

Choix de bassins représentatifs et expérimentaux pour l'étude de l'érosion sur le plateau basaltique sudaméricain

A. L. de O. BORGES & M. P. BORDAS

Institut de Recherches Hydrauliques (IPH), Université Fédérale du Rio Grande do Sul, CP 530, Porto Alegre 90001, RS, Brésil

Résumé Présentation d'une stratégie pour le choix de bassins sur lesquels étudier l'érosion et le transfert de sédiments à petite et moyenne échelle (<1000 km²). L'accent est mis sur l'adaptation de méthodes déjà existantes aux réalités locales, en particulier sur l'emploi du concept de dénivelée spécifique pour traduire l'influence du relief.

Selection of representative and experimental bassins for the study of erosion on the South American plateau

Abstract A strategy is presented for selecting basins for use in defining sediment production functions in basins of less than 1000 km². The adaptation of existing methods to local circumstances is emphasized, particularly the use of the specific height difference concept to express the influence of topography.

INTRODUCTION

Les régions où affleure l'épanchement de basalte qui a couvert l'Amérique du Sud au Crétacé présentent des conditions de sol, de topographie et de pluviométrie favorables à l'agriculture. Celle-ci, qui y était déjà prospère au dix septième et dix huitième siècles (Réductions jésuites de la République Guarani), s'y développe rapidement à partir de 1850, après l'arrivée d'immigrants européens organisée par le gouvernement. Ce développement est malheureusement anarchique et prédateur.

Le déboisement à outrance, la mécanisation systématique, l'utilisation incontrôlée de produits chimiques et la quasi monoculture du soja (durant les 20 dernières années) ont débouché sur une situation critique:

- caractérisée par (a) l'exacerbation de crues et d'étiages déjà très marqués naturellement, (b) l'accélération notoire de l'érosion, (c) la détérioration de la qualité des eaux;
- et dont les répercussions socio-économiques préoccupent, car elle concerne le plus souvent la petite propriété (30 ha).

Des efforts sont en cours pour enrayer la tendance (conservation des sols, reboisement, diversification des cultures, développement de la petite hydraulique ...) mais ils sont encore limités, désordonnés et se heurtent, dans leur systématisation, au manque de méthodologies simples pour dimensionner de petits ouvrages hydrauliques et orienter la gestion de l'espace. Comme il

faut agir en priorité au niveau du propriétaire, de la coopérative ou de la commune, ces méthodologies doivent être applicables à de petits bassins versants (<1000 km²), précisément ceux pour lesquels le réseau hydrométrique national ne fournit que de très rares informations.

Les données pluviométriques et pédologiques étant les seules disponibles, l'élaboration des méthodologies recherchées passe par l'utilisation de bassins représentatifs qui permettront leur mise au point et l'identification des zones où elles sont applicables. Restait à les choisir.

IDENTIFICATION DE BASSINS REPRESENTATIFS

La méthode utilisée n'a en soi rien d'original: Dubreuil & Guiscafre (1971) en ont posé les principes; Nouvelot (1974) puis Cadier & Pourrut (1979), entre autres, y ont déjà eu recours. Elle comporte deux étapes:

- identification de zones physico-climatiques théoriquement homogènes;
- choix d'une bassin type dans chacune de ces zones.

Bien que la notion d'homogénéité sur laquelle elle repose soit actuellement remise en question, on en a fait usage car elle conduit de toute façon à la mise au point des méthodologies recherchées, lesquelles doivent permettre:

- (a) de dimensionner (et, éventuellement, de choisir le meilleur emplacement) de petits ouvrages hydrauliques (réservoirs, prises d'eau, ponts et buses), cela en fonction, par ordre de priorité:
 - (i) des apports de sédiments;
 - (ii) des risques de crues;
 - (iii) des volumes d'eau à stocker pour faire face aux sécheresses fréquentes;
- (b) de promouvoir l'occupation rationnelle du sol et la gestion des ressources en eau en tenant compte surtout des pratiques de conservation des sols et d'irrigation à mettre en oeuvre.

Dans les deux cas, il est prévu de faire appel à des modèles déterministes à discrétisation spatiale dont les cellules élémentaires couvriraient au minimum 200 ha. Pour le premier, il est aussi envisagé de développer des fonctions de transposition du type "boîte noire" permettant d'évaluer de façon simple, rapide et économique, les éléments caractéristiques de projet.

La région intéressée couvre 230 000 km². Ses limites sont indiquées sur la Fig. 1, où sont également tracées les isohyètes annuelles caractéristiques. La moyenne pluviométrique annuelle est de 1700 mm. Les llatosols prédominent (92 000 km²), suivis par les "terras roxas" (72 000 km²) et les lithosols (66 000 km²). De façon générale, les cultures de soja, maïs, céréales prédominent à l'ouest du méridien 52°W; à l'est on trouve davantage de pâturages et de restes de la forêt originelle.

ZONES PHYSICO-CLIMATIQUES HOMOGENES

L'apport de sédiments aux cours d'eau constituant la problème prioritaire, ces

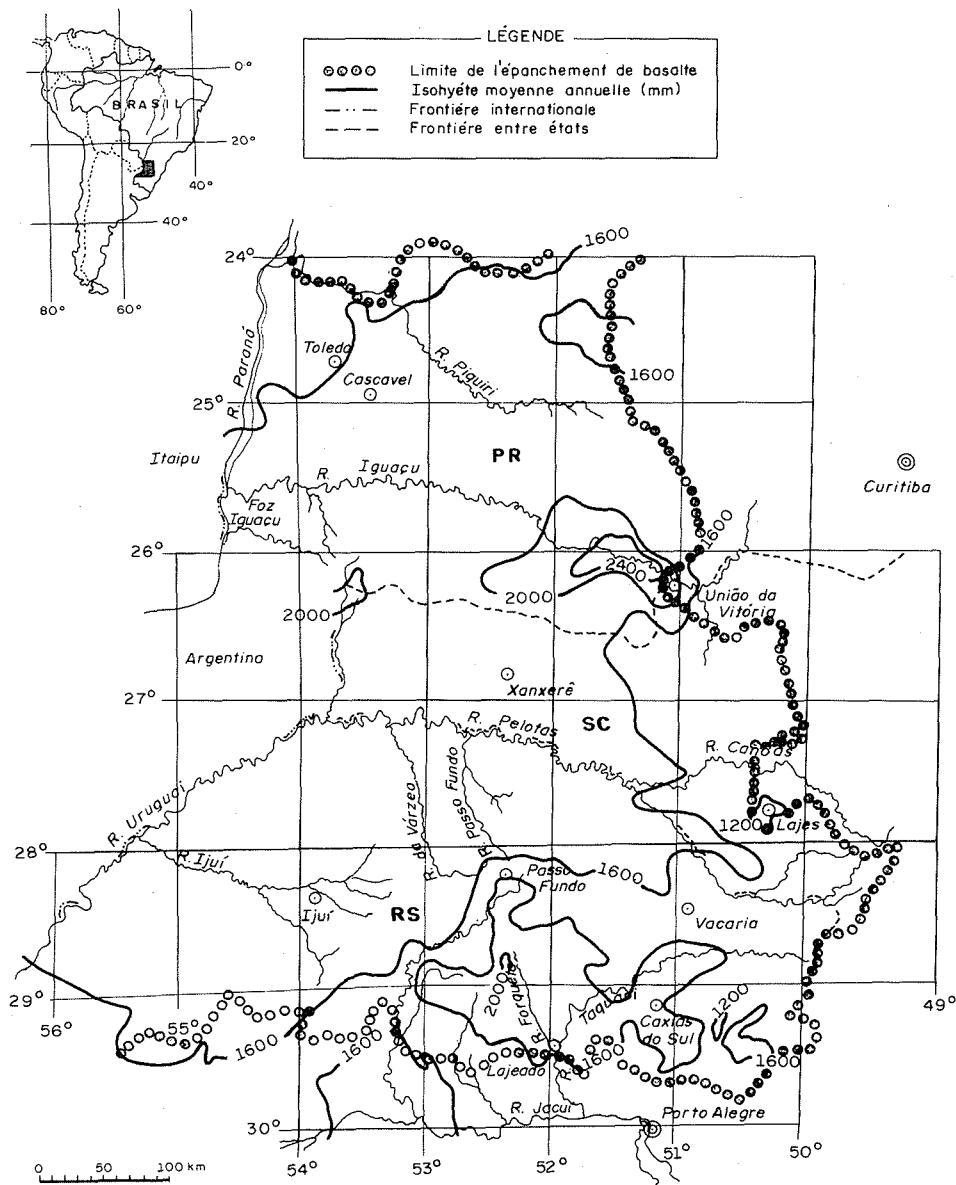


Fig. 1 Partie du plateau basaltique sudaméricain objet de la présente étude.

zones sont à délimiter par superposition des distributions géographiques des principaux facteurs responsables de la production de sédiments d'un bassin versant. Selon l'équation universelle de perte des sols modifiée, MUSLE (Williams, 1975), ces facteurs sont au nombre de cinq, mais en l'occurrence trois seulement sont à prendre en compte (écoulement, érodibilité, relief), puisque la recherche à mener prétend étudier l'influence des changements de couverture végétale et les effets des pratiques d'exploitation agricole et de

protection du sol.

Bien que simplifié, le problème n'est pas résolu, car les définitions de ces facteurs données par la MUSLE, outre les réserves qu'elles suscitent, ne sont pas adaptées aux conditions présentes. Il faut trouver des équivalences plausibles en accord avec les données disponibles. Ces dernières se résument:

- pour les écoulements: à des hauteurs d'eau (et parfois des débits) en de rares stations hydrométriques interceptant des bassins de moins de 1000 km²;
- pour les pluies: aux précipitations journalières relevées en 325 postes pluviométriques, dont 192 fonctionnent depuis plus de 20 ans et seulement 76 sont équipés de pluviographes;
- pour les sols: à une carte simplifiée de leur érodibilité, établie à partir de cartes pédologiques à grande échelle et de quelques données d'érosion sur parcelles de Wischmeier;
- pour le relief: à des cartes topographiques au 1:100 000 et 1:50 000, avec espacement des courbes de niveau de 40 et 20 m respectivement.

Les choix finalement faits ont consisté à remplacer les écoulements par l'érosivité des pluies et à caractériser les trois facteurs en jeu comme suit:

Erosivité Le petit nombre de pluviographes disponibles rend pratiquement impossible une régionalisation basée sur l'indice de Wischmeier. On a donc utilisé les précipitations journalières maxima de chaque mois, tracé des courbes intensité-durée-fréquence de chaque poste en partant de séries partielles (pour des pluies supérieures à 50 mm) ajustées à la distribution de Poisson, et déterminé les intensités de la pluie de récurrence annuelle I_{JM1} .

Trois zones de comportement semblables ont ainsi été identifiées (Tableau 1).

Tableau 1 Distribution de l'érosivité des pluies de récurrence annuelle

Zone	I_{JM1} (mm j ⁻¹)	Δ_m (mm)	Superficie: absolue (km ²)	relative (%)
I_1	93	±4	51 300	22.2
I_2	83	±2	123 650	53.50
I_3	71.5	±1.5	56 150	24.30
Total			231 050	100.00

Δ_m : Intervalle de confiance pour un niveau de signification de 95%.

Erodibilité Du point de vue de leur érodibilité, les sols de la région peuvent être classés en deux catégories (IPH/UFRGS, 1986):

K_1 : érodibilité élevée — $K > 0.30$

K_2 : érodibilité moyenne — $0.15 < K < 0.30$

Les seconds occupent 73% de la région.

Relief Son analyse a été menée à deux échelles:

- (a) **Bassin élémentaires de 2 km²**: Ces bassins sont qualifiés d'élémentaires du fait que les sédiments qu'ils produisent sont presque exclusivement le fruit de l'érosion superficielle. C'est du moins ce que laisse entendre l'expérience acquise sur les bassins de cette taille les plus inclinés, pour lesquels la charge solide totale dépend beaucoup plus des pluies que des débits (Silveira, 1982).

Cette propriété latente explique l'intérêt qu'on leur porte car ils devraient constituer les cellules de base de la discrétisation spatiale du modèle à développer, et l'étude des effets du type d'occupation du sol devrait être menée sur bassins expérimentaux de leur taille.

Les caractéristiques topographiques de ces bassins ont donc été inventoriées ce qui a conduit à les classer en sept familles (Tableau 2), après les avoir regroupés deux par deux pour faciliter la cartographie.

Tableau 2 Classification des microbassins élémentaires (400 ha) en fonction de leur relief

Familie	Limites de pentes	Nombre de bassins	Superficie:	
			km ²	%
1	0-4%	27 284	109 136	54.1
2	4-8%	12 435	49 740	24.7
3	8-12%	4 958	19 832	9.8
4	12-16%	2 527	10 108	5
5	16-20%	1 972	7 888	3.9
6	20-30%	1 051	4 204	2
7	30-40%	185	740	0.5
		50 412	201 648	100

- (b) **Bassins de 100-200 km²**: Choisie pour permettre l'adaptation de méthodes simples de prévision des crues décennales, cette taille paraissait adéquate, au départ, pour les bassins représentatifs de la région. 362 bassins ont été choisis et classés en fonction de leur dénivelée spécifique D_s , qui selon Dubreuil & Guiscafre (1971) serait le paramètre pratique le plus apte à rendre compte de la topographie et de la forme du bassin. Les classes correspondantes sont indiquées au Tableau 3.

La question se posait de choisir la taille moyenne des bassins et le facteur topographique qui caractériseraient au mieux le relief. Si le choix du bassin de 100 km² était assez évident, il n'en allait pas de même pour le facteur topographique. Finalement trois raisons firent retomber ce choix sur la dénivelée spécifique D_s :

- on conçoit que la production de sédiments d'un bassin croît avec l'énergie de son relief et qu'elle est d'autant plus grande que les débits seront forts, donc que la compacité du bassin est élevée;

Tableau 3 Classification des bassins de 100–200 km² en fonction de leur relief

Classe	D _s *	Type de relief	Nombre de bassins	Superficie occupée (km ²)
R1	10	très doux	17	-
R2	10/25	doux	5	-
R3	25/50	doux à modéré	23	-
R4	50/100	modéré	95	47 200
R5	100/250	modéré à fort	182	168 500
R6	250/500	fort	38	15 350
R7	500	très fort	2	-
Total			362	231 250

$$* D_s = \frac{D}{L} A^{1/2} = \frac{D \cdot 1.128}{C |1 + \sqrt{1 - (1.128/C)^2}|}$$

avec

D = dénivelée absolue du bassin

L = longueur du rectangle équivalent

A = surface du bassin

C = coefficient de compacité (Gravelius) = 0.282 P A^{-1/2}

- il y a correspondance entre les distributions spatiales des bassins (i) et (ii): les bassins élémentaires de la famille 1 sont plus fréquemment rencontrés en R4 qu'en R6 et *vice versa* pour la famille 7;
- les zones de relief R4, R5 et R6 correspondent presque exactement aux principales divisions géomorphologiques du Rio Grande do Sul.

La distribution de la dénivelée D_s montre que, topographiquement parlant, la région étudiée est décomposable en trois parties où prédominent respectivement les classes de relief R4, R5 et R6, plus une quatrième qui correspond à une zone de transition où sont mélangées les trois classes:

- le dessus du plateau, au relief modéré (R4), situé presque exclusivement dans le nord-ouest de l'état du Rio Grande do Sul;
- les "flancs de vallée" au relief modéré à fort (R5) et qui occupent la presque totalité de la région (73%);
- le rebord du plateau, au relief abrupt (R6), circonscrit à la partie sud-est;
- la zone de transition, au point de rencontre des trois précédentes.

Résultat

La combinaison des trois facteurs choisis conduit finalement à un découpage de la région en 13 zones physico-climatiques homogènes (Fig. 2) dont cinq occupent à elles seules 77% de l'espace: I₂K₂R₅, I₃K₂R₅, I₁K₂R₄, I₂K₁R₅, et I₃K₁R₅, qui couvrent respectivement 77 300, 28 400, 28 100, 24 200 et 19 100 km². Il est intéressant de constater que ce découpage coïncide avec la carte des productions spécifiques de suspension utilisée dans la régionalisation des risques d'érosion et sédimentation au Brésil (Bordas *et al.*, 1988).

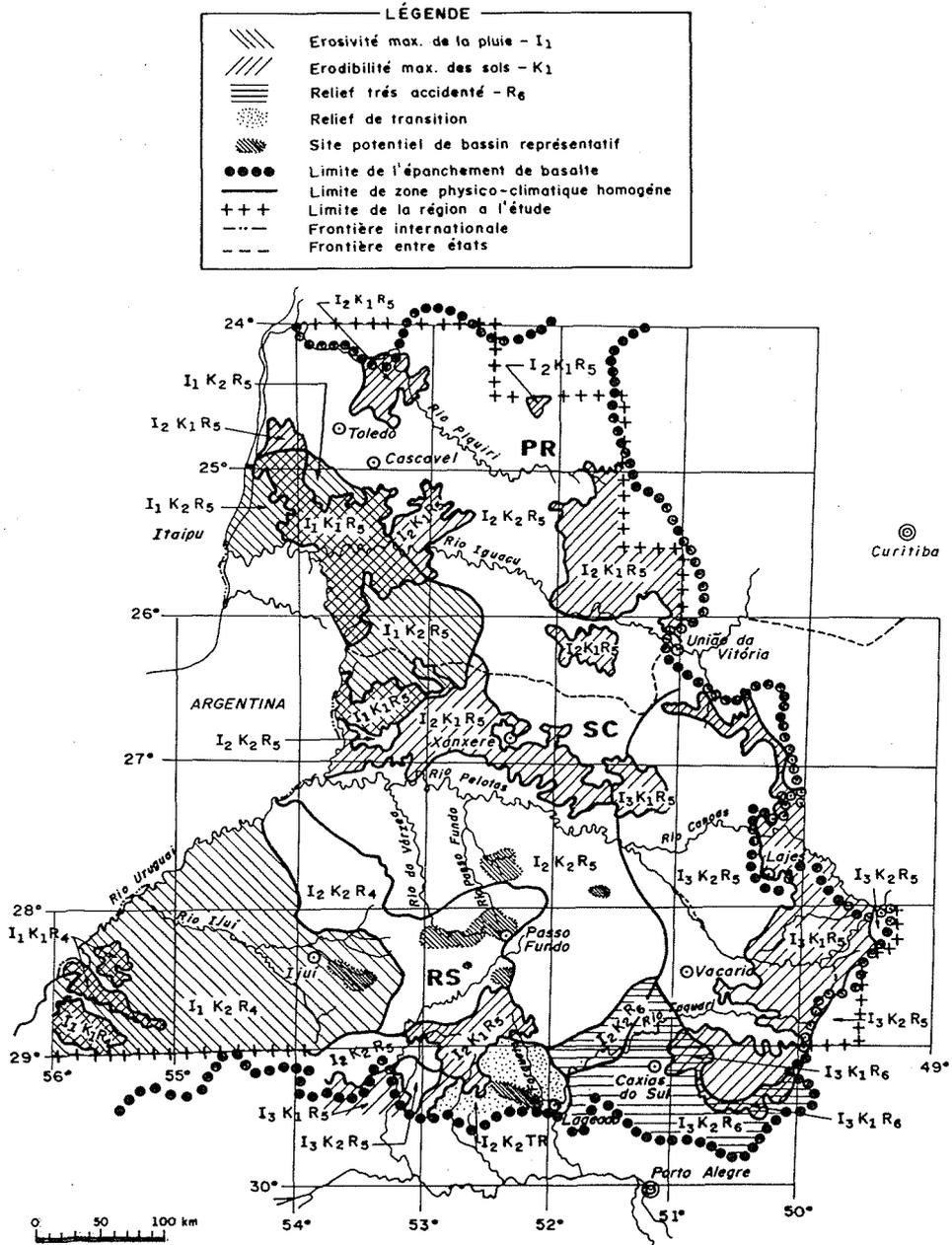


Fig. 2 Zones d'érosion potentielle homogène du plateau basaltique.

CHOIX DES BASSINS

Il n'est pas obligatoire d'installer un bassin représentatif pour chacune des zones de même comportement: à partir de modèles à discrimination spatiale dûment mis au point sur quelques bassin représentatifs judicieusement choisis, il sera possible de reproduire le comportement d'un bassin quelconque de la

région, à condition de connaître les fonctions de production élémentaires à mettre en jeu. La stratégie à suivre se situera donc à deux niveaux:

- choix de bassin représentatifs stratégiques;
- identification des bassins expérimentaux sur lesquels définir les fonctions de production élémentaires.

Choix de bassins représentatifs

- (a) Une première simplification du zonage antérieur laisse entendre que cinq bassins représentatifs seraient suffisants pour couvrir la région. Les effets de l'érosivité des pluies pouvant être étudiés sur bassin expérimental et avec l'aide de minissimulateur de pluies, il n'est pas indispensable d'installer une série de bassins représentatifs à seule fin d'étudier ce facteur. De même pour l'effet de l'érodibilité qui peut être étudiée sur parcelle. Ainsi suffirait-il de cinq bassins représentant respectivement les zones $I_2K_2R_6$, $I_2K_2R_5$, $I_2K_2R_4$, (étude du relief), $I_1K_2R_4$, (effet de l'érosivité) et $I_2K_1R_5$, (effet de l'érodibilité). A eux seuls ces cinq bassins couvriraient directement 67% de la région.
- (b) Le choix de l'emplacement final du bassin fait appel quant à lui à des critères de logistique. Six ont été retenus dont le premier est, de loin, le plus important:
- Motivation des communautés locales. Cela implique des agriculteurs et des municipalités préoccupés par la conservation du sol, mais aussi, si possible, des universités et des coopératives pouvant assurer le suivi régulier du bassin, surtout si celui-ci est éloigné de l'unité de recherche responsable.
 - Etre situé de préférence dans la région la plus cultivée (ouest du 52°W).
 - Facilités d'accès et de mesure, en particulier existence d'une station de jaugeage ou d'une retenue pour mesurer les sédiments.
 - Possibilités de mettre en oeuvre le modèle à discrimination spatiale, ce qui implique, vue la taille de cellule élémentaire choisie, un bassin d'au moins 400 km².
 - Possibilité de mettre en place divers modèles d'occupation du sol sur les cellules élémentaires (bassins expérimentaux).
 - Existence du plus grand nombre possible de bassins expérimentaux sur (ou à proximité du) bassin représentatif, de façon à réduire les coûts.

Choix des bassins expérimentaux

Ceux-ci devront représenter chacune des sept familles de bassins élémentaires (2 km²) identifiées, ainsi que les différents types d'occupation ou de protection du sol envisagée, sous des conditions d'érodibilité (et, le cas échéant, d'érosivité) différentes. Les critères de choix sont semblables à ceux des bassins représentatifs, aux adaptations près évidemment.

La mise en oeuvre de ces critères a été grandement facilitée par l'existence du projet national des "microbassins" (PNMH) lancé par le Ministère de l'Agriculture en 1987, qui a permis d'identifier les communautés locales les plus motivées. Finalement huit sites possibles de bassins représentatifs ont été reconnus dont deux seulement correspondent pour l'instant aux critères de choix retenus (voir Fig. 2):

- Bassin du Rio Potiribu (550 km²): zone $I_1K_2R_4$,
- Bassin du Rio Forquetinha (450 km²): zone $I_2K_2R_5$,

Remerciements Le Service National de Conservation des Sols de l'EMBRAPA, Le conseil National de la Recherche (CNPq) et le Pro-Rectorat pour la Recherche de l'UFRGS sont à remercier tout particulièrement, pour l'aide qu'ils ont apportée à la présente recherche.

REFERENCES

- Bordas, M. P., Lanna, A. E. & Semmelmann, F. R. (1988) Evaluation des risques d'érosion et de sédimentation au Brésil à partir de bilans sédimentologiques rudimentaires. In: *Sediment Budgets* (Proc. Porto Alegre Symp., December 1988). IAHS Publ. no. 174.
- Cadier, E. & Pourrut, P. (1979) Inventaire et détermination des données nécessaires à l'utilisation rationnelle des ressources en eau. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol. XVI* (3 et 4).
- Dubreuil, P. & Guiscafre, J. (1971) La planification du réseau hydrométrique minimal. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol. VIII* (2).
- IPH/UFRGS (1986) Elaboração de diagnóstico das condições sedimentológicas dos principais rios brasileiros (Diagnostic préliminaire des conditions sédimentologiques des principaux fleuves brésiliens). Rapport ELETROBRAS.
- Nouvelot, J. F. (1974) Planificação da implantação de bacias representativas (Planification de l'implantation de bassins représentatifs). ORSTOM/SUDENE, novembre 1974.
- Silveira, G. L. da (1982) Erosão do solo na encosta do planalto basáltico no Rio Grande do Sul. Representatividade dos parâmetros envolvidos na produção de sedimentos (Erosion du sol sur le rebord du plateau basaltique au Rio Grande do Sul. Représentativité des paramètres mis au jeu). Dissertation de Maîtrise, IPH/UFRGS, aout 1982.
- Williams, J. R. (1975) Sediment yield prediction with universal equation using runoff energy factor. In: *Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources*. USDA ARS-S-40.

