo 2:1 (Moutmorilomita, Vermiculita, etc...), devido a sua grande movimentação (contração e expansão), ocasionando profundas mudanças de volume, decorrentes de variações no teor de umidade.

Como resultado, esses solos apresentam grande variação do volume de sua massa, que se contrai e fendilha quando seca, e se expande, tornando-se muito plástica e pegajosa, quando úmida. Essa manutenção do solo propicia a formação de microrelevo típico ("gilgai" ou pequenas ondulações na superfície do solo) e agregados estruturais cuneiformes.

O caráter vértico é identificado quando os solos apresentarem mais de 30% de argila e fendilhamento intensivo, com fendas de mais de 4 cm de largura na superfície, na época da estação seca. A análise do solo deverá acusar também, na camada subsuperficial, uma capacidade de troca de cation maior que 24 meq/100 g de argila, após correção com carbono.

Solos Vérticos quando saturados, suas fendas se expandem, proporcionando um escoamento muito forte, no entanto, nas primeiras chuvas, essas fendas tendem a armazenar um volume d'água muito grande, evitando o escoamento superficial.

- **Caráter Distrófico e Eutrófico:** as especificações distrófico e eutrófico são registradas para distinguir essas duas modalidades da mesma classe de solos, exceto quando, por definição, a classe compreender somente solos distróficos ou somente solos eutróficos. Neste trabalho verifica-se que os solos Brunos Não Cálcicos, Vertissolos, Planossolos, Solonetz Solidizados e Podzólico Vermelho-Amarelo Equivalente Eutrófico são eutróficos, enquanto que o Podzólico Vermelho-Amarelo (PV) são sempre distróficos.

Os solos Eutróficos são ricos em bases com valor de saturação de bases (V) maior ou igual a 50%. Os solos Distróficos são solos pobres em bases apresentando um valor de saturação de bases inferior a 50%.

Estas características servem para se prever que em áreas onde ocorrem um mesmo solo, quando Distróficos, apresentam-se com uma cobertura vegetal mais ralas do que em áreas Eutróficas, proporcionando um escoamento superficial um pouco maior.

Exemplificando, os solos Litólicos Distróficos (Rd) apresentam escoamento superficial um pouco maior do que os solos Litólicos Eutróficos (Re).

- **Outros caracteres:**

- . **Solódico:** caráter utilizado para a classe de solos Planosol. Indica que os solos possuem saturação com sódio ($100.Na^+/T$) entre 6 e 15% na parte subsuperficial.

O sódio tende a dispersar as argilas, formando o horizonte nótrico. Esse horizonte é o principal responsável pela diminuição da permeabilidade do solo, proporcionando um escoamento muito alto nos solos onde esse horizonte se forma, principalmente quando se forma próximo a superfície do solo.

- . **Com fragipan:** utilizado para subdividir a classe dos Regossolos Eutróficos e Distróficos. Indica que a classe de solos apresenta fragipan.

Quanto menos profundo o solo, menor será a capacidade de retenção d'água. Assim, os solos mais rasos saturam-se mais rapidamente do que os solos profundos, excessão é feita para os solos muito argilosos de atividade alta que já apartir da superfície apresentam um teor muito alto de argila, impedindo a infiltração d'água, esses solos mesmo sendo profundos se comportam como rasos, em termos de escoamento superficial.

- . **Raso:** caráter usado após o nome da classe de solo Podzólico Vermelho-Amarelo Equivalente Eutrófico (PE). Indica os solos desta classe com profundidade igual ou inferior a 50 cm.

- Afloramentos de Rocha

Esta unidade de mapeamento constitui um tipo de terreno e não propriamente solo, sendo representada por exposições de diferentes tipos de rochas, brandas ou duras, nuas ou com reduzidas porções de materiais detríticos grosseiros não classificáveis como solo, devido à insignificante ou inexistente diferenciação de horizontes, correspondendo mais propriamente a delgadas acumulações inconsolidadas de caráter heterogêneo, formado por mistura de material terroso e largas proporções de fragmentos originados da desagregação de rochas locais.

O relevo em que ocorrem os afloramentos de rocha é muito variável, onde podem apresentar-se em superfícies suaves onduladas, bem como, e com maior frequência, nas encostas íngremes ou dorsos das elevações, onde domina relevo acidentado (forte ondulado a montanhoso).

Sobre os Afloramentos de rocha de maior envergadura, tais como inselbergues, cristais e penhascos, desenvolvendo-se vegetação rala, constituindo formações rupestres, de caráter Xerófilo, onde predominam espécies baixas das famílias Cactáceae, Bromeliáceae, Apocynaceae e Velloziaceae.

- Fragipan

O fragipan compreende um ou mais horizontes do solo é caracterizado pelo aspecto maciço, consistência dura a extremamente dura, não plástico e não pegajoso. Em decorrência destes fatores, a permeabilidade aparenta ser rápida nos horizontes superiores devido à textura arenosa mas sofre um impedimento nestes horizontes, favorecendo o escoamento superficial quando o fragipan se encontra próximo à superfície.

- Húmico

Indica que o solo apresenta um horizonte superficial muito espesso, cores escuras (alto teor em matéria orgânica) e pelo menos 1% de carbono até uma espessura de 1 metro, no mínimo. Esta característica influencia a infiltração d'água e impede o escoamento superficial.

- Encrostamento

É a formação de uma camada delgada na superfície do solo. A formação dessa camada decorre do desmatamento de um determinado solo onde os teores de silte são muito elevados (relação silte/argila maior do que 2).

O silte preenche os poros, impedindo a infiltração d'água, proporcionando assim um maior escoamento superficial. A relação silte/argila alta indica que a ocorrência do encrostamento só é possível em solos jovens.

Sendo assim, presume-se que a formação do encrostamento ocorre, principalmente nos seguintes solos: Podzólicos, Cambissolos Eutróficos, Bruno Não Cálcico, Solos Halomórficos, Aluviões Siltosos, Solonetz, Solonehak, Solo Concrecionários, Planossolos, Regossolos, Litólicos e Rendzinas.

A presença de encrostamento deve ser apreciada no campo. Caso ocorra os valores centrais indicados nos sub-grupos deve ser alterada para um sub-grupo com valores de L_{600} superior.

Zelaquett Séraphim B.J., Cadier Eric, Barreto Batista da Silva F.H., Leprun Jean-Claude, Herbaud J.M., Doherty F.R., Frassinete de Araujo Filho P., Da Cunha Cavalcante N.M., Molle F., Cavalcanti de Albuquerque C.H., Paes Nascimento P.H., Montgaillard Marc, Alves Soares R., Mendes des Mercés

Dimensionamento de pequenas barragens no nordeste semi-arido. Recife (BRA)

Montpellier : SUDENE ; ORSTOM, 1990, 68 p. multigr.