

## CART DU KARST DE LA REGION DE PEDRO LEOPOLDO – LAGOA SANTA, MINAS GERAIS, BRASIL – 1:50.000

J.P. COUTARD

H.C. KOHLER

A. JOURNAUX

## RÉSUMÉE

Réédition de la “Carte du Karst de la Region de Pedro Leopoldo – Lagoa Santa, Minas Gerais, Brasil – 1:50.000” et du commentaire, initialement publié par le Laboratoire d’Analyse et de Cartographie des Formations Superficielles de l’Université de Caen, et le Centre de Géomorphologie du Centre National de la Recherche Scientifique à Caen, en 1978. Recherches développés dans le cadre de l’ accord entre le Laboratoire de Pédologie et Sédimentologie de l’Institut de Géographie / Département de Géographie de FFLCH de l’Université de São Paulo et du Centre de Géomorphologie du Centre National de la Recherche Scientifique - Caen, sous la coordination de J.P. Queiroz Neto et A. Journaux. A Minas Gerais la coordination a ete apporté par H.C. Kohler, A. Prous et G. Vargas Barbosa (UFMG).

*Mots clés:* Cartographie géomorphologique; Relief karstique; Formations superficielles; Géomorphologie Quaternaire; Paléoenvironnement.

## RESUMO

MAPA DO CARSTE DA REGIÃO DE PEDRO LEOPOLDO – LAGOA SANTA, MINAS GERAIS, BRASIL – 1:50.000. Republicação do “Mapa do Carste da Região de Pedro Leopoldo – Lagoa Santa, Minas Gerais, Brasil – 1:50.000” e comentário, originalmente publicado pelo Laboratório de Análise e de Cartografia de Formações Superficiais da Universidade de Caen e Centro de Geomorfologia do CNRS em Caen, em junho de 1978. Pesquisa desenvolvida no âmbito do Convênio entre o Laboratório de Pedologia e Sedimentologia do Instituto de Geografia / Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo e o Centro de Geomorfologia - CNRS - Caen, sob a coordenação de J.P. Queiroz Neto e A. Journaux. Em Minas Gerais, a coordenação dos trabalhos coube a H.C. Kohler, A. Prous e G. Vargas Barbosa (UFMG).

*Palavras-chave:* Cartografia geomorfológica; Relevo cárstico; Formações superficiais; Geomorfologia do Quaternário; Paleoambiente.

## ABSTRACT

MAP OF THE KARST OF THE PEDRO LEOPOLDO – LAGOA SANTA REGION, MINAS GERAIS, BRASIL – 1:50,000. Republication of the “Map of the Karst of the Pedro Leopoldo – Lagoa Santa Region, Minas Gerais, Brasil – 1:50,000” and explanatory memorial, originally published by the Laboratoire d’Analyse et de Cartographie des Formations Superficielles de l’Université de Caen, and the Geomorphology Center of the CNRS in Caen, in 1978. Research developed under the agreement between the Laboratory of Pedology and Sedimentology of the Institute of Geography / Department of Geography of FFLCH from the University of São Paulo and the Geomorphology Center of the CNRS in Caen, under the coordination of J.P. Queiroz Neto and A. Journaux. In Minas Gerais, the activities were coordinated by H.C. Kohler, A. Prous and G. Vargas Barbosa (UFMG).

*Keywords:* Geomorphological cartography; Karst landform; Surficial formations; Quaternary geomorphology; Paleoenvironment.

## 1 INTRODUCTION

La région cartographiée se situe entre 20 et 30 km au nord de Belo Horizonte (Minas Gerais) et s'inscrit dans un rectangle de 15 km sur 20 km qui englobe les municipes de Lagoa Santa, Pedro Leopoldo, Matozinhos.

Les plateaux, dont l'altitude varie entre 600 et 900 m, sont intensément karstifiés. Ils sont constitués par les roches du groupe Bambuí (base du super-groupe São Francisco), venant recouvrir le socle gneissique, qui sont datées de la fin du Précambrien  $600 \pm 50$  MA et qui sont composées dans la zone étudiée par des calcaires, des calcschistes et des phyllites injectées de nombreux filons de quartz. Le calcaire est généralement pur, peu poreux, massif avec un faciès corallien, oolithique ou localement marmoréen. La base du Supergroupe São Francisco est formée par le conglomérat de la formation Carrancas.

Le groupe Bambuí est modérément plissé, souvent simplement ondulé; mais il est très fracturé par des failles et des diaclases orientées Sud-Ouest - Nord-Est et Nord-Ouest - Sud-Est, orientations existant également dans les unités géologiques qui entourent le bassin du São Francisco, et aussi par des diaclases obliques à forte inclinaison de l'ordre de  $30$  à  $45^\circ$  (Varginha, Baú). Ces fractures se sont créées ou ont été réactivées pendant les derniers épisodes du cycle brésilien 570 - 620 MA.

## 2 HYDROLOGIE DU KARST

Deux domaines s'opposent nettement sur la carte. Au Nord et à l'Ouest de Lagoa Santa et au Sud de Matozinhos, les *phyllites* altérées couvertes par le cerrado, occupent de larges surfaces. Le drainage superficiel est dense; le ruissellement diffus et concentré est intense et les *voçorocas* (*ravins*) sont nombreux, ainsi que les fonds de vallées humides. Autour de Pedro Leopoldo, de Matozinhos et de Fidalgo, au contraire, le calcaire est présent partout, l'écoulement en surface est très local – drains et rigoles aboutissant aux *ponors* et l'essentiel du drainage est souterrain. Seule la vallée de la Samambaia fait exception. Une forêt sèche et des buissons à xérophiles peuplent les affleurements calcaires; une forêt de type plus humide occupe certains fonds de cuvettes.

Les nombreux renseignements recueillis au cours du levé de la carte prouvent que l'écoulement général des eaux du karst est directement dépendant du pendage général des couches dirigé vers l'Est,

localement vers le Nord-Est ou le Sud-Est, et de la disposition du réseau de fractures. Le pendage des couches est plus fort ( $12$  à  $15^\circ$ ) et plus irrégulier à proximité du Ribeirão da Mata il est plus faible ( $4$  à  $6^\circ$ ) et plus régulier vers le Rio das Velhas.

Sur la carte apparaissent bien les principaux réseaux d'écoulement. Les eaux du Palmeira et des dépressions de Matozinhos se dirigent vers Poçoões, puis vers le Mucambo affluent du Velhas. Notons que dans ce secteur la circulation des eaux est semi-aérienne et semi-souterraine. Les eaux de Confins et de Carroção viennent vers Lapa Vermelha avant de rejoindre la Samambaia. Cette rivière est alimentée par d'importantes *résurgences* dont une possède des dépôts de tuf. Le Sumidouro de Fidalgo bien alimenté par le bassin karstique de la Samambaia perd ses eaux par les ponors de sa paroi orientale; la principale *résurgence* se situe à Olho d'Água sur la rive droite du Velhas. Les eaux de la zone de Cerca Grande rejoignent le Mucambo. L'ensemble du système karstique étudié se rattache par conséquent au Rio das Velhas et est indépendant du Ribeirão da Mata.

Le karst de la région de Lagoa Santa est caractérisé par l'abondance des dolines coalescentes qui continuent à s'approfondir. Les *lacs temporaires* aux limites fluctuantes sont très nombreux et la grande diversité des altitudes de leurs fonds donne une idée de la complexité des circulations souterraines. Sur la carte sont portées les limites d'extension maximales des lacs (connues soit d'après les cartes anciennes et les photographies aériennes, soit d'après l'étude de terrain: extension des sols hydromorphes ou à concrétions de fer et de manganèse), et les limites des lacs en Novembre 1977 après une période sèche normale. En 1976, après une période sèche exceptionnelle, le Sumidouro de Fidalgo lui-même était presque vide, seulement parcouru par les méandres des bras de la Samambaia. Les minima et les maxima du niveau des lacs reviennent avec une périodicité de l'ordre de 15 ans. Au maximum de leur remplissage, certains lacs ont une lame d'eau qui peut dépasser 15 m au point le plus profond (Confins, Lapa Vermelha); parfois des galeries abandonnées et perchées au-dessus des ponors actuels fonctionnent temporairement (Poçoões). Malheureusement les renseignements spéléologiques sont encore trop rares pour avoir une bonne connaissance de la zone d'oscillation de la nappe. Seule la circulation vadose a fait l'objet de quelques reconnaissances. L'écoulement

souterrain est permanent à Palmeira, Poções et Lapa Vermelha.

Les nombreuses fluctuations du niveau d'eau des lacs karstiques s'opposent à la relative stabilité des lacs *pseudo karstiques* installés sur les phyllites: Lagoa dos Mares, Lagoa Santa.

Les eaux de surface sont très douces: *degré de dureté* allemand inférieur à 5; et légèrement acides: pH 6,5 (mesures effectuées à Lagoa Funda, Confins et sur le Rio das Velhas). Les eaux du karst ont une dureté moyenne: *degré de dureté* allemand 9, leur pH est nettement basique: 7,5 à 8 (mesures effectuées à Lapa Vermelha, Poções et sur les résurgences de la Samambaia). Après les pluies importantes, les eaux de surface se chargent de sables et d'argiles et prennent une teinte rouge; au contraire, les cours d'eau fortement influencés par le karst restent clairs (Samambaia, Jaques inférieur).

### 3 ÉVOLUTION DU KARST

Le *karst* est encore partiellement couvert par un matériel complexe provenant des épandages des anciennes surfaces et de l'altération in situ des phyllites riches en filons de quartz et du calcaire (liseré chocolat de décarbonatation présent presque partout au contact de la roche). Tout ce matériel a été plus ou moins remanié par des processus de colluvionnement et obture les lapiès et les diaclases verticales et obliques.

L'évolution du karst et son approfondissement peuvent être suivis grâce aux *emboîtements de dolines* particulièrement nets à Macaco, Cerca Grande, Varginha et à l'étagement des grottes, abris et fenêtres sur les grandes parois calcaires. Une bonne concordance existe fréquemment entre les témoins des anciens fonds des dépressions et la position des *fenêtres* sur les parois. Les mesures réalisées montrent que dans tous les grands ensembles, un niveau d'anciens ponors prend place 30 à 35 m au-dessus des ponors actuels. Il peut être mis en rapport avec le cycle moyen du Rio das Velhas qui a vu l'établissement de terrasses 20 à 25 m audessus du niveau actuel. Un second niveau d'anciens ponors se situe 12 à 15 m audessus du niveau actuel de perte des eaux. Les plus beaux *étagements de ponors* sont visibles à Lapa Vermelha, Macaco-Baú, Varginha, Faustina (Matozinhos) et Cerca Grande.

Les dépressions sont en cours d'approfondissement: petites dolines et ponors fonctionnels.

### 4 LES FORMES KARSTIQUES

Parmi les formes souterraines il faut citer les *grottes* et les *galeries*. Toutes ont un lien étroit avec les diaclases principales de la roche, les diaclases de décompression parallèles aux parois étant rares (Cerca Grande, Lapa Mortuaria) la plupart des grottes sont de petite taille, toutefois quelques-unes ont des dimensions non négligeables. Par exemple Lapa Vermelha I mesure 30 m de large et 15 à 20 m de haut, Ballet 20 m de longueur sur 8 m de hauteur; la plus grande grotte de Cerca Grande atteint 40 m sur 40 m et 7 m de hauteur moyenne; à Poções un ancien cours de rivière souterraine peut être suivi sur 350 m; et à Lapinha la grotte ouverte au public est visitable sur 150 à 200 m de longueur et 40 m de dénivellation.

Plusieurs grottes sont en fait des sections de *galeries paragénetiques* très hautes et étroites (Lapa Vermelha III et VI, Baú, Poções, Caieiras) possédant des *banquettes* latérales allongées et des vestiges de planchers stalagmitiques suspendus indiquant la limite des anciens remplissages et des anciens niveaux d'écoulement. De même des restes de brèches sont quelquefois plaqués près des plafonds (Lapinha, Lapa Vermelha). De beaux *méandres de voûte* et des *pinacles inverses* sont visibles à Lapa Vermelha et Baú. L'extrémité des pendentifs de voûtes s'est souvent décollée selon un joint de stratification, probablement au moment du dénoyage des galeries (*éboulement de décru*).

D'anciennes *galeries syngénétiques* (en conduite forcée) de section elliptique et sans remplissage existent à Cerca Grande.

Les *planchers stalagmitiques* sont rarement conservés (destruction par les fouilles), mais des *travertins* et *barrages* stalagmitiques sont visibles à Lapinha et Poções. En raison du caractère massif et peu poreux du calcaire, les *stalactites* sont étroitement localisées sur les fractures; les plafonds restent lisses.

Les formes de surface sont de trois types: formes en creux du type doline, lapiès, et formes linéaires du type paroi. Les *dolines d'effondrement* en baquet ou en puits sont les plus petites et les plus rares (plateau de Lapa Vermelha, Carroção). La plupart ont une forme générale en *entonnoir* ou en cuvette et une dissymétrie prononcée avec opposition d'une paroi calcaire et d'un versant couvert de colluvions sur lesquelles ruissellent les eaux de pluie. Les dolines sont alignées sur les principales fractures (bel exemple entre Cocho d'Água et Fidalgo) et les plus grandes dépressions

sont sur des croisements de diaclases majeures: Macaco, Varginha.

Une seule vaste dépression mérite le nom de *plaine karstique*, celle de Mocambeiro occupée par de nombreux lacs plus ou moins temporaires et aux limites variables: Lagoa Redonda, Lagoa Maria Angelica, Boca de Sumidouro, Vargem da Pedra. La plaine est entourée de reliefs: massif de Macaco et Massif de Cerca Grande à l'Est et au Sud-Est, massif de Poções à l'Ouest, massif de la Fazenda Jaguara au Nord-Ouest (hors carte). Edifiée en fonction du niveau de base du Rio das Velhas et de son affluent le Mucambo, cette plaine possède plusieurs *hums* près de Mocambeiro (Vargem da Pedra) et de la Fazenda Experiência. Le petit massif de Caetano est un *hum* en cours de dégagement.

Une *vallée aveugle* de petite dimension se localise au Nord-Est de Lapinha; la plus belle vallée de ce type est celle du Palmeira; reculées et gorges sont rares.

Parmi les formes décimétriques nous devons citer les *micro-lapiès* qui modèlent certaines surfaces mais surtout aboutissent à un véritable guillochage des parois à l'entrée des ponors, là où les eaux sont plus agressives en raison de leur charge en acides humiques et en débris végétaux en cours de décomposition. De même, les *lapiès horizontaux* se développent dans la partie superficielle du karst, où l'activité biologique est intense, et mettent en valeur les joints de stratification. Enfin, de grandes *cannelures* étroites rainurent les parois verticales.

A une phase de biostasie sous couvert végétal dense favorable à une intense altération des calcaires et des calcschistes avec formation de poches et de grands lapiès plus ou moins nombreux selon la densité du diaclasage, a succédé une phase de rhexistasie, pour une part anthropique, qui a entraîné une ablation irrégulière du manteau d'altérites. Lorsque le dégagement de la couverture est partiel, seul le sommet des chicots rocheux affleure; c'est le cas des *versants à verrues*. Si le déblaiement est plus complet, on voit apparaître des *tours larges* de plusieurs mètres parfois de plus d'un décimètre, hautes de 5 à 15 mètres environ (Samambaia, Varginha, Bau). Parfois de grands couloirs sont totalement déblayés, de véritables *ruelles* divisent les massifs calcaires (Lapinha, Cerca Grande, Carroção, Periperi). L'ensemble de Macaco-Baú revêt un aspect ruiniforme avec ses piliers, tours, arches et galeries.

Plus que les massifs calcaires largement dégagés des altérites et des colluvions comme ceux de Cerca Grande et de Lapinha, les *grandes parois*

sont le trait caractéristique de la région kastique étudiée. Ces parois atteignent fréquemment 45 à 60 m de hauteur (Lapa Vermelha, Baú-Macaco, Poções, Cerca Grande); les plus grandes correspondent à des accidents tectoniques importants, chemin préférentiel d'écoulement des eaux, et des gorges s'établissent à leur pied: Terraço, Varginha, Periperi. Le plus bel ensemble se développe de Cocho d'Água à Confins. Il faut noter aussi l'aspect quadrangulaire de la dépression de Varginha guidée par des fractures. L'évolution des parois se fait par surcreusement à leur pied et par *éboulement*. Certains des éboulements sont liés à la présence de diaclases obliques élargies par dissolution.

Presque toutes les parois présentent une obliquité qui permet l'établissement d'*abris* peu profonds et de grande hauteur. A. Journaux explique l'origine de ces formes de la façon suivante. Au départ, la combinaison du pendage des couches et de la position des diaclases majeures entraînant un sens préférentiel d'écoulement des eaux et la naissance de ponors où disparaissent les eaux. Une petite paroi se forme; démunie de couverture susceptible de maintenir l'humidité assurant la dissolution du calcaire, elle s'immunise pendant que l'altération se poursuit dans le reste de la dépression. Toutefois, la dissolution reste active au pied de la paroi, là où les eaux superficielles disparaissent et où les eaux des lacs temporaires stagnent. La combinaison de l'enfoncement vertical et du recul latéral explique ainsi la forme inclinée des parois. Néanmoins, les plus grands *encorbellements* sont liés à des effondrements guidés par les diaclases obliques: Poções (Lapa do Chapéu); Varginha, Sumidouro ou bien à l'éventration d'anciennes galeries. Les encoches secondaires sont liées aux anciens niveaux d'eau existant lorsque les dolines étaient moins surcreusées.

## 5 REMPLISSAGE DES GROTTES ET DES ABRIS – L'OCCUPATION HUMAINE

Presque tous les *remplissages des grottes* et des abris ont été bouleversés par les fouilles menées au XIX<sup>e</sup> siècle et au début du XX<sup>e</sup> siècle. Il est devenu, sauf en de rares exceptions, impossible d'entreprendre des études stratigraphiques.

Seul le grand abri de Lapa Vermelha IV (P.L.) a fait l'objet d'une étude détaillée. Le remblaiement y atteint une épaisseur de 15 mètres. Les datations vont de 25.000 BP à 1.620 BP. Le matériel est piégé

derrière des blocs provenant d'un éboulement ancien de la paroi. Les lentilles allongées de sables et de silts, dans lesquelles s'intercalent des niveaux argileux témoignent d'une sédimentation par des eaux calmes à l'entrée d'un ponor. L'étude détaillée du site (A.J. 1975-1977) a mis en évidence les oscillations anciennes du niveau du lac temporaire de la doline, dont le fond est aujourd'hui environ cinquante mètres en-dessous de l'abri, et surtout certaines fluctuations du climat au Quaternaire récent: après la période de creusement de la doline, un dépôt argileux s'accumule entre 25.000 et 10.000 BP; puis intervient une période sèche qui s'étend de 10.000 à 6.000 BP avec sédiments carbonatés et dépôts stalagmitiques; suit une période plus humide 6.000 et 3.000 BP avec niveau du lac élevé et sédiments lités de ponor décarbonatés; enfin prend place une période plus sèche de 3.000 à nos jours avec sédiments carbonatés pulvérulents. A Cerca Grande, C. de Paula Couto a mis en évidence un climat sec entre 11.000 et 8.000 BP, puis plus humide entre 8.000 et 4.000 BP.

Une *faune quaternaire* importante a été trouvée dans les remplissages d'abris et de grottes. Elle comprend des Edentés (Mégatherium, Glossotherium, Tatou, Glyptodon); des Artiodactyles (Camélidés, Suidés, Cervidés, Equidés, Tapiridés); des Proboscidiens (Mastodonte), des Carnivores (Machairodus, Félidés, Canidés, Ursidés), des Marsupiaux et des Rongeurs. A Lapa Vermelha (P.L.) la faune de la base (25.000 - 10.000 BP) est constituée de rongeurs, de cervidés et de suidés de taille moyenne, tandis que la faune du sommet est de taille plus petite: rongeurs, lézards et restes de poissons.

La *présence de l'homme* se traduit par la découverte de squelettes, d'outillages, de

céramique et de peintures rupestres. Les principaux sites ayant fourni des *vestiges humains* sont Sumidouro: 30 squelettes, Eucalipto: 14 sépultures, Lapa Mortuaria de Confins: 80 individus. *Le mobilier* appartient à des civilisations pré-céramiques qui ont occupé les grottes et les abris et à des civilisations à céramiques qui ont soit assuré la continuité d'occupation sur les mêmes sites, soit créé des sites nouveaux de plein air (Poções, Vargem de Pedra, Lapa Vermelha, Arruda). L'outillage consiste essentiellement en «chopping-tools» et couteaux façonnés sur des galets de quartz et de jaspé, en éclats, couteaux, grattoirs et pointes de flèche en quartz, en haches et disques de pierre polie. Trois sites ont fourni des datations antérieures à 9.000 ans BP pour les couches à occupation humaine: Caieiras, Cerca Grande, Lapa Vermelha P.L.

A l'exception de la grotte de Ballet, toutes les *peintures* sont localisées sur des parois d'abris et reçoivent le soleil au milieu de la journée (12 à 14 heures). Les plus beaux ensembles sont ceux de Sumidouro; bâtonnets, signes grillagés, cervidés; de Cerca Grande: cervidés, crocodile, tatous, singe, poissons, oiseaux; et de Ballet: peintures anthropomorphes, poissons, cervidés. Les peintures de Lapa Vermelha sont antérieures à 3.800 BP.

Les peintures rupestres sont aujourd'hui menacées par les calcins qui se déposent par ruissellement sur les parois, par le lavage et les dépôts de fer et de calcin liés aux hautes eaux des lacs (Cerca Grande), par la desquamation locale de la roche et les graffitis.

Il est permis de penser qu'il s'agissait de sites de campements temporaires, où pêcheurs et chasseurs faisaient de petits feux non construits, protégés par les abris sous roche.

#### Auteurs consultés:

M. Coutinho Beltrão, F.F.M. de Almeida, E.O. Ferreira (Carta tectônica do Brasil), A. Journaux, H.C. Kohler, A. Laming-Emperaire, J. Nicod, A. Prous, Ph. Renault, W.U. Schoell, A.W. Romano e M. Teixeira da Costa (Mapa Geológico do Estado De Minas Gerais), J. Tricart.

#### Crédits:

##### *Rédaction du commentaire:*

Jean-Pierre Coutard et André Journaux (Centre de Géomorphologie du CNRS); Heinz Charles Kohler (Laboratório de Pedologia e Sedimentologia - Inst. Geog. - USP e Instituto de Geociências - Departamento de Geografia - UFMG - Belo Horizonte)

*La carte a été levée et dressée par:*

H.C. Kohler, A.M. Cançado, D.G. Gomes, F.L. Macieira, N.R. Nascimento (Departamento de Geografia - UFMG - Belo Horizonte); A. Journaux, J.P. Coutard, D. Alduc, J. Pellerin (Centre de Géomorphologie du CNRS et Université de Caen); A. Laming-Emperaire et A. Prous (Mission Franco-Brésilienne d'Archéologie et Secteur d'Archéologie - UFMG - Belo Horizonte); J.P. de Queiroz Neto, L. Coltrinari, R.P. Dias Ferreira, S.M. Stanowski (Laboratório de Sedimentologia e Pedologia - IGEOG-USP, São Paulo).

*Le dessin définitif:*

Michele Lavollé, Centre de Géomorphologie du CNRS à Caen.

*Les recherches ont été financées par les organismes suivants:*

UFMG - Belo Horizonte, Instituto de Geociências, Depto. de Geografia; CNPq UFMG, Belo Horizonte; Centre de Géomorphologie du CNRS à Caen; FAPESP, São Paulo; CNPq, Rio de Janeiro.

*L'impression et la publication:*

Laboratoire d'Analyse et de Cartographie des Formations Superficielles de l'Université de Caen, et le Centre de Géomorphologie du CNRS à Caen.

*Traduction en portugais:*

Luzia Mesquita de Almeida Simons et de Maria Regina Sader.