



**LISTING, EVALUATION AND TOURISTIC UTILISATION OF  
GEOSITES CONTAINING ARCHAEOLOGICAL ARTEFACTS  
CASE STUDY: CICEU RIDGE  
(BISTRITA-NASAUD COUNTY, ROMANIA)**

Ioan Bâca  
john\_grimo@yahoo.com

Eduard Schuster  
eschuster@geografie.ubbcluj.ro

Babes-Bolyai University Cluj-Napoca, Faculty of Geography, Bistrita Extension, Andrei Muresanu St.,3-5

**ABSTRACT**

The Ciceu Ridge Geosite is located in Bistrița-Năsăud County (Romania) and is characterised by important geological and geomorphological features which exert influence at cultural and historical level. Thus, through its geo-morphometric parameters and its situation in the vicinity of the Someșul Mare Valley, the Ciceului Crest gained since ancient times special cultural and historical values, as proven by the multitude of archaeological artefacts it comprise, dating from Dacian, Roman, and medieval periods. The present paper intends to complexly list and evaluate this geosite for its touristic utilisation. As such, basing on an inventory list, we evaluated the scientific, ecological, aesthetical, cultural, and economic value of the Ciceu Ridge, assigning to each criterion appointed to these values a score between 0 and 1. The results revealed that the geosite has a high scientific, aesthetic, and cultural value (scoring between 0,82 and 0,93), which assure a high attractiveness, and low ecological and economic value (0,4 – 0,5 points), which has a negative effect on the utilization, protection, and preservation of its components.

**Keywords:** geodiversity, geomorphosite, geotourism, geoarchaeology, Ciceu Ridge

## 1. INTRODUCTION

During the last decade, geomorphologists' interest was oriented towards listing and evaluating geosites for their future touristic utilisation. Geosites and geomorphological sites are relief forms with a scientific, aesthetical, ecological, economical, and cultural value, in respect of human perception, that complete the total heritage of a given territory, beside biodiversity and human creation (Panizza, 2001, Panizza, Piacente, 2003, Panizza, Piacente, 2008, Marthaler, 2003, Reynard, Coratza, Regolini-Bissig, 2009, Reynard, Regolini-Bissig, Kozlik, Benedetti, 2009, Ilieş, Josan, 2009).

In the evolution of human society, the relief was not only a support for economic activities, but also fulfilled a strategic role, of defence against invasion and war. Thus, some relief form gained cultural and historical value, as special constructions for observation and defence occurred: citadels, castles, observation towers, etc.

Some of these artefacts are functional to the present day, while other resist only as archaeological vestiges, revaluing the comprising relief, providing the latter a cultural and educative value that may be utilised through various touristic activities. This also applies to numerous vestiges and artefacts in Bistrița-Năsăud County, emphasising the strong relation between human communities living here and its relief.

Bistrița-Năsăud County lies in north Romania, at the contact between the Transylvanian Depression and the Eastern Carpathians (figure 1). The county's relief presents two geomorphological steps in form of a natural amphitheatre which opens widely towards the Transylvanian Depression: the mountain level to north and east, comprising the Țibleș – Rodna – Bârgău – Călimani mountain area, and the hill region in the south, south-west and west, represented by the Someșului Mare Hills, the Bistriței Hills, the Lechinței Hills, the Jimborului Hills, and the Ungurașului Hills.

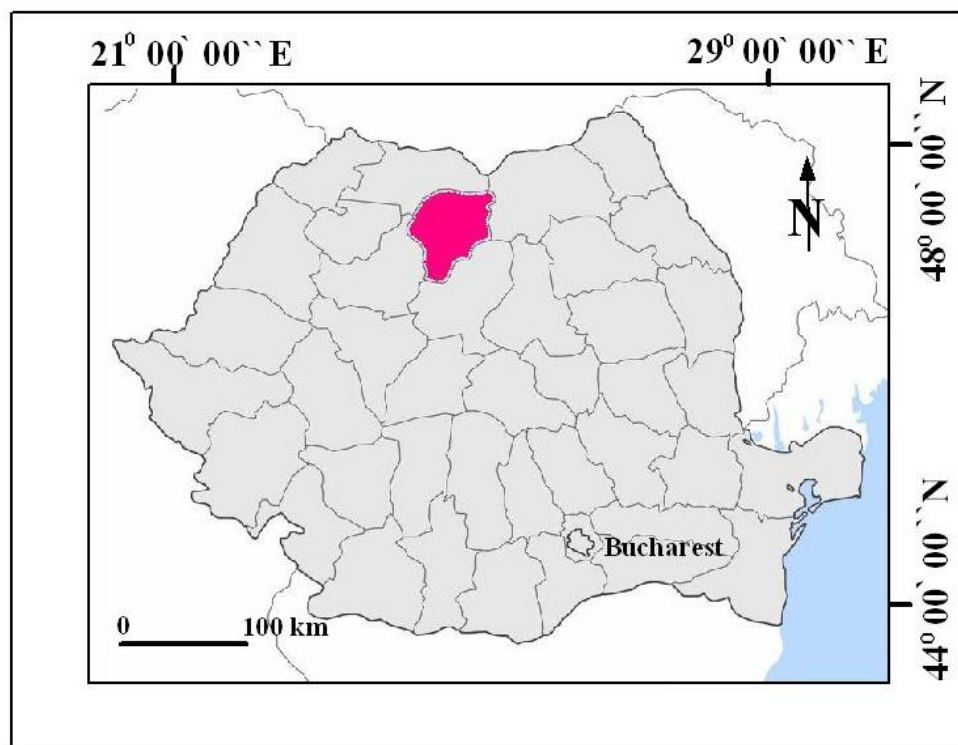


Figure 1-Geographical location of the Bistrita-Nasaud County in Romania

These geomorphological units comprise a relief which stirs, in addition to a strictly scientific interest, also a cultural and historical interest, as they served over time, through their position and geo-morphometric parameters (altitude, energy, slope) as base for the placement of settlements, fortifications, or roads with historical relevance. Such geosites, with strategic functions, are represented by prominent peaks and elongated crests which offer good visibility over the nearby communication corridors. Among these geosites, the most geo-archaeological important ones are: Cetății Hill from Bistrița, Cetățuii Peak from Pintic, Cetății Hill from Viile Tecii, Cetății Peak from Anieș, Ciceu Ridge and Păltiniș Ridge from Sita Spermezeului and Băile Figa (figure 2).

The Cetății Hill from Bistrița (680 m) rises above the Bistrița Ardeleană couloir and the Dumitra Depression as a narrow crest on a synclinal slope carved on Jabeșița conglomerates, preserving vestiges of a middle-age earth fortress, represented by enclosures, ditches, earth mounds and slopes.

The Cetățuii Peak from Pintic (549 m) rises above the Pinticului Valley and resembles a cone situated at one end of a crest, surrounded by radial-divergent slopes. On its top, there are vestiges of an early middle-age earth fortress, represented by ditches and earth mounds.

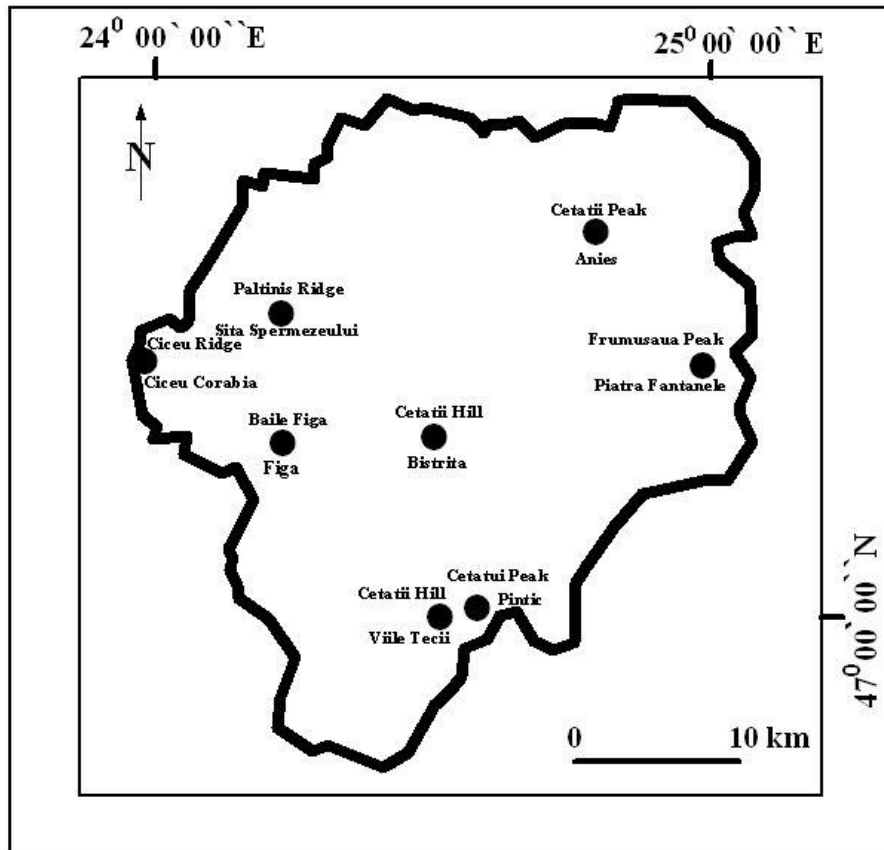
The Cetății Hill from Viile Tecii (512 m) guards the Dipșa Valley, shaped as an isolated cone. Here, artefacts from the Dacian period until the late Middle Ages have been discovered.

The Cetății Hill from Anieș (759 m) dominates the valley of the Someșul Mare River in the form of a blunt peak over a ridge, offering a wide visibility towards the Rodna basin, holding traces of medieval earth fortress.

The Păltiniș Ridge (700 m) from Sita Spermezeului dominates the valleys of Ilișua and Curtuiuş, preserving vestiges of a roman watchtower and Băile Figa (*Spa*) near Beclean preserve artefacts from the Bronze Age and Iron Age linked to salt mining and utilisation.

It can be noticed that most of these geosites are named “Cetății (*Fortress*) Hill” or “Cetății (*Fortress*) Peak”, revealing their strategic role in the past.

Beside these geosites, several other can be mentioned, preserving World War II fortifications (entrenchments, shooting ranges, communication ditches, shooting positions): Bistricior Crest, dominating the Dorna Valley and the Colibița Depression, Tihuța Hill in the Bârgău Defile, or Dosul Zâmbraiei in the Bârgău Mts.



**Figure 2-**The Map of geosites with archaeological vestiges in Bistrița-Năsăud County

The presence of these archaeological valuable geosites in the county of Bistrița-Năsăud offers a series of educational and touristic opportunities, thus supporting cultural, historical, and geo-didactic tourism (Panizza, Piacente, 2008, Pralong, 2009).

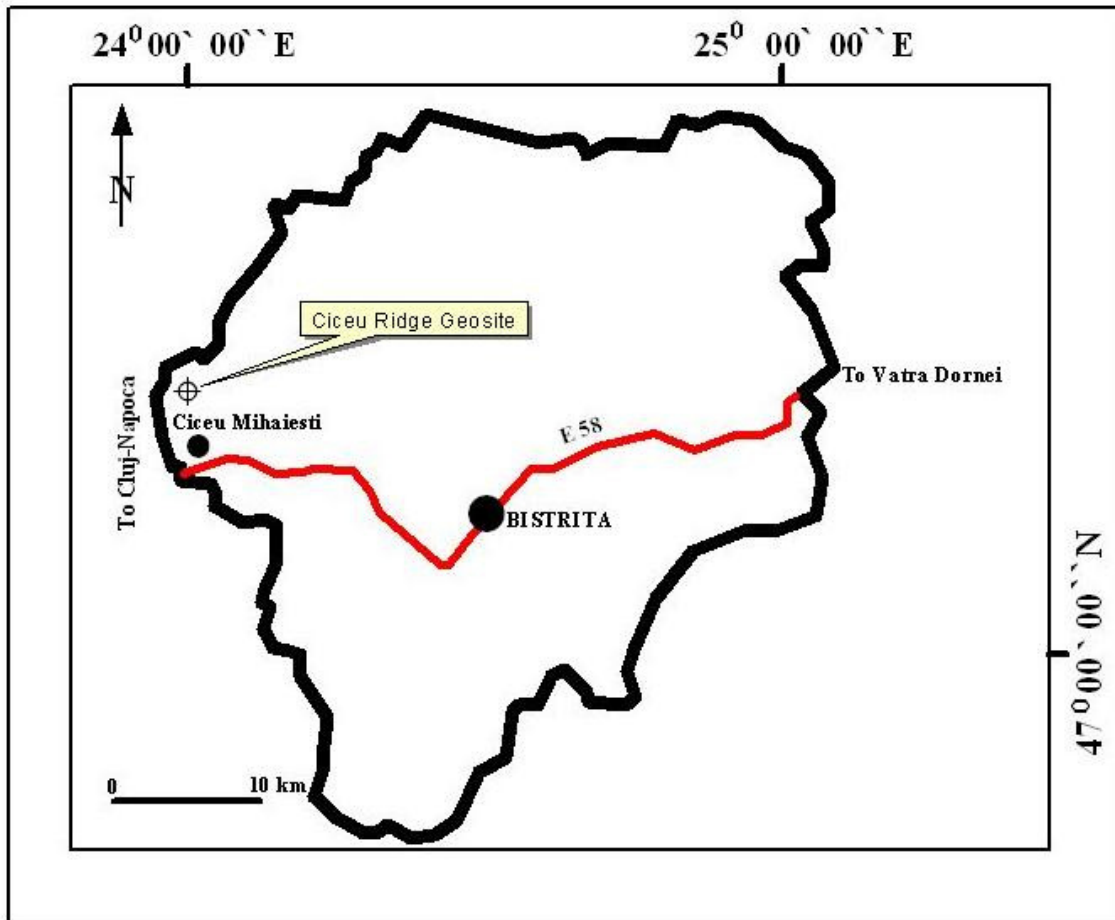
## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1. Geographical position and characterisation of Ciceu Ridge geosite

The Ciceu Ridge geosite lies in the west of Bistrița-Năsăud county, in the

Our article attempts to catalogue and evaluate the Ciceu Ridge geosite, which has an important historical value, besides the scientific dimension, and is therefore valid to be included in touristic circuits, basing on future utilisation strategies.

central part of the Ciceu Hills, a subunit of the Someșul Mare Hills, 7 km north of Ciceu Mihăiești and the European route E58 (figure 3).



**Figure 3-**Geographical position of Ciceu Ridge geosite in Bistrita-Nasaud County

The Ciceu Ridge was modelled on a volcanic massif from the Badenian, and is formed of rhyo-dacitic ignimbrites and fallout tuffs. It stretches along a W-E-NW-SE line, neighbouring the Sălătruc Valley to the west, the Bricii Valley to

north-west, the Dumbrăveni Valley to north-east, the Girgești Valley to east and south-east, the Merilor Valley to south-west and the Ciceu Valley to the south (figure 4).

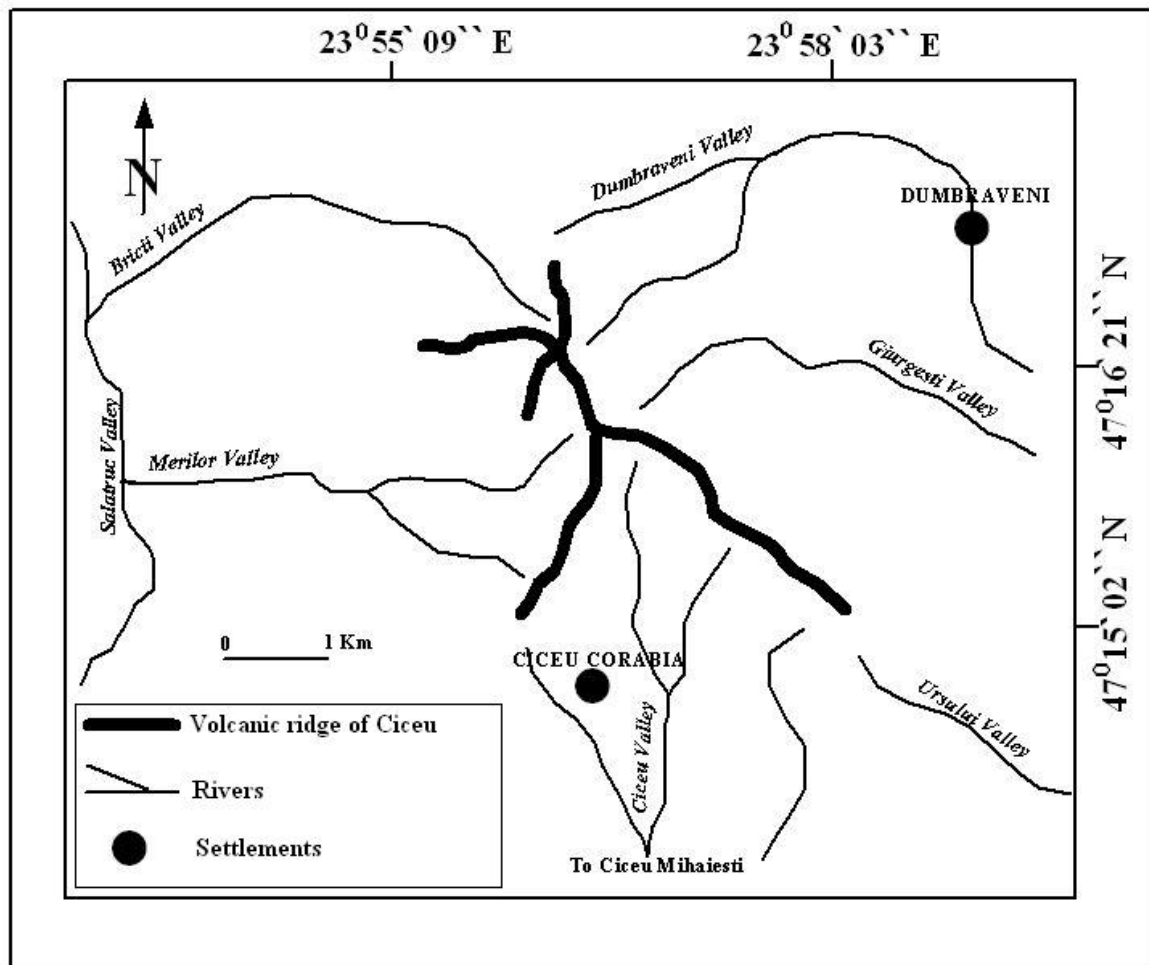


Figure 4-Geographical position of Ciceu Ridge within Ciceul Hills Unit

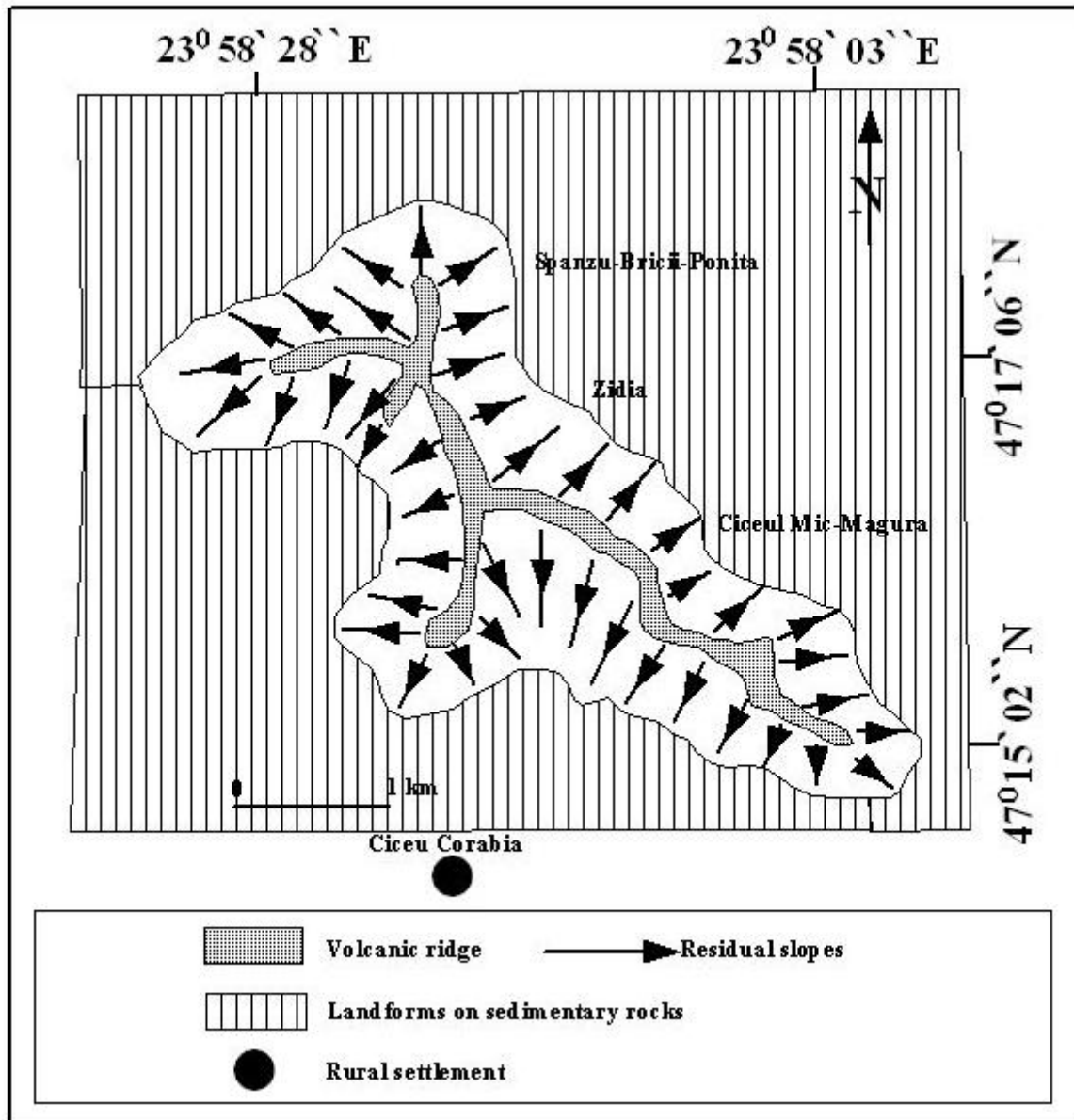
In its longitudinal profile, the Ciceu Ridge has a sequence of plateaus and rounded, blunt, and sharp peaks, reaching between 680 and 790 m, separated by gaps. The length of the ridge is 5 km, containing following segments:

- Ciceul Mic - Măgura Sector, with the Ciceul Mic Peak (683 m), the Ciceul Spânzului Plateau (730 m) and the Măgura Plateau (750 m);

- Zidia Sector (700 – 735 m);

- Spânzul Sector, with the Spânzul Peak (795 m), Bicii Peak (720 m) and Ponița Peak (715 m).

The cross section of the ridge is narrow, extending between 100 m (Bricii Peak, Ponița), 125 m (Ciceul Mic, Măgura), and 250 m (Ciceul Spânzului), while its flanks have steep, fragmented slopes with scarps, dells and erosion basins (figure 5). At the foot of the side that lies under the Măgura plateau to the south-west, there is a 273 m long tectonic cave, carved in to tuffogenous rock and in pre-existent sandstone (Giurgiu et al., 1983, Tămaș et.al., 2000).



**Figure 5-**Geomorphologic map of the geosite Ciceu Ridge

The drop between the ridge and the surrounding sedimentary relief (Ottungian sandstone, sand, diorite, silt) measures between 250 and 350 meters, therefore dominating the landscape (figure 6, figure 7).

Regarding its origin, the Ciceu Ridge is part of the volcanic structures situated at the exterior of the Neogene

eruptive chain from the Easter Carpathians and the Apuseni Mts., inside the Transylvanian Plateau (intra-plate volcanism).

The emergence of the volcanic massif from Ciceu took place during the Badenian over the G9 fracture, and the eruptive activity had three stages, as follows (Mârza, I., Mirea, O., 1991):



**Figure 6**-View over the Ciceu Ridge from south-east



**Figure 7**-Rhyo-dacitic ignimbrite scarp under the Ciceul Spânzului Plateau (730 m)

- in the first, explosive-submarine stage, the coarse tuff is formed (the lower level of the Dej tuff), widely present in the

sector Ciceul Spânzului-Măgura and Ponița;

- in the second, mixt-over-ground stage, the ignimbrite flows, pyroclastic



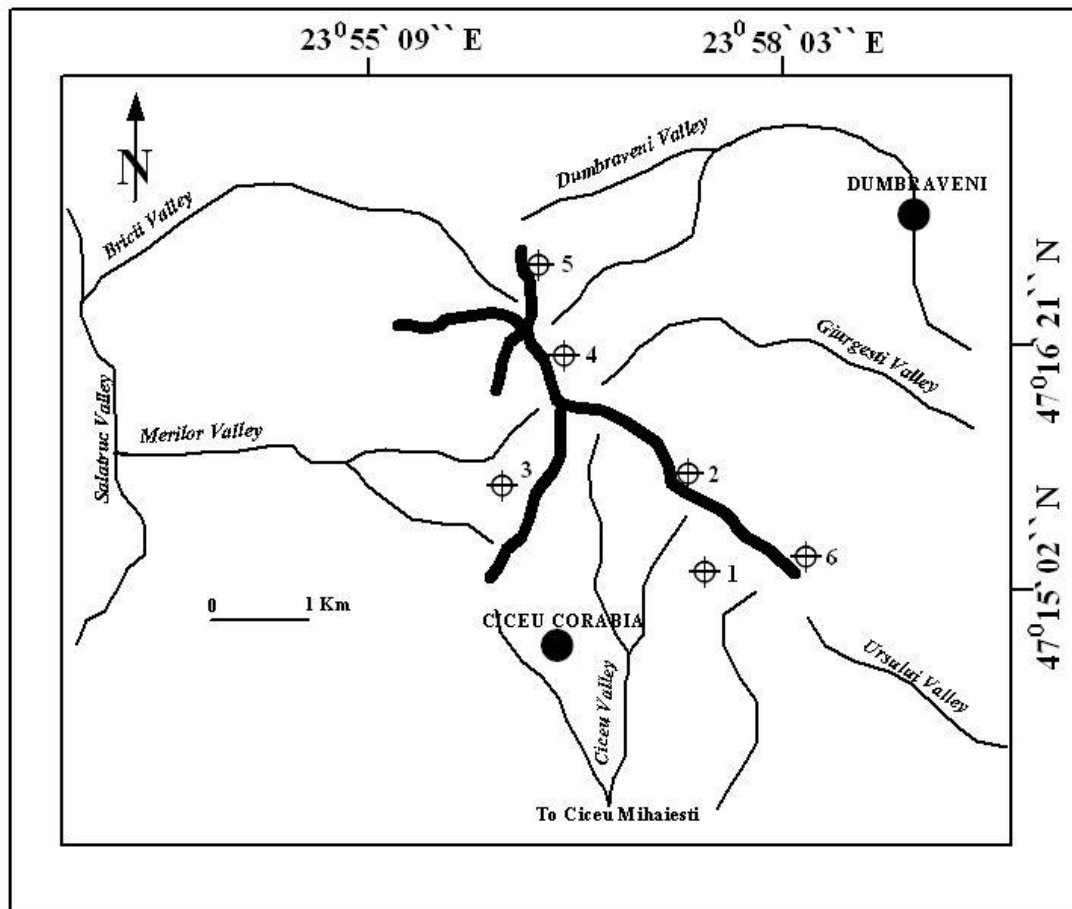
flows and fallout tuffs emerge, covering the entire massif;

- in the third, explosive stage, the medium-coarse and fine fallout tuffs (the upper level of the Dej tuff) form a layer over the entire massif.

Through its considerable dimension, the Ciceu Ridge dominates the Someșul Mare Corridor, an important historic communication axis. Therefore, the Ciceu Ridge possessed since oldest times a remarkable strategic function. On it and at its base, fortifications and settlements were erected, which are nowadays preserved as archaeological vestiges, giving this space a distinct cultural value (Pădureanu et.al., 1995, Szasz, 2010).

Thus, the southern part of the Măgura Plateau preserves traces of a fortification from the first period of the

Iron Age (9<sup>th</sup> – 8<sup>th</sup> cent. BC), while at the foot of this plateau, in a place called Sub Cetate (*Under the Castle*) there is evidence of a Dacian settlement. During the Roman period, the Ciceu Ridge was part of the northern border (“limes” in latin) of the Dacia Porolissensis Province, in the sector between the castras from Cășeu and Ilișua. Therefore, on the whole crest fragments of roman roads and watchtowers are visible (Ponița, Muncel). During the medieval period, after the Mongol invasion from 1241, the Ciceu Fortress was erected on the Ciceul Mic Peak and the Ciceul Spânzului Plateau, which represented, from the 13<sup>th</sup> to the 16<sup>th</sup> century, an important bastion of the defence of this part of the Principality of Transylvania (figure 8, figure 9).



**Figure 8**-Geoarchaeological map of Ciceu Ridge geosite. 1-Dacian settlement; 2-Dacian fortress; 3-Fragments of Roman roads; 4, 5-Roman watchtowers; 6-Ruins of the Ciceu Fortress

Beside its strategic role, the Ciceu Ridge supported the craft of millstone manufacturing, because its slopes offered the necessary hard rock (rhyo-dacitic ignimbrite). From the medieval period until the 19<sup>th</sup> century, thousands of millstones were cut at the foot of the Ciceu Ridge, and then distributed in Transylvania. This activity had a negative impact on relief, as proved by the residual image of the slopes around the ridge. On their façade, pits, ditches, overhangs and excavations are still visible, generated in

the rock extraction process. At the base of slopes, there are large debris fields, resulted from the millstone chiselling.

An actual stone civilization developed in the settlements around the Ciceu Ridge, with its artefacts still present in form of gate pillars, troughs, and grave crosses (figure 10). Furthermore, peoples from the villages Ciceu Corabia, Lelești, Ciceu Mihăiești and Ciceu Giurgești uses the blocks from the slope debris as building material.



**Figure 9-** Ruins of the Ciceu Fortress



**Figure 10-** Trough carved in volcanic rock in Ciceu Corabia village

## 2.2. Methodology

For the elaboration of this paper, following working steps were completed. First, the consulting of special sources referring to the historic role of this sector and to its archaeological vestiges. Given its configuration, the Ciceu Ridge fulfilled a strategic role since the dacian-roman period, when fortifications for the surveillance of the surrounding area, widely open towards the Somesul Mare corridor, were erected here. In

the Middle Ages, the Ciceu Castel was built on it as an administrative centre of the Ciceu land, comprising 60 villages. Basing on these facts, the archaeological elements to be inventoried and evaluated were specified. Further, the review of international literature regarding geosites and geo-landscapes, basing on which future action measures were drawn, and evaluation criteria and quantification methods for each analyzed element were set.

After establishing the theoretical and methodological framework, a detailed field research has been undertaken, during which various geo-morpho-dynamic features were charted, such as the configuration of slopes and crest, the position and characteristics of fortifications, present-day geomorphological processes, the impact of human intervention on the relief, etc.

The final step consisted in creating evaluation sheets for the geosite, defining the inventory and evaluation of the scientific, ecological, aesthetical, cultural and economic dimensions of the geosite, basing on relevant criteria. For each criterion, a score between 0 and 1 was appointed, with steps of one quarter of a point, resp. 0 = nothing, 0,25 = low, 0,50 = high and 1,00 = very high. The scoring had deviations from these standard values, depending on the actual status of the evaluated element (e.g. 0,20 or 0,80). After each criterion was noted, the global value was calculated by summing the points and dividing the result to the total number of criteria.

After quantifying the scientific, ecological, aesthetical, cultural and economic values of the geosite, the global value of the geosite was calculated, the result being in fact its touristic value, by summing all individual global values and dividing them by 5, according to the formula:  $V_{tour} = (V_{sci} + V_{eco} + V_{aest} + V_{cult} + V_{econ})/5$ , where  $V_{tour}$  represents the touristic value,  $V_{sci}$  is the scientific value,  $V_{eco}$  is the ecological value,  $V_{aest}$  the aesthetical value,  $V_{cult}$  the cultural, and  $V_{econ}$  the economic value.

### 3. EVALUATION OF THE CICEU RIDGE GEOSITE

Due to the scientific and cultural importance of the Ciceu Ridge, a complex evaluation has been implemented, basing on an

**Table 1.** General data

Geographic position	Ciceu Hills, Someș Plateau
---------------------	----------------------------

In table 2, the scientific value of the geosite was evaluated, basing on several criteria meant to emphasize its geomorphological and functional character. The score of these criteria was maxim, excepting the one regarding the

**Table 2.** Scientific value

Criteria	Evaluation	Marks
Integrity	Building of fortifications and stone winning severely degraded the relief	0,20
Representativity	Ciceu Ridge is a representative morphological structure, both geo-morpho-functional and morphogenetic, in the Ciceu Hill area	1,00
Uniqueness	It is a distinct volcanic structure in the geomorphologic landscape of the Someșul Mare Hills and the Transylvanian Plateau	1,00
Palaeogeographical value	The geomorphosite is representative for the evolution of outer-Carpathian Neogene volcanism and for the relief on linear volcanic structures	1,00
Educational value	The Ciceu Ridge offers information about comprising petrographic formations, the evolution of volcanic relief and the impact of human activities on the environment	1,00
<b>Scientific value</b>	The Ciceu Ridge geomorphosite is highly representative for the evolution of Neogene volcanic relief in the outer-Carpathian area	<b>0,84</b>

The ecological value, specified in table 3, got a low score because the geosite is not protected and preserved by a protected area, although the scenery and

inventory file suggested by Reynard (2006), with necessary adaptations. The results of this process are represented in the tables 1 to 6.

Table 1 contains some identification data of the geosite, as follows:

Coordinates	47°16'15" N-23°56'10" E
Type	Linear
Area	6 km <sup>2</sup>

integrity of the geosite, because the slopes of the Ciceu Ridge suffered severe changes due to anthropic intervention along time through rock exploitation for buildings, household equipment (troughs) and mill stones.

the ecosystem are important (mesophyll oak forests, hill willows, rock vegetation, etc.).

**Table 3.** Ecological value

Criteria	Evaluation	Marks
Ecological influence	Through its geomorphological features, Ciceu Ridge supports the development of various ecosystems (forest, meadow, rock, cave, etc.)	1,00
Protected sites	There are no protected sites in this geomorphosite	0,00
<b>Ecological value</b>	The Ciceu Ridge possesses a high ecological relevance, but is not favoured with the benefits of a protected area	<b>0,5</b>

The aesthetic value of the geosite got a high score (table 4), as the Ciceu Ridge is characterised by an important attractive potential, given by its extent and altitude. A somewhat lower score (0,80)

was given to the chromatic contrast which, although relevant, does not represent the main feature of the magmatic massif.

**Table 4.**Aesthetic value

Criteria	Evaluation	Marks
Visibility	Through its altitude and shape, the Ciceu Ridge can be observed from a great distance. Moreover, the ridge offers, from certain points, a great visibility over the surroundings	1,00
Contrast, vertical development and space structuring	The Ciceu Ridge rises above the surrounding sedimentary relief with some 250 – 300 m. Its top line is bordered by steep slopes which connect to the lower sedimentary area through glacises.	1,00
Chromatic diversity	The alternation of grey rocks and the green of oak forests and meadows assure the geomorphosite an interesting chromatic image	0,80
<b>Aesthetic value</b>	By its dominant position and its physiognomy, the Ciceu Ridge impresses through a high aesthetic level	<b>0,93</b>

The cultural value of the geosite (table 5), determined by means of criteria regarding spiritual and historical components, obtained

relatively high marks (0,50 – 1,00), thus certifying the strong bound between human communities and the Ciceu massif.

**Table 5.**Cultural value

Criteria	Evaluation	Marks
Religious and symbolic importance	It does not support religious activities, but through the ruins of the Ciceu fortress, preserved on the Ciceul Mic Peak (698 m), it represents symbol for the population of the surrounding region	0,50
Historic importance	The Ciceu Ridge preserves numerous archaeological vestiges, represented by traces of Roman watchtowers, traces of a fortress from the 9 <sup>th</sup> century and the ruins of the medieval Ciceu Fortress. On the plateaus at the bottom of the crest, housing ensembles, tools and weapons from the Palaeolithic, Chalcolithic and Bronze Age were discovered.	1,00
Literary and artistic importance	The Ciceu Ridge and the ruins of the medieval fortress are found in many writings about this region. Likewise, in Poiana Doamnei ( <i>Lady's Glade</i> ) beneath the crest, the annual Ciceu Fortress Festival takes place.	0,80
Geo-historic importance	The Ciceu Ridge is geologic, geomorphologic and archaeological relevant	1,00
<b>Cultural value</b>	The Ciceu Ridge geomorphosite features ancient inhabitation traces and many archaeological vestiges, thus possessing a significant cultural dimension	<b>0,825</b>

Economically, the Ciceu Ridge geosite recorded a lower score, as the region lacks on special touristic facilities (access roads, marked touristic paths,

resting places, lookouts, touristic pensions), and promotion activities are insignificant.

**Table 6.** Economic value

Criteria	Evaluation	Marks
Accessibility	Relatively facile access on the routes Ciceu Mihăiești-Lelești-Ciceu Corabia, Dej-Rugășești-Leurda and Ciceu Giurgești-Dumbrăveni	0,50
Present utilisation and geomorphological interest	The Ciceu Ridge geomorphosite attracts moderate number of hiking, climbing, and scenery admiring tourists	0,50
Present utilisation and cultural-historical interest	The archaeological vestiges and the Ciceu Fortress Festival attract a large number of visitors	0,80
Legal protection and utilisation restrictions	There are no regulations regarding the protection and utilisation of the geomorphosite	0,00
Installations and services	There is no adequate touristic equipment, nor agrotouristic facilities. There is a marked touristic path to the ruins of the Ciceu fortress	0,20
<b>Economic value</b>	The economical utilisation of the Ciceu Ridge geomorphosite is poor	<b>0,4</b>

The score gathered by the Ciceu Ridge geosite at scientific, ecological, aesthetic, cultural and economic level emphasizes, on one hand, its strong points, and on the other its

threats and opportunities (table 7). Therefore, a correlation of all stakeholders is necessary for a touristic utilization of the geosite.

**Table 7.** Synthesis

Global value	The geomorphosite is scientifically and culturally very important
Potential threats	Construction stone winning on the south-eastern side Degradation of archaeological vestiges (the ruins of the Ciceu fortress) Accumulation of garbage in Poiana Doamnei after the Ciceu Fortress Festival
Management measures	Including the geomorphosite into a protected area is imperative

#### 4. RESULTS

After the inventory and evaluation process, the Ciceu Ridge geosite reached a relatively modest global value (0,698), obtained by summing the global values of all studied components and dividing the result by their total number, according to the formula:  $V_{glob} = (V_{sci} + V_{eco} + V_{sce} + V_{cult} + V_{econ})/5$ , where  $V_{glob}$  is the global value,  $V_{sci}$  is the scientific value,  $V_{eco}$  is the ecological value,  $V_{sce}$

is the scenic value,  $V_{cult}$  is the cultural, and  $V_{econ}$  the economic value. Given the purpose of this paper, the global value represents actually the touristic value ( $V_{tour}$ ) of the geosite.

The conducted complex evaluation shows that the lowest values are recorded by the ecologic (0,5) and economic (0,4) components, since Ciceu Ridge is not yet a protected area, and its touristic value, with minor exceptions, is quite modest (table 8).

**Table 8.** Global value of the Ciceu Ridge Geosite

Scientific value	Ecologic value	Scenic value	Cultural value	Economic value	Global value
0,84	0,5	0,93	0,82	0,4	0,698

Scientifically, aesthetically and culturally, the Ciceu Ridge geosite comes out with high global values (0,82 – 0,93),

supported by its geomorphological and archaeological features. This emphasizes the personality of the Ciceu massif and is

reflected by the options of tourist arriving in the area. Thus, after a monitoring in the timeframe 2008 – 2010, 1500 visitors were counted, from which 70% have been attracted by the ruins of the Ciceu Castle and the Ciceu Castle Festival (figure 11), while 30% of the were attracted by the scenery.

Thus, future strategies for the utilization of the local touristic patrimony, elaborated by the communes of Ciceu Mihaiesti and Ciceu Giurgesti, but also at county level, are oriented mainly towards the integration of the Ciceu Ridge in cultural and educational touristic circuits. Furthermore, the ecologist association Harta Verde (*Green Map*) from Bistrita and the Faculty of Tourism Geography from Bistrita are developing a project to ensure the Ciceu Ridge will be declared a protected area of archaeological and scenic interest.



**Figure 11**-Ciceu Castle Festival

## 5. CONCLUSIONS

The Ciceu Ridge Geosite from the county of Bistrița-Năsăud, consisting of the Ciceu volcanic massif, represents an important geological and geomorphological landmark in the Transylvanian Plateau, with consequences on scientific, aesthetic, ecologic, economic and cultural level.

Through its geo-morphometric parameters and its location near an important transportation corridor, the Ciceu Ridge gained distinct cultural-historical connotations, emphasized by the archaeological vestiges present in this area.

The incorporation of the Ciceu Ridge in different touristic programmes is a long term issue, which has to be perceived in a larger context such as the development of tourism in Bistrița-Năsăud County and well as in Romania. What is more, due to its singularity the geosite could support cultural-educational, scientific and leisure touristic activities, favoured in addition by its closeness to the European Rout E58 as well as the towns of Dej and Beclean.

## 6. REFERENCES

- Giurgiu, I., V., Vădeanu, T., Done, A., Negru, M., Sandeschi, N., Silivășanu, G., Codescu, M., Ciuculescu, O., Sfășie, M., Cucu, F., 1983. Descoperiri și explorări speologice în Podișul Someșan, în *Buletinul Clubului de Speologie „Emil Racoviță”*, Nr.8, București, p. 11-81
- Ilieș, D., Josan, N., (2009), *Geosituri și geopeisaje*, Ed. Universității din Oradea, 246 p.
- Marthaler, M., 2003, *Le memoire de la Terre cache derriere les panoramas*, *Geomorphologie et tourism*, Lausanne, 280 p.
- Mârza, I., Mirea, O., 1991, *Le massif eruptif de Ciceu (Dej)-consideration petrographiques et volcanologiques*, in *Geological formations of Transylvania, Romania*, vol. No.3, *The volcanic tuffs from The Transylvania Basin, Romania*, Cluj-Napoca, p.147-158
- Panizza, M., 2001, *Geomorphosites: Concepts, methods and examples of geomorphological survey*, In: *Chinese Science Bulletin*, 46, p. 4-6
- Panizza, M., Piacente, S., 2003, *Geomorfologia Culturale*, Pitagora Editrice, Bologna, 350 p.
- Panizza, M., Piacente, S. (2008), *Geomorphosites and geotourism*, *Rev. Geogr. Acadêmica v.2 n.1*, p.5-9



Pădureanu, A., Danci, I., Rusu, C., 1995, Ciceul-simbol al vechimii, continuității și unității românești, Bistrița, 46 p.

Pralong, J.P., 2009, Targeted groups and geodidactic tools: to need to adapt tourist offer and demand, Mem. Descr. Carta Geol. d'It. LXXXVII, p. 145-152

Reynard, E., 2006, Fiche d'inventaire des géomorphosites, Université de Lausanne, Institut de géographie, apport non publié, 8 pages. – <http://www.unil.ch/igul/page17893.html>

Reynard, E., Coratza, P., Regolini-Bissig, G., (2009), Geomorphosites, Verlag Dr. Friedrich Pfeil Munchen, 240 p.

Reynard, E., Regolini-Bissig, G., Kozlik, L., Benedetti, S., (2009), Assessment and promotion of cultural geomorphosites in the Trient Valley (Switzerland), Valutazione e promozione di geomorfositi culturali nella Valle del Trient (Svizzera), Mem. Descr. Carta Geol. d'It., LXXXVII, p.181-189

Szasz, Șt., (2009), Kadar Jozseph-Cetatea Ciceului și comuna Uriu, Ed. Clusium, Cluj-Napoca, 284 p.  
Tămaș, T., Munteanu, G., Feier, N., Zaharia, L., Lascu, I., 2000, Pseudokars in vulcanoclastic rocks: the caves from Ciceu Corabia (Măgura Hill, NW Rromania), in Karst Studies and Problems: 2000 and Beyond





## CLASSIFYNG SUCCESSIONAL FOREST STAGES USING IKONOS IN ATLANTIC FOREST OF RIO DE JANEIRO

## CLASSIFICAÇÃO DE ESTÁGIOS SUCESSIONAIS FLORESTAIS ATRAVÉS DE IMAGENS IKONOS NA MATA ATLÂNTICA DO RIO DE JANEIRO

Danielle Pereira Cintra

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Instituto de Geociências (IGEO), Laboratório de  
Cartografia (GeoCart)  
danilabgis@gmail.com

Luiz Felipe Guanaes Rego

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Departamento de Geografia  
regoluiz@puc-rio.br

Rogério Ribeiro de Oliveira

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Departamento de Geografia  
rro@puc-rio.br

### RESUMO

Devido ao avanço dos espaços urbanos sobre a Mata Atlântica se faz necessário um monitoramento constante deste bioma, principalmente de suas Unidades de Conservação. Este trabalho foi realizado no Parque Estadual da Pedra Branca, região metropolitana do município do Rio de Janeiro. O objetivo do estudo foi diferenciar estágios sucessionais florestais por meio de interpretação visual de uma imagem orbital de alta resolução. A classificação da imagem obedece a uma hierarquia de classes a partir de um nível geral (Nível I) a um nível específico (Nível II). As formações florestais foram classificadas de acordo com a legislação florestal brasileira em diferentes estágios sucessionais secundários, como estágios inicial, médio e avançado, além de floresta primária. Verificou-se que 83% da área total da bacia do rio Camorim é coberta por floresta em diferentes estágios de sucessão ecológica. As áreas em estágio mais avançado de sucessão (estágio avançado e floresta primária) empataram em extensão com as áreas em estágio inicial (estágios médio e inicial), ocupando 336 ha (42%) e 328 ha (41%), respectivamente. Isto significa que, apesar da grande pressão antrópica que sofre em seu entorno, o local de estudo ainda guarda remanescentes importantes para a conservação da Mata Atlântica.

**Palavras-chave:** Mata Atlântica, cobertura do solo, sucessão florestal, imagens de alta resolução, interpretação visual.

### ABSTRACT

Due to the advancement of urban areas on the Atlantic Forest, it is needed constant monitoring of this biome, particularly concerning the Conservation Units. This work was conducted in the Pedra Branca State Park, metropolitan area of the municipal district of Rio de Janeiro. The goal of the study was to differentiate forest succession stages through visual interpretation of a high resolution orbital image. The image classification obeys a hierarchy of classes from a general level (Level I) to a specific level (Level II). The forest formations were classified according to the Brazilian forest law in different secondary successional stages, as early, middle, and advanced stages, besides primary forest. It was verified that 83% of the total area of the basin of the Camorim river are covered by forest in different stages of ecological succession. The areas in more advanced stage of succession (advanced stage and primary forest) had equalized in extension to the areas in early stage (middle and early stages), occupying 336 ha (42%) and 328 ha (41%), respectively. This means that despite the great human pressure that it suffers in its neighborhood, the study site still keeps important remnants for the Atlantic Forest conservation.

**Keywords:** Atlantic Forest, land cover, forest succession, high resolution images, visual interpretation.

## 1. INTRODUCTION

The Atlantic Forest biome, located on the Brazilian coast, represents one of the top five hotspots for biodiversity on the planet (Myers *et al.*, 2000). It therefore constitutes one of the five priority areas for biodiversity conservation worldwide. This forest is being drastically reduced since the arrival of Europeans due to economic cycles, highlights being the exploitation of the “pau-brasil” (*Caesalpinia echinata*) and the replacement of forests by spaces destined to agricultural activities, such as growing of coffee, sugar cane (Dean, 1997) and pastures. As a result of this historical process, there is a lack of various environmental services such as the regulation of water resources, the maintenance of soil quality, the supply of forest resources and the improvement of weather conditions (Pielke *et al.*, 1997), and the stock of carbon in their biomass (Schneider, 1995). This level of devastation can be explained both by the economic value of the forest species and by the use of the soil and the intense human occupation, which implies every kind of human pressure (Thomas *et al.*, 1998; Sips 1999). This form of occupation has generated an intense process of forest fragmentation and the formation of a mosaic of forest remnants in different successional stages. Despite the devastation to which it was submitted, the Atlantic Forest still harbors extremely high levels of biological richness and endemism (Conservation International do Brasil *et al.*, 2000). Hence the importance of performing, with minimum intervals, the mapping and monitoring of these forest remnants, aiming to diagnose their spatial distribution, for the conservation and recovery of the Atlantic Forest ecosystem (Vieira *et al.*, 2003; Silva and Ferreira, 2004; Cintra *et al.*, 2009).

On a macro scale, coastal areas of Rio de Janeiro state have a high structural variability due to the numerous gradients such as altitude, soil classes, temperature, and orientation of slopes (Costa *et al.*, 2009). The remote sensing techniques have been considered valuable and low-cost tools for the implementation of continuous forest inventories (Kayitakire *et al.*, 2006). There is wide use of medium-resolution images such as Landsat TM / ETM for this purpose (Almeida-Filho and Shimabukuro, 2002; Helmer *et al.*, 2002; Hernandez-Stefanoni and Ponce-Hernandez, 2004; Ingram *et al.*, 2005).

In many cases, however, limiting the spatial resolution prevents the generation of more accurate data on a local scale. The high-resolution images acquired by commercial sensors such as IKONOS and QuickBird have shown potential for the mapping and monitoring of the forest dynamics, including studies on ecological succession (Clark *et al.*, 2004; Mehner *et al.*, 2004; Kayitakire *et al.*, 2006). In Brazil, studies on the determination of successional stages by means of satellite images are concentrated in the Amazon region (Ponzoni and Rezende, 2002; Vieira *et al.*, 2003; Asner *et al.*, 2004; Salovaara *et al.*, 2005; Lu, 2005), while very few focus on ranking or monitoring the Atlantic Forest biome (Araújo *et al.*, 2008, Cintra *et al.*, 2009).

Regarding the technique used, most studies employ automated techniques for classification (Song and Woodcock, 2002; Rego and Koch, 2003; Mehner *et al.*, 2004; Kayitakire *et al.*, 2006; Couturier *et al.*, 2009) that provide a fast method of data extraction from satellite image. Few studies adopt the technique of visual interpretation (Ulbricht and Heckendorff, 1998; Clark *et al.*, 2004; Araujo *et al.*, 2008; Cintra *et al.*, 2009), since it is a slower and more subjective process. On the

other hand, this method is classically regarded as more accurate, but the main advantage, the high accuracy of results and contextual interpretation (Schmitt *et al.*, 1998).

This work aims to use the Geographic Information System (GIS) and remote sensing as tools to differentiate the successional stages of the forest remnants and other types of land use on a portion of the Atlantic Forest in Rio de Janeiro, through an IKONOS image. Information from phytosociological surveys carried out in field and analysis of satellite images are correlated.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1. Study Area

This study was conducted at Pedra Branca State Park (PEPB), located in a stretch of urban forests in the western zone of Rio de Janeiro (Figure 1). This conservation unit occupies 12,500 ha, including all the slopes located above the elevation of 100 m (SMAC, 1998), between 22°50'S to 23°15'S and 43°20'W to 43°40'W.

In the State of Rio de Janeiro, changes in land use over the past 400-500 years led the area of forest cover to be reduced to less than 20% compared to the original one (Fundação CIDE, 2003), of which 30% are in protected areas (Solórzano *et al.*, 2007).

The area of PEPB is in the way of an urban expansion, which encroaches on the park area, leading to the reduction of local biodiversity, either by removing the forest, or by the contamination of rivers and groundwater due to the lack of basic sanitation (Oliveira, 2005).

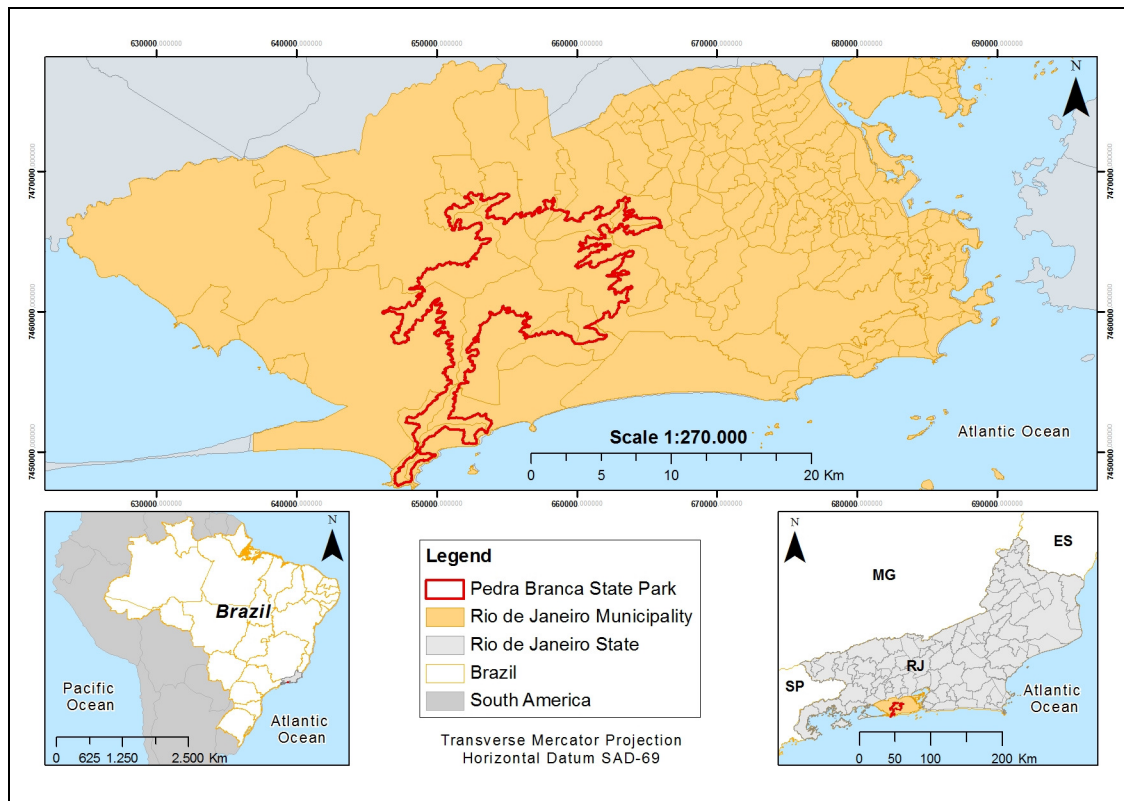
The region climate is Aw by Köppen's classification (Peel *et al.*, 2007), subhumid, with little or no water deficit, megathermic, with heat well distributed throughout the year and rainfall ranging from 1,500 mm to 2,500 mm (Oliveira, 2005). The predominant vegetation is the tropical ombrophilous submontane forest (Solórzano *et al.*, 2007).

### 2.2. Satellite Sensor Data Characteristics

For this study, a cloud-free shot from the IKONOS satellite to 11.5 km for 13.5 km, from February 16th, 2001, has been used, with radiometric resolution of 11 bits containing the multispectral bands with spatial resolution of 4 m and panchromatic band with a spatial resolution of 1 m.

### 2.3. Classification of Image

For the classification of the different types of land cover, the visual interpretation method has been used. Firstly, general classes have been defined (Level I) which include all types of land cover present in the PEPB. Secondly,



**Figure 1** - Location of the study area, Pedra Branca State Park. Brazilian states: RJ - Rio de Janeiro; ES – Espírito Santo; MG – Minas Gerais; SP – São Paulo.

Level II classes were defined by on the subject (CONAMA resolution No. separation of the forest class and 06 of May 4th, 1994) as early stage, middle vegetation in rocky outcrops. From the data stage, advanced stage and primary forest collected in the field in the study area and (CONAMA, 1994). Because this the transfer of the image data obtained in legislation does not cover all vegetation the field using Global Position System types in the area, the class 'Eucalyptus' has (GPS), a key for interpretation has been created, since the high resolution defined. The aspects of color, hue and image allowed this differentiation. The texture have been taken into account to vegetation in rocky outcrops has been differentiate the different successional classified, according to Firme *et al.* (2001), stages as well as other classes of land as rupicolous (rock-dwelling) or saxicolous cover. Likewise, data from declivity, (rock-crevice-dwelling). The classes orientation face and hydrography also 'shadow', as an indication of the shadow of assisted in the classification process. The relief, and 'unclassified' were also image was placed in the NRG composition included. Both represent situations in (bands 4-1-2), which best shows the which the type of land use could not be differences of vegetation. determined. The classes of land cover are:

**2.4. Classes**

Level I classes

Forest: it has been defined as a broad formation that extends from an open classified according to specific legislation or closed shrubland to a forest with no sign

of anthropogenic change, or with minimal changes. It presents different levels of roughness and uniformity of texture, representing the successional stages.

Rocky outcrop: presence of exposed rock.

Field: anthropogenic grazing fields (pastures) dominated by grasses, shrub and tree sparse vegetation or bare soil.

Water body: includes lakes and dams. Does not include rivers.

Urban occupation: any building types.

Anthropogenic activity: includes activities such as quarrying, agriculture and electricity pylons and its serving tracks.

Shadow: only those caused by relief have been classified as such, excluding the shadows of trees and buildings.

#### Level II classes

Early Stage: open or closed shrublands. Usually shows the dominance of a single species, observed by rather homogeneous texture and spectral pattern (color). Furthermore, the dominant species has a clumped distribution, which can also be observed through the similar texture and reflectance.

Middle stage: closed woodlands. There is an early differentiation into strata, observed in the differences in the height of trees in different parts of the image. Some species with clumped distribution are still observed, but the texture reveals a trend toward heterogeneity.

Advanced Stage: tree-covered closed facies, forming a canopy relatively uniform in size. The texture becomes rougher and there are more signs of dominance of species with clumped distribution. The texture is heterogeneous, with spectral pattern (color) more diversified, which shows an increase in diversity.

Primary forest: Forest with no sign of anthropogenic change, or minimal anthropogenic change. Great diversity reflected by the very rough texture. Maximum diversity of spectral pattern.

Eucalyptus: Cluster of trees of the genus *Eucalyptus*, with a homogeneous texture and usually with different in height from the others. Texture markedly differentiated because of the lack of roughness.

Rupicolous vegetation: vegetation that develops directly on rock outcrops.

Saxicolous vegetation: vegetation that grows over cracks and cavities found in rocky outcrops, where soil accumulates.

#### 2.4. Field Inventories

To perform the field inventory, a qualitative and quantitative assessment was adopted, using criteria in legislation (CONAMA, 1994). Typical areas of occurrence of each of the successional stages (early, middle, advanced and primary) have been selected within the Camorim river basin.

The early stage area has been identified in the field. The species most characteristic of this stage of succession are the pioneers: Red Cecropia (*Cecropia glaziovii*), Cambará (*Gochnatia polymorpha*), Alecrim-do-campo (*Baccharis dracunculifolia*); Pau-jacaré (*Piptadenia gonoacantha*) and Purple Glory Tree (*Tibouchina granulosa*).

To define the area of primary forest transects were made in a pre-selected area without any evidence of past human use. Each transect measured 50 m x 6.66 m (333 m<sup>2</sup>), and was repeated twice, which amounted to approximately 1,000 m<sup>2</sup>. The inclusion criterion used was diameter at breast height (DBH) greater than or equal to 5 cm. Trees with branching stems and standing dead trees were also recorded,

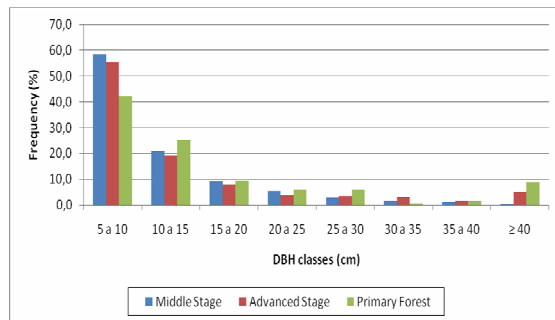
following the same inclusion criterion. The stems were considered branched when branching occurred below 1.3 m. The parameters obtained were: total basal area; mean diameter; greater diameter; the coefficient of variation of diameter; average height; greater height; the coefficient of variation of height; standing dead trees, multiple trunks; total density, and living biomass above ground (LBAG). To obtain these data, except the last, the recommendations contained in Vuono (2002) have been observed. To calculate the LBAG, the formula of Chave *et al.* (2005) has been used, as suggested by Vieira *et al.* (2008) to be the most suitable for this purpose in the Atlantic Forest. The percentages of diameter and height distributions of all sampled individuals have been made using histograms with defined classes every 5 cm.

All forest classes (Level II) and the classes 'Field' and 'Water body' (Level I) had their coordinates obtained in the area, through the use of a Promark 2.0 GPS with external antenna. Only items with values of Position Dilution of Precision (PDOP) of less than 6.00 were accepted (Thenkabail *et al.*, 2003). The sampled areas have been used as standards for the classification of other areas in the image.

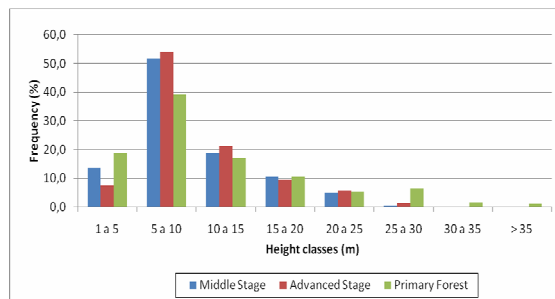
### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1. Field Inventories

The results collected in the field are summarized in Table 1. It can be observed that the analyzed parameters of height, DBH, basal area and biomass increase with the maturity of the forest. In contrast, the parameters of percentage of dead trees and multiple trunks tend to decline (Table 1, Figures 2 and 3).



**Figure 2** - Comparison of the trees diameter distribution by the forest successional stage, on the Camorim river basin, Pedra Branca State Park, RJ.



**Figure 3** - Comparison of the distribution of the trees height classes by the forest successional stage, on the Camorim river basin, Pedra Branca State Park, RJ.

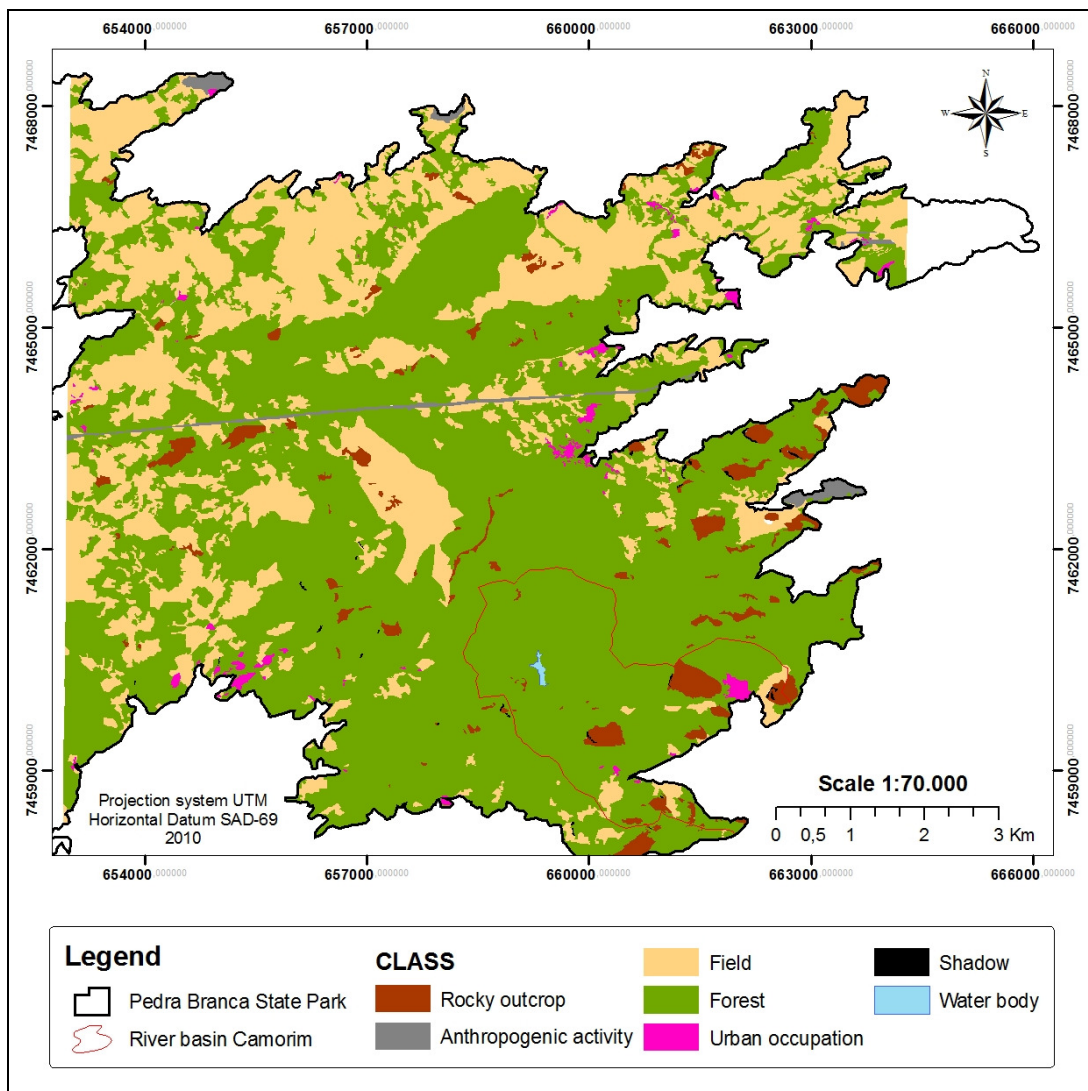
#### 3.2. Visual Interpretation of the Image

The most expressive classes of land cover at Level I were Forest, with 67.2% of the analyzed area and Field with 27.8%. The other classes take up less than 1% of the area each, except for Rocky Outcrop (3.2%) (Figure 4). The field areas are abundant in the northern edges of the massif and its spots are scattered through the interior of PEPB, permeating the forest areas. It is believed that these areas are a consequence of the farming system of slash-fallow carried out before the creation of the PEPB. Many of these areas being predominantly located on the northern slope, where there is high occurrence of fires and because of the lack of nearby matrices are no longer able to follow the natural process of ecological succession and remain infertile. Instead, on the southern slope of the massif this type of

activity was almost extinct after the is observed that most areas of the forest creation of PEPB, and over time the stretch across the southern portion of PEPB ecological succession promoted the healing and its interior, with some fragments of gaps (Oliveira, 2005). Because of this, it remaining in the northern portion.

**Table 1** - Parameters for the classification of vegetation in the study area.

Class	Density <i>ind.ha<sup>-1</sup></i>	Maximum height (m)	Maximum DBH (cm)	Death trees (%)	Multiples trunks (%)	Basal area ( <i>m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup></i> )	Biomass ( <i>Mg ha<sup>-1</sup></i> )
Middle Stage	1.800	30	43	9.5	10.6	26.2	132
Advanced Stage	1.244	32	108	4.5	9.9	34.2	265
Primary Forest	1.820	38	121	2.2	0.0	90.1	593



**Figure 4** - Land cover of the Pedra Branca State Park, result of visual interpretation at Level I of the Ikonos image (multispectral, 4 m spatial resolution).

The same pattern can be observed receive more moisture from the convective on a larger scale of detail. In the analysis of sea winds and cold fronts and at the same data from the classification of Level II, it time a lower incidence of sun heat. Thus, can be seen that in comparison to the the recovery of the forest occurs in a northern slope, the southern slope houses relatively short time, being less susceptible the most conserved forests of the basin to forest fires than the slopes facing north studied (Table 2). The slopes facing south (Oliveira *et al.*, 1995).

**Table 2** - Analysis of the area occupied by different successional stages by the north and south slope orientation.

Class	North		South	
	Area (ha)	Area (%)	Area (ha)	Area (%)
Field	8,5	10,9	6,2	3,5
Early Stage	12,1	15,6	16,2	9,2
Middle Stage	26,3	33,9	43,6	24,7
Advanced Stage	17,8	23,0	56,3	31,9
Primary Forest	4,7	6,0	33,3	18,9

The class 'Rocky Outcrop' has been occupied (0.2%), besides not being the detailed in 'saxicolous vegetation' and focus of this study.

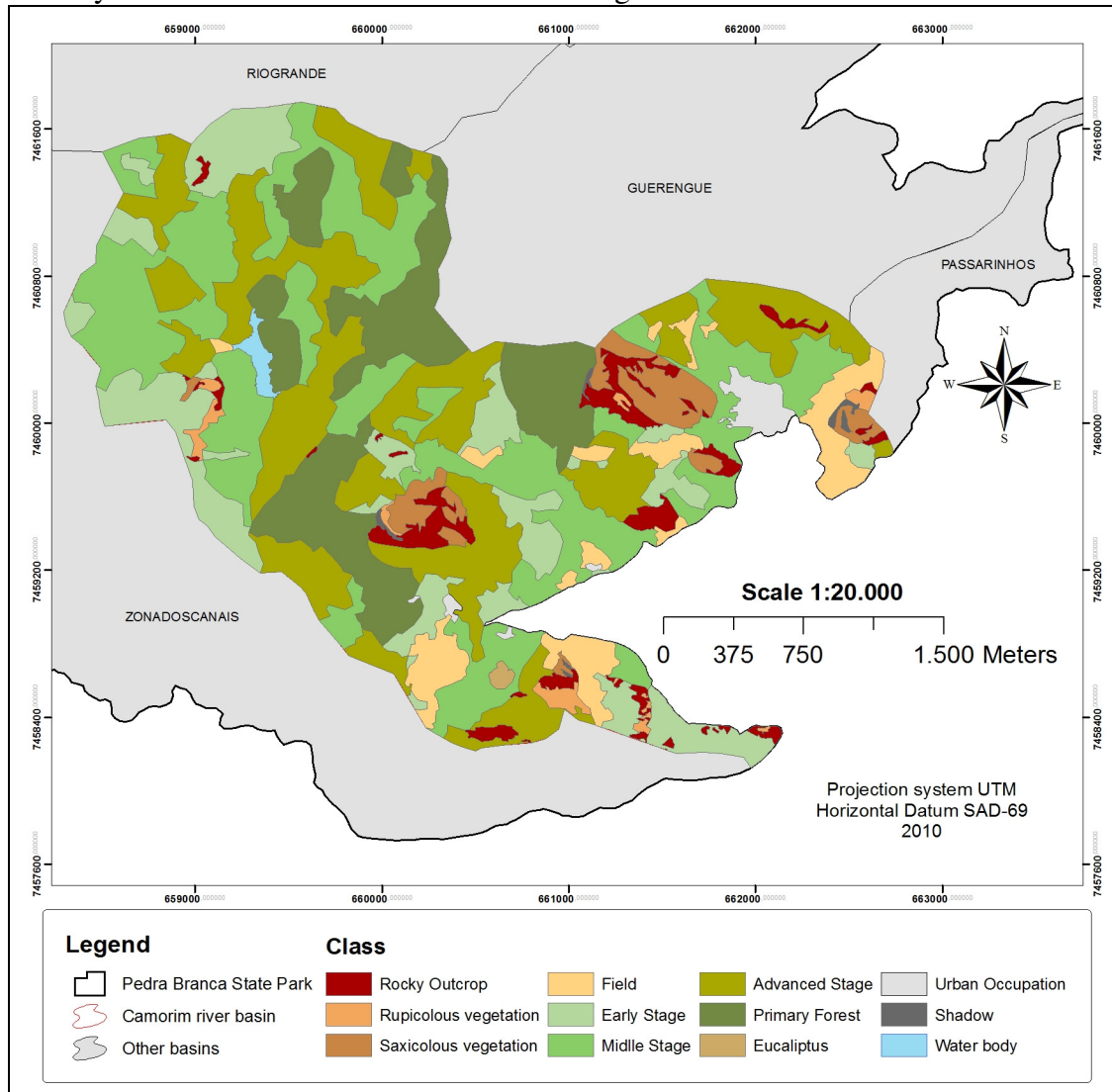
'rupicolous vegetation' at Level II. The The 'early stage' is easily limits of these classes are rather difficult to distinguished from others by its uniformity establish, because they lie on rocky of texture, which generally reflects the outcrops, which in turn borders the forest dominance of few species. Sometimes it areas. It is possible to mistake the might have been confused with rupicolous vegetation of rocky outcrop for forest vegetation when it completely covered the vegetation, as they sometimes look similar. rocky outcrop. In these cases, the One factor that helped at this stage was the panchromatic image and/or the declivity information on declivity, with which it is data were essential to decide to what type possible to determine where this formation of land cover class the area belonged. is actually located. Importantly, this class is the one that

The classification at Level II presents greater variability in time, because (Figure 5) revealed that the forest in the it is where the ecological succession occurs middle stage of succession occupies most with the greatest speed, changing its facies, of the Camorim river basin (28.4%), mainly the biomass allocation.

followed by advanced stage (26.2%) and The 'Middle Stage' has been primary forest (15.1%). When only the differentiated from the other classes mainly data of the forest class are analyzed, it can through the observation of a trend to be observed that the areas at more heterogeneity of texture. Nevertheless, the advanced stages of succession (advanced dominance of some species with clumped stage and primary forest) are comparable in distribution can still be seen through the size to the areas in the earlier stages (early similarity of architecture and texture of the and middle stage) together. The class of canopy of some species. Among these, in land cover *Eucalyptus* was excluded from the region studied Guapuruvú this analysis because it presents a (*Schizolobium parahyba*) stands out, for its negligible percentage in relation to the area canopy architecture is unmistakable in imaging study.



The ‘Advanced Stage’ was more by a lack of uniformity of texture. It was easily differentiated from the early and possible to detect the differentiation of middle stages and more confused with the forest strata by the difference between the Primary Forest. This class is characterized heights of the trees and the increasing



**Figure 5** - Land cover of the Camorim river basin, result of visual interpretation at Level II of the Ikonos image (multispectral, 4 m spatial resolution).

diversity by the heterogeneous canopy should be noted that the reference pattern architecture.

The ‘Primary Forest’ was differentiated from the other stages, especially the advanced stage, because a standard has been defined in the field that had a good match with the pattern observed in the image. This pattern was used as reference for maximum diversity and heterogeneity achieved in the area. It mature stages of succession. This is due to

Besides the primary forest there are formations in a local climax that generally have spectral patterns corresponding to less diversity. This pattern was used as reference for maximum diversity and heterogeneity achieved in the area. It mature stages of succession. This is due to

the particular soil features and can hinder soil layer becomes shallower, and there is the application of visual interpretation and more incidence of light. Therefore, the possibly underestimate the area of a more trees do not grow much, making it appear preserved forest in the region. In Table 3, that they structurally and spectrally belong we observe the strong presence of early to a lower successional stage. stage in areas with slopes above 37.5°. This is because with increasing slope, the

**Table 3** - Analysis of the area occupied by different stages of succession in accordance with the change of slope.

Class	Field		Early Stage		Middle Stage		Advanced Stage		Primary Forest	
	Area (ha)	Area (%)	Area (ha)	Area (%)	Area (ha)	Area (%)	Area (ha)	Area (%)	Area (ha)	Area (%)
0° - 12,5°	1,1	1,8	6,5	10,5	21,9	35,2	16,2	26,1	8,5	13,7
12,5° - 25°	12,6	4,9	28,9	11,3	95,1	37,3	70,6	27,7	37,8	14,8
25° - 37,5°	26,5	7,4	51,2	14,4	92,7	26,0	95,1	26,7	63,2	17,7
37,5° - 45°	3,8	5,0	15,0	19,6	12,5	16,3	18,3	23,9	7,2	9,5
> 45°	2,6	6,0	7,7	17,8	3,5	8,2	7,5	17,3	2,9	6,7

## 5. FINAL CONSIDERATIONS

The data collected in the field were great heterogeneity. These constitute useful related to the data observed in satellite tools for improving the performance of images, allowing an estimative of the forest regulatory agencies and managers in the structure. However, the variables that region.

determine the successional stage of a forest are many and only through a comprehensive field study it would be possible reduce the uncertainty associated with local variability. The strategy of sorting by class hierarchy is a suitable method for visual interpretation of the classes that is systematic, therefore reducing the eventual subjectivity of the process.

The GIS and remote sensing techniques have proved to be very useful in the analysis and assessment of vegetation cover. Only with the combination of satellite images and field work it is possible to embrace the structural variability of the landscape in places of

Considering the extent of forest in the region analyzed and the possibility of having underestimated the area of forest conserved, it is believed that despite the great human pressure on its surroundings, the study area still retains significant material for conservation of the Atlantic Forest.

## 6. AKNOWLEGMENTS

The authors are especially grateful to Dr. José Araruna and Dr. Patrício José Moreira Pires, *Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro*, for the loan of the GPS and for their patient technical assistance. We also thank Dr. Adriano

Kury, *Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro* that improved the English version of this manuscript. We are grateful to *Instituto Estadual do Ambiente (Inea)* for the field work authorization, process number 13/06. This study was partially funded by *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)* and *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)*.

## 7. REFERENCES

- Almeida-Filho, R.; Shimabukuro, Y.E. 2002. Digital processing of a Landsat-TM time series for mapping and monitoring degraded areas caused by independent gold miners, Roraima State, Brazilian Amazon. *Remote Sensing of Environment*, v. 79, p. 42-50.
- Araujo, L.S.; Sparovek, G.; Santos, J.R.; Rodrigues, R.R. 2008. High-resolution image to map bamboo-dominated gaps in the Atlantic Rain Forest, Brazil. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. 37, n. B4, p. 1287-1292.
- Asner, G.P.; Keller, M.; Pereira-Jr, R.; Zweede, J.C.; Silva, J.N.M. 2004. Canopy damage and recovery after selective logging in Amazonia: field and satellite studies. *Ecological Applications*, v. 14, n. 4, p. 280-298.
- Chave, J.; Andalo, C.; Brown, S.; Cairns, M.A.; Chambers, J.Q.; Eamus, D.; Fölster, H.; Fromard, F.; Higuchi, N.; Kira, T.; Lescure, J.P.; Nelson, B.W.; Ogawa, H.; Puig, H.; Riéra, B.; Yamakura, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, v. 145, p. 87-99.
- Cintra, D.P.; Caris, E.A.P.; Costa, G.; Feitosa, R.; Rego, L.F.G. 2009. The PIMAR Project: Remote Environmental Monitoring Program in Urban Atlantic Forest of Rio de Janeiro, Brazil. In: XII Encuentro de Geografos de America Latina. <[http://egal2009.easyplanners.info/area04/4101\\_Cintra\\_Danielle\\_Pereira.pdf](http://egal2009.easyplanners.info/area04/4101_Cintra_Danielle_Pereira.pdf)>. Accessed at: January 26th, 2011.
- Clark, D.B.; Castro, C.S.; Alvarado, L.D.A.; Read, J.M. 2004. Quantifying mortality in tropical rain forest trees using high-spatial-resolution satellite data. *Ecological Letters*, v. 7, p. 52-59.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). 1994. Resolução nº 06 de 04 de maio de 1994.
- Conservation International do Brasil, Fundação SOS Mata Atlântica, Fundação Biodiversitas, Instituto de Pesquisas Ecológicas, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, SEMAD/Instituto Estadual de Florestas-MG. 2000. Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica e Campos sulinos. MMA/SBF, Brasília, 40 p.
- Costa, T.C.C.; Fidalgo, E.C.C.; Santos, R.F.; Rocha, J.V.; Metzger, J.P.; Vicens, R.S.; Fonseca, K.T.; Bohrer, C.B.A. 2009. Diversidade de paisagens no Estado do Rio de Janeiro. In: Estratégias e ações para a conservação da biodiversidade no Estado do Rio de Janeiro. Bergallo, H.G., Fidalgo, E.C.C., Rocha, C.F.D., Uzêda, M.C., Costa, M.B., Alves, M.A.S., Van Sluys, M., Santos, M.A., Costa, T.C.C., Cozzolino, A.C.R. (Orgs.). Instituto Biomas, Rio de Janeiro, p. 101-110.
- Couturier, S.; Gastellu-Etcheberry, J.P.; Patiño, P.; Martin, E. 2009. A model-based performance test for forest classifiers on remote-sensing imagery. *Forest Ecology and Management*, v. 257, n. 1, p. 23-37.
- Dean, W. 1997. A ferro e fogo: a história da devastação da Mata Atlântica brasileira. Rio de Janeiro: Companhia das Letras, 484 p.
- Firme, R.P.; Vicenz, R.S.; Macedo, G.V.; Silva, I.M.; Oliveira, R.R. 2001. Estrutura da vegetação de um trecho de mata atlântica sobre solos rasos (maciço da Pedra Branca, RJ). *Eugeniana*, v. 24, n. 1, p. 3-10.
- Fundação Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro. 2003. Índice de Qualidade dos Municípios – verde (IQM - Verde), segunda edição. Rio de Janeiro: Fundação CIDE. 156 p.
- Helmer, E.H.; Ramos, O.; López, T.M.; Quiñones, M.; Diaz, W. 2002. Mapping the forest type and land cover of Puerto Rico, a component of the Caribbean biodiversity hotspot. *Caribbean Journal of Science*, v. 38, n. 3-4, p. 165-183.

- Hernandez-Stefanoni, J.L.; Ponce-Hernandez, R. 2004. Mapping the spatial distribution of plant diversity indices in a tropical forest using multi-spectral satellite image classification and field measurements. *Biodiversity and Conservation*, v. 13, p. 2599-2621.
- Ingram, J.C.; Dawson, T.P.; Wittaker, R.J. 2005. Mapping tropical forest structure in southeastern Madagascar using remote sensing and artificial neural networks. *Remote Sensing of Environment*, v. 94, p. 491-507.
- Kayitakire, F.; Hamel, C.; Defourny, P. 2006. Retrieving forest structure variables based on image texture analysis and IKONOS-2 imagery. *Remote Sensing of Environment*, v. 102, p. 390-401.
- Lu, D. 2005. Integration of vegetation inventory data and Landsat TM image for vegetation classification in the western Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, v. 213, p. 369-383.
- Mehner, H.; Cutler, M.; Fairbairn, M.; Thompson, G. 2004. Remote sensing of upland vegetation: the potential of high spatial resolution satellite sensors. *Global Ecology and Biogeography*, v. 13, p. 259-369.
- Myers, N.; Mittermeier, R.A.; Mittermeier, C.G.; Fonseca, G.A.B.; Kents, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, p. 853-858.
- Oliveira, R.R. 2005. As marcas do homem na floresta. *História Ambiental de um trecho de Mata Atlântica*. PUC - Rio, Rio de Janeiro, 232 p.
- Oliveira, R.R.; Zaú, A.S.; Lima, D.F.; Silva, M.B.R.; Vianna, M.C.; Sodré, D.O.; Sampaio, P.D. 1995. Significado ecológico de orienta o de encostas no Maciço da Tijuca, Rio de Janeiro. *Oecologia Brasiliensis*, v. 1, p. 523-541.
- Peel, M.C.; Finlayson, B.L.; McMahon, T.A. 2007. Updated world map of the K ppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 11, p. 1633-1644.
- Pielke, R.A.; Lee, T.L.; Copeland, J.H.; Eastman, J.L.; Ziegler, C.L.; Finley, C.A. 1997. Use of USGS-provided data to improve weather and climate simulations. *Ecological Applications*, v. 7, n. 1, p. 3-21.
- Ponzoni, F.J.; Rezende, A.C.P. 2002. Influência da resolu o espacial de imagens orbitais na identifica o de elementos da paisagem em Altamira-PA. *Revista  rvore*, v. 26, n. 4, p. 403-410.
- Rego, L.F.G.; Koch, B. 2003. Automatic classification of land cover with high resolution data of the Rio de Janeiro city, Brazil. In: GRSS/ISPRS Joint Workshop on "Data Fusion and Remote Sensing over Urban Areas", 2, CIDADE: International Society of Photogrammetry and Remote Sensing, p. 172-176.
- Salovaara, K.J.; Thessler, S.; Malik, R.N.; Tuomisto, H. 2005. Classification of Amazonian primary rain forest vegetation using Landsat ETM+ satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, v. 97, p. 39-51.
- Schmitt, S.; Sulzer, W.; Schardt, M. 1998. Analysis of settlement structure by means of high resolution satellite imagery. In: ISPRS Symposium on GIS – Between Visions and Applications, 4, v. 32/4. D. Fritsch, M. Englich and M. Sester, Stuttgart, p. 557-562.
- Schneider, R.R. 1995. Government and the economy on the Amazon frontier. *World Bank Environment Paper*, v. 11, p. 1-65.
- Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMAC). 1998. *Guia das Unidades de Conserva o Ambiental do Rio de Janeiro*. Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Rio de Janeiro, 201 p.
- Silva, V.V.; Ferreira, A.M.M. 2004. Caracteriza o dos estágios de sucessão ecológica secundária da Mata Atlântica no médio vale do Rio Paraíba do Sul fluminense. *Geografia*, v. 29, n. 3, p. 469-478.
- Sips, P. 1999. The Atlantic Forest of South Bahia, Brazil: Hotspot within a Hotspot. *European Tropical Research Network*, v. 29, p. 41- 43. <etfrn.org/etfrn/newsletter/nl29\_oip.html#theatl> Accessed at: June 24th, 2010.
- Solórzano, A.; Guedes-Bruni, R.R.; Oliveira, R.R. 2007. Composi o florística e estrutura de dois trechos de Floresta Ombr fila Densa submontana, no Parque Estadual da Pedra Branca, RJ. *Revista Brasileira de Bioci ncias*, v. 5, n. 2, p. 609-611.
- Song, C.; Woodcock, C.E. 2002. The spatial manifestation of forest succession in optical

imagery: The potential of multiresolution imagery. *Remote Sensing of Environment*, v. 82, p. 271-284.

Thenkabail, P.S.; Hall, J.; Lin, T.; Ashton, M.S.; Harris, D.; Enclona, E.A. 2003. Detecting floristic structure and pattern across topographic and moisture gradients in a mixed species Central Africa forest using IKONOS and Landsat ETM+ images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 4, p. 255-270.

Thomas, W.W.; Carvalho, A.M.V.; Amorim, A.M.A.; Garrison, J.; Arbeláez, A.L. 1998. Plant endemism in two forests in southern Bahia, Brazil. *Biodiversity and Conservation*, v. 7, n. 3, p. 311-322.

Ulbricht, K.A.; Heckendorff, W.D. 1998. Satellite images for recognition of landscape and land use changes. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 53, p. 235-243.

Vieira, A.S.; Alves, L.F.; Aidar, M.; Araújo, L.S.; Baker, T.; Batista, J.L.F.; Campos, M.C.; Camargo, P.B.; Chave, J.; Delitti, W.B.C.; Higuchi, N.; Honorio, E.; Joly, C.A.; Keller, M.; Martinelli, L.A.; Mattos, E.A.; Metzker, T.; Phillips, O.; Santos, F.A.M.; Shimabukuro, M.T.; Silveira, M.; Trumbore, S.E. 2008. Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. *Biota Neotropica*, v.8, n.2, p. 21-29.

Vieira, I.C.G.; Almeida, A.S.; Davidson, E.A.; Stone, T.A.; Carvalho, C.J.R.; Guerrero, J.B. 2003. Classifying successional forests using Landsat spectral properties and ecological characteristics in eastern Amazonia. *Remote Sensing of Environment*, v. 87, p. 470-481.

Vuono, Y.S. 2002. Inventário fitossociológico. In: *Manual Metodológico para Estudos Botânicos na Mata Atlântica*. Sylvestre, L.S. and Rosa, M.M.T. (Eds). Editora da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, p. 51-65.

## ESTIMAÇÃO DA IDADE DA REGENERAÇÃO DA VEGETAÇÃO DE CERRADO A PARTIR DE IMAGENS LANDSAT

## ESTIMATING THE AGE OF REGENERATION OF CERRADO USING LANDSAT IMAGES

Philippe Maillard,  
Universidade Federal de Minas Gerais  
philippe@ufmg.br

Priscilla S. Costa-Pereira  
Fundação João Pinheiro  
priscillascp@yahoo.com.br

### RESUMO

A taxa de conversão do cerrado em outros usos é maior do que em todos os outros biomas do Brasil. O sensoriamento remoto é a única ferramenta que permite monitorar a evolução da sua área e a conversão em outras coberturas do solo à escala do país. Este artigo se propõe a estudar o processo de regeneração da vegetação de cerrado após uma plantação de eucalipto e determinar se dados espectrais do Landsat podem ser usados para estimar a idade da regeneração. Uma seqüência multi-temporal de 18 imagens Landsat foi usada para determinar a idade de 47 parcelas de controle. A correlação de Pearson favoreceu a identificação das variáveis mais relacionadas com a idade. Um modelo de regressão múltipla da idade da regeneração foi gerado a partir das bandas da imagem de 2007 que consegue explicar 61% da variância observada. Dados de validação mostram uma diferença média de 3,7 anos com o modelo. O modelo foi usado para confeccionar um mapa de idade da regeneração que tem uma boa correspondência com o nosso conhecimento da área.

**Palavras chave:** Cerrado, Regeneração, Imagens Landsat, Eucalipto, Trajetória espectral.

### ABSTRACT

The rate of conversion of cerrado in other use surpasses that of all other biomes in Brazil. Remote sensing is the only practical means to monitor the evolution of its area and its conversion into other land cover at this scale. The objective of this article is to study the regeneration process of cerrado vegetation after a eucalyptus plantation and to determine if Landsat spectral data can be used to estimate the age of regeneration. A multi-temporal sequence of Landsat images was used to determine the age of 47 control plots for which structural data was also acquired. Pearson's correlation was used to find which variables were most related to age. A multiple regression model of the age of regeneration was built using the 2007 image that explains 61% of the observed variance. Validation data show an average age difference of 3,7 years with the model. The model was used to generate a regeneration age map having a good correspondence with our knowledge of the area.

**Keywords:** Cerrado, Regeneration, Landsat images, Eucalyptus, Spectral trajectory.

## 1. INTRODUÇÃO

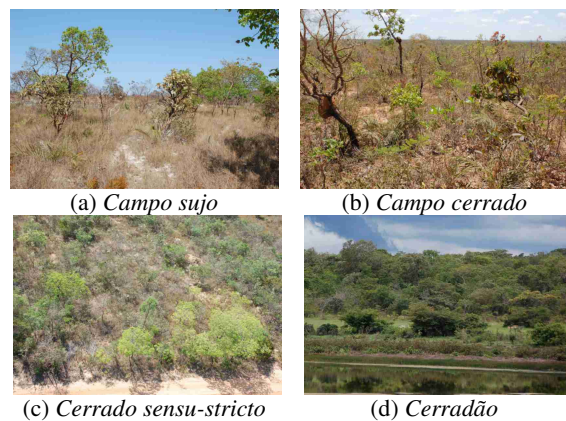
O cerrado tem uma estrutura de dossel heterogênea, seus fatores climáticos, edáficos e topográficos têm um efeito importante sobre a distribuição e a densidade das árvores e arbustos, mesmo dentro da sub-formação *cerrado sensu stricto*. A biodiversidade do cerrado foi originalmente considerada substancialmente inferior à da floresta tropical. Mais recentemente, a alta diversidade da vegetação do cerrado foi reconhecida e estudada por muitos autores (Felfili e Silva Júnior 1993; Ratter et al. 1997; Myers et al. 2000) que constataram um elevado endemismo, 44% de plantas vasculares, sendo também chamado genericamente de savana neo-tropical, com a maior riqueza de plantas vasculares do mundo (Ferreira et al., 2004). Com mais de 10.000 espécies de plantas vasculares e mais de 800 espécies de árvores, o cerrado apresenta uma riqueza de plantas superiores a algumas florestas tropicais (Furley 2006, Mistry, 2000).

A biodiversidade do cerrado encontra-se ligada às suas variações fisionômicas, que vão desde campos a formações arborizadas, formando um gradiente diverso de altura e densidade de árvores. A classificação geral, com base na densidade de indivíduos lenhosos, reconhece cinco tipos estruturais de vegetação de cerrado: campo limpo, campo sujo, campo cerrado, cerrado *sensu stricto* e cerradão (Goodland, 1971; Coutinho, 1978; Furley, 1997; Durigan e Ratter, 2006; Maillard et al., 2009). A Tabela 1 expõe uma visão geral da estrutura gradativa dessas formações de acordo com diferentes autores e a Figura 1 mostra um exemplo fotográfico das quatro últimas sub-formações.

**Tabela 1** – Características estruturais das principais fisionomias de cerrado segundo Goodland (1971), Ribeiro e Walter (1998) e Sarmiento (1983).

Variável Estrutural	Autores	cl	cs	cc	css	co
Porcent. de cobertura do dossel	Goodland Ribeiro e Walter	<1 <1	1 -	3 5	19 29	46 46
Altura média das árvores (m)	Goodland Ribeiro e Walter	1 -	3 -	3 4.7	6 5.3	9 6
Árvores por hectare	Goodland Sarmiento	>850 -	850 500	1400 1000	2250 3000	3200 4000

cl: campo limpo cs: campo sujo cc: campo cerrado css: cerrado *sensu stricto* co: cerradão

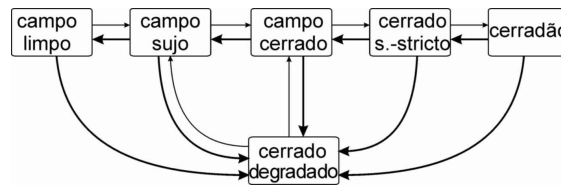


**Figura 1** - Fotografias comparativas da estrutura de quatro das cinco sub-formações principais de cerrado.

Apesar de sua importância biológica, estima-se que mais de 40% do Cerrado já foi convertida para uso humano (Sano et al., 2009). A expansão do agronegócio, de pastagens, da produção de carvão vegetal e das monoculturas de soja, cana, eucalipto e pinus representam a maior ameaça à preservação do Cerrado. Esses usos, mesmo considerando as unidades de conservação de proteção integral (parques e reservas biológicas), e contando que todos os proprietários respeitem a legislação, poderiam levar para a redução do cerrado a pouco mais de um quinto (20%) da sua extensão original. Embora essas afirmações sejam geralmente

bem aceitas, a comunidade científica tem feito muito pouco para quantificar este processo ou para avaliar a dinâmica da mudança da cobertura do solo, da sua fragmentação e regeneração e têm preferido concentrar seus esforços nas florestas úmidas da amazônia (Jepson, 2005). Este autor também assinala que a maioria dos estudos que tentou quantificar o montante de remanescentes de Cerrado ou a sua taxa de conversão utilizou dados de sensoriamento remoto de baixa resolução (SPOT VEGETATION e MODIS) para estimar a perda total da vegetação no bioma como um todo e encontraram valores com fortes disparidades (Brannstrom et al., 2008). Durigan e seus colaboradores (Durigan et al., 2002; Durigan e Ratter, 2006) realizaram uma série de estudos sobre a regeneração de cerrado no Estado de São Paulo (que recebe duas vezes mais chuva que o norte de Minas Gerais). Eles mostraram que o Cerrado é bastante resiliente às mudanças da cobertura terrestre, desde que os fragmentos remanescentes não sejam totalmente disjuntos e isolados.

A regeneração natural da vegetação de cerrado progride de fisionomias abertas (fraca densidade de árvores e predomínio de gramíneas) para fisionomias mais fechadas (com maior densidade de plantas lenhosas e menor abundância de gramíneas). Quando não for perturbado por degradações, o campo limpo tende a evoluir para uma forma mais fechada de vegetação, desde que o seu banco de sementes esteja disponível para tal progressão. A vegetação clímax, que pode ser qualquer uma das cinco fisionomias, é controlada principalmente por fatores edáficos. Este princípio de sucessão se aplica à todas as fisionomias, como expresso na Figura 2.



**Figura 2** – Fluxograma da regeneração de Cerrado. As setas finas representam um processo de regeneração e as setas grossas, de degradação de origem natural ou antrópica (adaptado e simplificado de Pivello e Coutinho, 1996).

O fogo atua como modificador de fisionomias de cerrado e dependendo do tempo e de sua frequência, pode alterar fisionomias fechadas para fisionomias abertas (Mistry, 1998; Durigan e Ratter, 2006). Incêndios de inverno, no final da estação seca, são especialmente destrutivos para os arbustos e as árvores e tendem a favorecer o crescimento de gramíneas. Inversamente, os incêndios de verão (estação chuvosa) têm pouco efeito sobre as árvores, mas tendem a ser mais destrutivos para as plantas herbáceas (Pivello e Coutinho, 1996). Quando a perturbação do fogo é relativamente leve, a fisionomia poderá permanecer num mesmo estágio de sucessão. Se o distúrbio ocorre com frequência, a fisionomia permanece na fase anterior de sucessão, mesmo se as condições do solo propiciem o estabelecimento de uma forma mais densa. Quando submetidos a uma degradação grave pelo fogo, a vegetação do cerrado tende a perder a sua diversidade floral (Mistry, 1998) e pode ser transformada em uma formação degradada por um tempo indefinido (Pivello e Coutinho, 1996).

No cerrado, o comportamento espectral do dossel é influenciado pelas proporções de vegetação herbácea e arbórea (Asner e Warner, 2003). Embora as gramíneas tenham um período de crescimento que se estende de novembro a julho, o ciclo de vida das espécies lenhosas é perene com a maioria das espécies sendo perenifólia (Ratana e Huete, 2005). As árvores do Cerrado possuem um sistema



radicular bem desenvolvido que atinge águas para as plantas. Um dos mais camadas mais profundas do solo para obter água. Isto permite a sobrevivência da planta durante o período seco e uma atividade fotossintética ao longo do ano todo. Contudo, as plantas herbáceas regidas pelo ciclo fenológico, morrem durante a estação seca (Oliveira, 1998).

Considerando o fato de que a regeneração do cerrado segue um caminho regido por um gradiente variando de campos abertos a bosques defendemos que a discriminação da idade da regeneração do cerrado seja possível a partir de dados Landsat TM multi-temporais com resolução espacial nominal de 30 metros. O objetivo deste estudo é entender como e com que ritmo, a vegetação de cerrado se regenera após sofrer desmatamento e plantio de eucalipto. Queremos determinar as variáveis espectrais que melhor representem a idade de vegetação desde o início da regeneração natural e estabelecer claramente como dados multi-temporais de sensoriamento remoto podem ser usados para estimar o tempo de regeneração. Especulamos que numa formação de cerrado uniforme, para estimar a idade da regeneração, variáveis espectrais poderiam substituir medidas estruturais de campo que são onerosas e difíceis de obter.

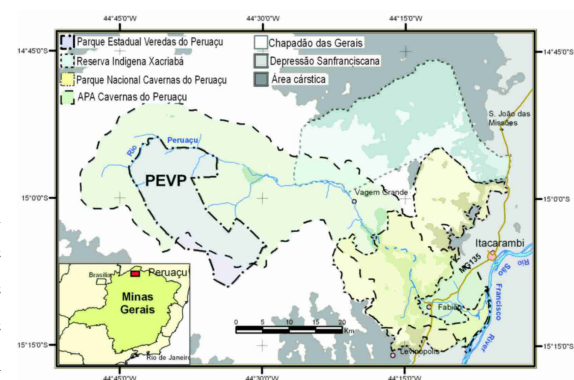
## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Área de Estudo

A área de estudo corresponde ao Parque Estadual Veredas do Peruaçu (PEVP), localizado no extremo norte de Minas Gerais entre os municípios de Januária, Cônego Marinho e Bonito de Minas (Figura 3). O PEVP se encontra em uma região conhecida como Chapadão dos Gerais, região de domínio de Cerrado. O clima da região é do tipo semi-árido, chegando a oito meses de carência de chuva e seis meses de profunda falta de

negativo balanço hídrico do Estado de Minas Gerais. O relevo da região é plano a suave ondulado. O ambiente geológico é constituído pela Formação Urucua constituída principalmente de arenito e o solo predominante é o Neossolo Quartzarênico. Três fitofisionomias do Cerrado, além das veredas, foram identificadas no parque: campo cerrado, cerrado *sensu-stricto* e cerradão. Mas, este estudo limita-se a estudar a regeneração do cerrado *sensu-stricto*.

Parte da área que hoje pertence ao PEVP foi ocupada por plantações de eucalipto do final da década de 70 até o início dos anos 90. O eucalipto foi cortado e a área dos antigos talhões está sendo recuperada naturalmente, sem plantio de espécies. Existem no parque, hoje, áreas com Cerrado em regeneração e áreas com Cerrado preservado, sem histórico recente de degradação. Essas áreas são próximas uma das outras, possuindo o mesmo tipo de solo, mesmas influências microclimáticas e, conseqüentemente, as mesmas espécies ocorrentes. Sua diferenciação encontra-se no fato de uma área já ter sofrido alteração e a outra não.



**Figura 3** – Localização da área de estudo do Parque Estadual Veredas do Peruaçu.

## 2.2. Processamento das imagens Landsat

As imagens utilizadas neste estudo foram todas adquiridas pelo sensor TM do Landsat-5. Foi necessário obter dados multi-temporais para recriar a longa cronologia de mudanças na vegetação durante o período de plantação de eucalipto. Os dados de satélite foram organizados em uma série temporal de 18 imagens (órbita / ponto 219/70), entre 1984 a 2007. A escolha das imagens foi baseada na cobertura de nuvens e períodos do ano. A fim de minimizar as diferenças entre as imagens, devido ao ângulo zenital solar e as fases fenológicas, todas as imagens são do mesmo período: entre 26 de junho e 15 de agosto. Imagens de alguns anos não estavam disponíveis ou não preencheram os critérios de seleção, estas foram dos anos: 1985, 1986, 1989, 2002, 2004 e 2005.

Todas as bandas espectrais, exceto a banda do infravermelho térmico (TM 6) de todas as 18 imagens foram convertidas para refletância aparente. O método de subtração do objeto escuro de Chavez (1988) foi utilizado para reduzir os efeitos atmosféricos e os dados foram transformados em radiância a partir dos dados tabelados do Landsat. A transformação em reflectância foi efetuada usando a equação 1. Um ajuste final foi feito usando o método da regressão com superfícies invariáveis claras e escuras (Liang, 2004).

$$\rho_{\lambda} = \frac{(\pi \times L_{\lambda} \times d^2)}{ESOL_{\lambda} \times \cos(\theta_s)} \quad (\text{eq. 1})$$

Um método de subtração de imagens foi aplicado para detectar o desmatamento de vegetação nativa e plantios de eucalipto, bem como os incêndios florestais que ocorreram durante o período analisado. Com este método, duas imagens adquiridas em datas

diferentes foram subtraídas para produzir uma imagem residual que representasse as mudanças entre essas duas datas (MAS, 1999).

Com o objetivo de destacar as áreas que sofreram alterações, 17 imagens de diferença foram geradas a partir do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI): 1987-1984, 1988-1987, 1990-1988, 1991-1990, 1992-1991, 1993-1992, 1994-1993, 1995-1994, 1996-1995, 1997-1996, 1998-1997, 1999-1998, 2000-1999, 2001-2000, 2003-2001, 2006-2003 e 2007-2006. Mudanças na vegetação ao longo dos anos foram identificadas através de uma interpretação visual das imagens-diferença (Figura 4); tons escuros correspondem a uma redução da vegetação, enquanto os tons brilhantes são associados ao crescimento (dominado por gramíneas). A data do distúrbio foi avaliada como sendo no meio do período abrangido pelas duas imagens.



**Figura 4** - Imagem de diferença de NDVI 1987-1984 mostrando o tom de cinza de acordo com o ano do evento (incêndios à esquerda e cortes à direita). Eventos recentes não tiveram tempo de regenerar e aparecem escuros enquanto a rebrota já está avançando para os eventos antigos (a imagem representa uma área de 24,5 × 18,6 km).

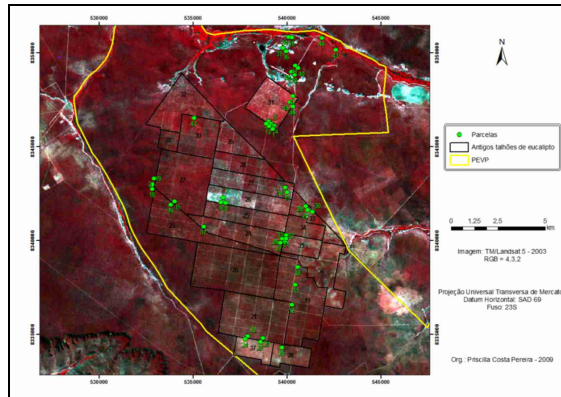
## 2.3. Medições de campo

Com a finalidade de obter áreas de controle, um total de 47 parcelas retangulares de 10 m × 20 m tiveram todos os indivíduos lenhosos identificados e medidos. As parcelas foram escolhidas de

maneira a cobrir as diferentes idades de regeneração (31 parcelas), bem como de cerrado preservado (16 parcelas). A Figura 5 mostra a distribuição das parcelas na área de estudo. Para fins de comparação, três parcelas de uma área muito degradada (talhão 26, na Figura 5) que sofreram dois incêndios e três episódios de plantio de eucalipto também foram incluídas na amostra.

Todas as árvores com circunferência à altura do peito (CAP) de 10 cm ou mais foram medidas. Quando ramos estavam presentes abaixo da altura do peito, a circunferência foi medida logo abaixo da ramificação. Além da CAP, a altura das árvores e o diâmetro da copa foram medidos. A abertura do dossel foi estimada a partir de um gabarito (Macdonald et al., 1990). O diâmetro à altura do peito (cm), a área basal (m<sup>2</sup> / ha), o volume (m<sup>3</sup> / ha) e a densidade (n / ha) foram calculados a partir das medições coletadas em campo.

Valores médios de cada uma das 47 parcelas foram obtidos para todas as seis bandas, assim como, o NDVI e o SAVI (índice de vegetação corrigido pelo solo) para todas as datas. Um banco de dados foi construído com os dados estruturais e espectrais correspondentes a cada parcela. As medições de cada parcela foram: abertura da copa, altura média, DAP (diâmetro na altura do peito) médio, volume, área basal, densidade, idade, refletância nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, NDVI e SAVI. A Tabela 2 traz os valores estruturais e espectrais médios para as idades agregadas em classes.



**Figura 5** – Localização e distribuição das parcelas na área de estudo.

**Tabela 2** – Valores estruturais e espectrais médios obtidos nas 47 parcelas agregadas por classes de idade.

Idade	Variáveis espectrais e índices de vegetação							
	TM 1	TM 2	TM 3	TM 4	TM 5	TM 7	NDVI	SAVI
16*	.049	.071	.070	.149	.289	.188	.362	.165
13	.043	.056	.047	.164	.236	.136	.559	.247
17	.040	.055	.048	.153	.225	.132	.529	.225
24	.040	.055	.047	.150	.229	.134	.524	.221
34**	.042	.053	.043	.151	.206	.111	.561	.234
Idade	Variáveis estruturais							
	Parcela	Altura (m)	DAP (cm)	Volume (m <sup>3</sup> )	Área basal (m <sup>2</sup> )	Densidade (t/ha)		
16*	3	2.2	6.1	13.8	6.4	1267		
13	2	3.0	4.6	12.6	6.2	1245		
17	13	2.8	5.0	12.3	6.2	2062		
24	16	2.7	4.9	11.7	6.0	2247		
34**	13	3.4	5.5	31.5	13.6	2308		

\* indica as parcelas da área degradada; \*\* ou mais antigo.

Com o objetivo de produzir um modelo da idade de regeneração, cruzamos os dados através da correlação e da regressão entre a idade, a estrutura da vegetação e os valores de refletância. A média de refletância das bandas e índices de vegetação da imagem de 2007 foi utilizada para a análise da relação

estatística entre as variáveis estruturais e espectrais.

Calculamos o coeficiente de correlação entre as variáveis espectrais e estruturais considerando um intervalo de confiança de 95%. Em seguida, efetuamos a regressão linear simples para as variáveis com uma correlação significativa. A análise de regressão múltipla visou criar um modelo matemático para se estimar a idade da vegetação no PEVP e entorno. O método “stepwise” auxiliou a determinar o melhor conjunto de variáveis para explicar a idade de regeneração. Em cada etapa, este método inclui uma variável independente no modelo até encontrar a melhor equação de regressão.

Finalmente, um estudo gráfico do comportamento espectral de regeneração ao longo do tempo foi realizado, para comparar as diferentes idades entre si. Agrupamos as parcelas por classes de idade para facilitar a comparação visual.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Comportamento estrutural e espectral da vegetação de cerrado

Podemos observar na Tabela 2 que, retirando a densidade, as outras variáveis não tem um comportamento consistente em relação à idade. Apesar do fato de que as alturas, o volume e a área basal tenderem a aumentar com a idade, não há uma tendência clara. Sabemos que o cerrado é resiliente à degradação e que uma área desmatada é rapidamente colonizada pelas plantas pioneiras que podem atingir vários metros em dois ou três anos. Entretanto, essas espécies colonizadoras geralmente arbustos heliófitos, vão eventualmente ser substituídas por árvores que inicialmente crescem na sombra de outras plantas maiores (Durigan e Ratter, 2006). Um cerrado jovem pode ser mais facilmente identificado pelas espécies pioneiras do

que por qualquer variável estrutural (DAP, volume, altura, etc.). A dificuldade de se estimar a idade da regeneração ficou clara no campo quando, não conseguimos diferenciar visualmente uma regeneração de menos de 20 anos em uma área de cerrado não perturbada. Estruturalmente, a diferença é muito sutil e, tirando a maior frequência de árvores de maior porte e de espécies tipicamente de regeneração, foi impossível ver a diferença entre as duas formações.

Porém, essa diferença fica nitidamente clara nas imagens de satélite, pois as bandas espectrais parecem variar com consistência em relação à idade da regeneração (lado direito da Tabela 2). Esse comportamento espectral é comparável às formações vegetais semi-áridas com um baixo índice de área foliar (IAF; Asner, 2004), o cerrado do PEVP tem um IAF médio de 1,8 (Gomes e Maillard, 2006). Nas três bandas visíveis das imagens Landsat (azul, verde e vermelho), a reflectância (proporção de energia do sol refletida pelo alvo) tende a diminuir com a idade enquanto o dossel fica mais denso e mais luz é “capturada” pela vegetação. Com a idade maior, as árvores que crescem mais rapidamente ficam ainda maiores e projetam sombra sobre as demais. Fenômeno mais observável de manhã, justamente quando o satélite Landsat sobrevoa a área (por volta de 9:30 hs).

Os índices de vegetação para a primeira classe de regeneração (13 anos) são relativamente mais elevados do que para as outras duas classes (17 e 24 anos) porém, relativamente semelhantes à classe de cerrado maduro (etiquetado como 34 anos). Para explicar esta contradição, avançamos com a seguinte explicação: o cerrado jovem é mais baixo e pode ter um estrato herbáceo mais denso com mesmo efeito no índice de vegetação do que uma

vegetação arbórea densa. Além disso, o cerrado jovem possui menos tecidos não fotossinteticamente ativo e mais material senescente.

A classe de 16 anos é constituída por três parcelas do talhão degradado 26 (Figura 6). Enquanto ainda era explorado como plantação de eucalipto, o talhão sofreu dois incêndios intensos e passou por três episódios de plantação de eucalipto (enquanto as outras parcelas só tiveram um ou dois episódios). Até hoje, esse talhão não se recuperou dessas degradações e foi caracterizado por um estrato herbáceo mais denso do que as outras parcelas com presença dominante de pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess.) O pequi cujas sementes se abrem mais facilmente em altas temperaturas produzidas por incêndios florestais (Guidon e Delibrias, 1986) devem ter sobrevivido melhor aos incêndios desse talhão. A reflectância dessas parcelas demonstra um comportamento mais parecido com a vegetação senescente com menos absorção nas faixas vermelhas e do infravermelho médio e menos refletância no infravermelho próximo. Ambos os índices de vegetação foram também mais baixos do que para as outras classes de regeneração.

### 3.2. Correlação

A correlação de Pearson foi calculada para todas as combinações de variáveis estruturais e espectrais das parcelas e a variável “idade” foi correlacionada com ambos tipos de variáveis. O coeficiente de correlação (r) representa a força da relação entre duas variáveis; um valor de 1,0 corresponde a uma correlação perfeita. A Tabela 3 agrega os resultados de todas essas correlações. Podemos observar que apenas algumas dessas correlações foram significantes (a

95%) e que, de modo geral, elas foram relativamente baixas (entre 0,295 e 0,544). Essas correlações baixas podem ser explicadas pela heterogeneidade da estrutura e da composição florística do cerrado como exposto na Tabela 2. É o DAP que mais se relacionou com as variáveis espectrais. Entretanto, a correlação mais forte ocorreu entre a variável “idade” e a banda 5 (infravermelho médio) da imagem Landsat. A variável “altura” obteve correlação significativa apenas com a banda 7 do Landsat (infravermelho longe).

**Tabela 3** – Coeficientes de correlação (r); valores em negrito indicam correlações significantes a 95%.

Estrutural	Abertura Dossel	Altura	DAP	Volume
<b>Banda 1</b>	-0,035	0,122	<b>0,307</b>	0,268
<b>Banda 2</b>	-0,156	-0,102	0,285	0,068
<b>Banda 3</b>	-0,208	-0,149	<b>0,306</b>	0,003
<b>Banda 4</b>	-0,101	0,211	-0,198	0,031
<b>Banda 5</b>	-0,273	-0,275	<b>0,313</b>	-0,073
<b>Banda 7</b>	-0,246	<b>-0,295</b>	<b>0,296</b>	-0,100
NDVI	0,213	0,196	<b>-0,365</b>	0,004
SAVI	0,163	0,257	<b>-0,412</b>	0,012
Idade	<b>-0,522</b>	<b>0,544</b>	0,202	<b>0,481</b>
	<b>Área Basal</b>	<b>Densidade</b>	<b>Idade</b>	
<b>Banda 1</b>	0,264	-0,070	0,155	
<b>Banda 2</b>	0,077	-0,135	-0,102	
<b>Banda 3</b>	0,014	-0,190	-0,195	
<b>Banda 4</b>	0,015	0,117	-0,115	
<b>Banda 5</b>	-0,054	-0,158	<b>-0,418</b>	
<b>Banda 7</b>	-0,073	-0,142	<b>-0,408</b>	
NDVI	-0,010	0,219	0,191	
SAVI	-0,008	0,250	0,133	
Idade	<b>0,349</b>	0,047	-	

A variável DAP obteve uma correlação significativa com as bandas 1 (azul), 3 (vermelho), 5 (infravermelho médio) e 7 (infravermelho longe) do Landsat, deixando de fora as bandas 2 (verde) e 4 (infravermelho próximo). O DAP foi a única variável que apresentou uma correlação significativa com os índices de vegetação (NDVI e SAVI). Entretanto, o DAP não apresentou correlação com a variável idade, provavelmente pelo fato de que as árvores

com diâmetros maiores, estarem diluídas, pela média que incorpora muitas árvores de pequeno porte, mesmo no cerrado maduro.

A idade teve correlação significativa com as bandas 5 ( $r = -0.418$ ) e 7 ( $r = -0.408$ ) do Landsat, mas em ambos casos, a correlação foi negativa. Explicamos este fenômeno por três fatores:

1) enquanto a vegetação cresce, a proporção de solo visível de cima diminui, 2) uma maior parte da luz é capturada pelas folhas e 3) a proporção de sombra tende a aumentar porque as árvores emergentes projetam sua sombra no dossel abaixo. Esta última explicação é reforçada pelo fato das imagens Landsat serem adquiridas de manhã por volta de 9:30 hs.

### 3.3. Regressão

Já que nenhuma banda espectral conseguiu explicar a idade da regeneração com uma correlação forte, resolvemos utilizar um processo de regressão múltipla que oferece a possibilidade de usar várias bandas espectrais juntas para criar um modelo de regressão. Esse deveria permitir inverter o processo e determinar a idade a partir das bandas espectrais exclusivamente. Uma regressão múltipla utilizando o modo de seleção “stepwise” possibilita definir as melhores bandas para determinação da idade e eliminar aquelas que não contribuem no aprimoramento do modelo. As bandas 1 a 5, 7 e os índices de vegetação foram incluídos no processo adotando 44 parcelas de controle (excluídas as 3 parcelas do talhão 26 que sofreram maior degradação). O coeficiente de determinação ajustado ( $r_a^2$ ) precisou o desempenho dos modelos gerados (Tabela 4).

**Tabela 4** – Equações dos modelos gerados para estimar a idade da regeneração.

	Equação (r e $r_a^2$ abaixo)
A	$52,74 - 131,94 \times B5$ $r = 0,418$ $r_a^2 = 0,155$
B	$37,24 - 290,54 \times B5 + 1244,42 \times B1$ $r = 0,709$ $r_a^2 = 0,478$
C	$90,36 - 325,18 \times B5 + 1662,52 \times B1 - 411,51 \times B4$ $r = 0,797$ $r_a^2 = 0,608$

A primeira equação (A) usou apenas a banda 5 (infravermelho médio) como variável dependente e obteve o pior desempenho com um  $r_a^2$  de 16%. O segundo modelo acrescentou a banda 1 (azul), na equação B e conseguiu um  $r_a^2$  de 48%. A terceira e última equação (C) utilizou as bandas 1, 4 e 5 e produziu o melhor resultado com um  $r_a^2$  de 61%, com um intervalo de confiança superior a 95%.

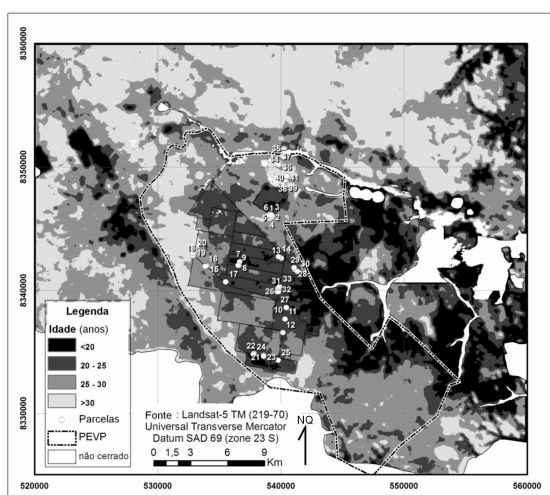
Enquanto muitos estudos tentam determinar a estrutura do dossel florestal, a partir de dados de sensoriamento remoto, pouquíssimos são aplicados ao cerrado. Pinheiro (2008) tentou estimar a biomassa acima do chão a partir de uma imagem Landsat e não observou correlações altas, apenas as bandas 5 e 7 ofereceram correlações significativas de -0,56 e -0,51 respectivamente. Nota-se que essas correlações foram negativas, assim como os pesos do nosso modelo para as bandas do infravermelho (4 e 5). Accioly *et al.* (2002) também registrou coeficientes não muito altos (entre 0,33 e 0,60) entre variáveis estruturais de cerrado e as bandas Landsat.

### 3.4. Aplicação do modelo

A terceira equação (C) foi selecionada como modelo de regressão para ser invertido e aplicado à imagem de 2007 a fim de gerar um mapa de idade de regeneração do cerrado (Figura 6). O modelo foi aplicado à imagem além dos limites do PEVP com uma máscara adotada para tampar as áreas que não são

de vegetação de cerrado *sensu stricto*. Na Figura 6 observamos que a vegetação nos antigos talhões de eucalipto não ultrapassa a classe 25-30 anos, a grande maioria está inserida na classe 20-25 anos e algumas pequenas áreas mostram idades inferiores a 20 anos. É interessante notar que, todas as áreas fora dos talhões, consideradas como de cerrado maduro, são representadas pelas classes “25-30 anos” e “mais que 30 anos”. A área do talhão 26 aparece em preto, com uma idade menor, provavelmente por causa das degradações mais freqüentes que dificultaram sua regeneração.

Ao compararmos as idades obtidas pela inversão do modelo com as idades reais estimadas das parcelas, constatamos uma diferença média de 3,7 anos (desvio padrão de 2,67). Fatores ambientais como solos, disponibilidade hídrica, exposição ao vento e a história de degradações podem explicar tais diferenças nas taxas de regeneração. Concluimos que, distintas áreas de cerrado com a mesma idade podem aparecer até quatro anos mais jovens ou mais velhas dependendo de fatores edáficos, climáticos ou topográficos. Em geral, o mapa é bastante próximo da situação esperada no âmbito do PEVP.



**Figura 6** – Mapa de idade da regeneração de cerrado no PEVP e entorno.

### 3.5. Trajetória espectral da regeneração

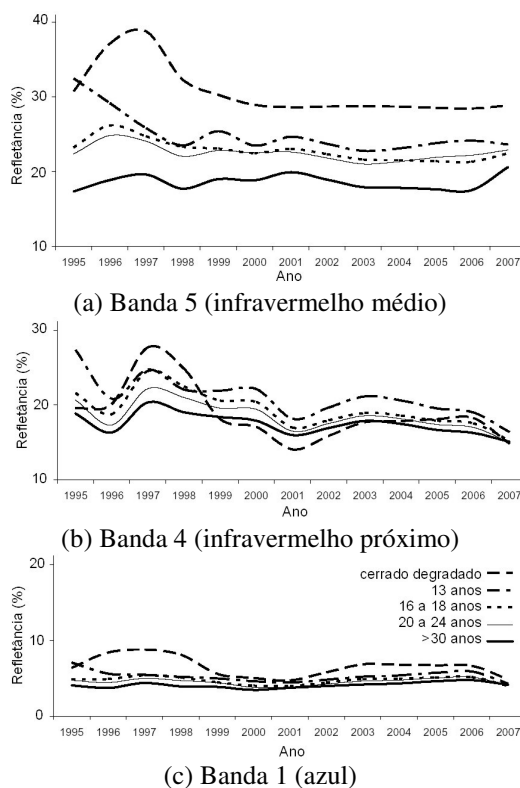
A trajetória espectral da regeneração abrange o período 1995-2007, correspondente ao último corte total das plantações de eucalipto em 1994 (Figura 7). Os valores de reflectância foram obtidos a partir de uma média dos pixels das parcelas, elas foram agrupadas em classes de idade para facilitar a interpretação dos gráficos. Como os valores de reflectância para os anos 2002, 2004 e 2005 não estavam disponíveis adquirimos eles a partir da média de anos anteriores e sucessivos. Avaliamos apenas as bandas espectrais que entraram no modelo (equação de regressão C).

A Figura 7a mostra a trajetória na banda espectral infravermelho médio (5) para o período. Em geral, as curvas tendem a seguir o mesmo comportamento em diferentes níveis para as distintas classes de idade. A classe de cerrado degradado (curva superior) mantém uma maior refletância durante todo o período, provavelmente por causa da presença de solo exposto nesta região (talhão 26) e da quantidade de perturbações sofridas que impediu uma recuperação rápida. Todas as outras classes de idade têm curvas em níveis diferentes, mas que tendem, com o tempo, a se aproximar e reduzir a distância entre si. Isso é consistente com o comportamento esperado, pois, com o tempo, a regeneração tende a atingir um estado de clímax com aspecto mais homogêneo. É interessante notar que as classes são geralmente organizadas verticalmente de acordo com sua idade. Variações locais nas curvas espectrais – temporais são atribuídas às diferenças nas precipitações, nas datas de aquisição (variando de até 38 dias), na qualidade atmosférica e nos erros de correções

atmosféricas e radiométricos. O comportamento temporal na faixa do infravermelho próximo (4) exibe basicamente a mesma tendência, mas com uma amplitude reduzida (Figura 7b). Explicamos os valores de refletância alta do cerrado degradado entre 1996 e 1999 pela grande quantidade de estrato herbáceo presente durante os primeiros anos. Note-se que em 2007, os valores de refletância de todas as classes se aproximam muito. Na região do azul (banda 1) as curvas espectrais-temporais exibem também um comportamento semelhante (Figura 7c). No entanto, as pontas extremas da direita das curvas parecem todas convergir para um único ponto, exceto para as parcelas degradadas, que mantêm uma refletância um pouco mais elevada.

As parcelas de 13 anos de idade começaram a regeneração em 1994 (data do último corte), portanto, apresentavam regeneração de apenas um ano, no início do gráfico. É facilmente perceptível que em todas as três bandas, os valores de refletância foram mais elevados do que as outras classes. Isto é explicado pela presença de solo nu celeremente colonizado por gramíneas, que têm uma refletância elevada nestas bandas e pela quase ausência de sombra, ao contrário das áreas arborizadas. Tal diferença inicial diminui rapidamente com o surgimento progressivo de árvores e aumento da captura de luz pelo dossel arbóreo. Na análise dos três gráficos, as curvas em geral, não se cruzam, não obstante mantêm um comportamento coerente.

Mesmo no campo é bastante difícil separar um cerrado com mais de 12 anos de regeneração, de um cerrado não perturbado. Ambos visualmente semelhantes somente podem ser distinguidos, a partir da medição da altura e da densidade das árvores. Com o monitoramento do comportamento espectral da regeneração ao longo do tempo, podemos dizer que 12 anos não são suficientes para que as curvas espectrais se confundam. A análise espectral revela um maior potencial de diferenciação das várias classes de idade de cerrado em regeneração do que as observações de campo ou as medidas estruturais tradicionais.



**Figura 7** – Trajetória espectral da regeneração nas bandas espectrais do modelo de idade (as bandas aparecem em ordem de importância): (a) Banda 5, (b) Banda 4 and (c) Banda 1.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o objetivo de caracterizar a idade de regeneração de cerrado aplicando dados de sensoriamento remoto, este estudo recorreu a uma combinação de processamentos de imagens digitais e técnicas estatísticas para entender esse complexo processo. A técnica simples de subtração de Índices de Vegetação, de duas



imagens consecutivas, foi eficiente para recriar a história de perturbações que ocorreram durante o período investigado (1984-2007). Isso permitiu estimar a idade da vegetação desde o início da regeneração com uma precisão de cerca de 6 meses (exceto quando o intervalo entre duas imagens era de mais de um ano).

Descobrimos através da análise de correlação de Pearson, que as bandas individuais Landsat, têm geralmente baixa correlação com as variáveis estruturais e com a idade. Algumas dessas relações, mesmo baixas, são consideradas significativas com um intervalo de confiança de 95%. Fatores como sombras e diferenças do solo podem ter um efeito drástico sobre os valores de reflectância. De todas as variáveis estruturais, o DAP é a variável estrutural que mais se correlaciona às variáveis espectrais, todavia a correlação mais forte ocorre na banda infravermelha média (TM 5) com a idade.

A análise estatística da relação entre a idade da regeneração e os dados de sensoriamento remoto mostrou que o emprego da regressão múltipla pode melhorar significativamente os modelos de regressão simples. O modelo que melhor estimou a idade utiliza as bandas TM 5, 4 e 1 do Landsat e apresentou um coeficiente de determinação de 61%. Isto é, em nosso conhecimento, o único modelo deste tipo para estimar a idade de regeneração de cerrado. O modelo foi invertido com sucesso para produzir um mapa da idade do cerrado, que coincide com o nosso conhecimento geral da região.

A estimativa da idade de cada talhão, após o corte total permitiu compreender melhor a dinâmica da regeneração natural do cerrado ao longo do tempo. A avaliação da trajetória espectral de regeneração de cerrado possibilitou a distinção de um cerrado com mais de 12

anos de regeneração, de um cerrado que ainda não foi perturbado.

Com este estudo, realçamos a capacidade fantástica do cerrado para se regenerar depois de um corte total, mesmo com as difíceis condições climáticas do Norte de Minas Gerais. Esta resiliência pode, contudo, ser facilmente prejudicada se os distúrbios forem freqüentemente repetidos ao longo do tempo. Sugerimos que os proprietários de terrenos utilizem práticas de manejo, como a rotação de culturas para reduzir o impacto sobre a vegetação nativa e tentarem assim preservar este bioma que rapidamente desaparece. Incêndios no pico da estação seca são especialmente destrutivos e devem ser evitados.

Esperamos que os estudos futuros a respeito da regeneração do cerrado possam incluir fatores edáficos como a disponibilidade hídrica e de nutrientes e o relevo. Reconhecemos também a importância de uma análise mais aprofundada, incluindo um número maior de amostras e, talvez, um conjunto de medidas estruturais mais adaptado às peculiaridades do Cerrado.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Instituto Estadual de Florestas (IEF - MG) que incentivou esta pesquisa e forneceu um apoio logístico imprescindível. Agradecemos também ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por fornecer todas as cenas Landsat-5.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Accioly, L.J.O.; Pacheco, A.; Costa, T.C.C.; Lopes O.F.; Oliveira, M.A.J. 2002. Relações empíricas entre a estrutura da vegetação e dados do sensor TM/Landsat. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.3, p.492-498.

- Asner, G.P. 2004. Biophysical Remote Sensing Signatures of Arid and Semiarid Ecosystems. In *Manual of Remote Sensing, vol. 4: Remote Sensing for Natural Management and Environmental Monitoring* (4ª Edição), John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey, p.53–109.
- Asner, G.P.; Warner, A.S. 2003. Canopy shadow in IKONOS satellite observations of tropical forests and savannas. *Remote Sensing of Environment*, v. 87, p.521–533.
- Brannstrom, C.; Jepson, W.; Filippi, A.M.; Redo, D.; Xu, Z.; Ganesh, S. 2008. Land change in the Brazilian savanna (Cerrado), 1986-2002: comparative analysis and implications for land-use policy. *Land Use Policy*, v. 25, p. 579–595.
- Chavez JR, P.S. 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, v. 24, p. 459-479.
- Coutinho, L. M. 1978. O conceito de cerrado. *Revista Brasileira de Botânica*, v.1, p.17–23.
- Durigan, G., Nishikawa, D.L.L.; Rocha, E.; Silveira, E.R.; Pulitano, F.M.; Regalado, L.L.B.; Carvalhaes, M.A.; Paranaguá, P.A.; Ranieri, V.E.L. 2002. Caracterização de dois estratos da vegetação em uma área de cerrado no município de Brotas, SP, Brasil. *Acta Botânica Brasílica*, v.16, n.3, p.251–262.
- Durigan, G.; Ratter, J.A. 2006. Successional changes in cerrado and cerrado/forest ecotonal vegetation in Western São Paulo state, Brazil, 1962–2000. *Edinburgh Journal of Botany*, v.63, n.1, p.119–130.
- Felfili, J.M.; Silva Júnior, M.C. 1993. A comparative study of cerrado (sensu stricto) vegetation in central Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, v.9, n.3, p.277–289.
- Ferreira, L.G.; Silva, A.A.; De Jesus, E.T.; Sano, E.E.; Shimabukuro, Y.E. 2004. Optical characterization of the Brazilian Savanna physiognomies for improved land cover monitoring of the cerrado biome: preliminary assessments from an airborne campaign over an LBA core site. *Journal of Arid Environments*, v.56, p.425–447.
- Furley, P.A. 1997. Plant ecology, soil environments and dynamic change in tropical savannas. *Progress in Physical Geography*, v.21, n.2, p.257–284.
- Furley, P.A. 2006. Tropical savannas. *Progress in Physical Geography*, v.30, n.1, p.105–121
- Gomes, M.F. ; Maillard, P. 2006. An evaluation of radarsat-1 data for the characterization of cerrado vegetation. In: *ISPRS Annual Conference*, Anais, Enschede, Holanda, CD-ROM. 6 p.
- Goodland, R. 1971. A physiognomic analysis of the cerrado vegetation of central Brasil. *The Journal of Ecology*, v.59, n.2, p.411–419.
- Guidon, N.; Delibrias, G. 1986. Carbon-14 dates point to man in the Americas 32,000 years ago. *Nature*, v.321, p.769–771.
- Jepson, W. 2005. A disappearing biome? Reconsidering land-cover change in the Brazilian savanna. *The Geographical Journal*, v.171, n.2, p.99–111.
- Liang, S. 2004. *Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces*. Wiley, New York. 534 p.
- Macdonald, R.C.; Isbell, R.F.; Speight, J.G.; Walker, J.; Hopkins, M.S. 1990. Australian Soil and Land Survey Field Handbook (2ª edição). Melbourne: Inkata Press. 264 p.
- Maillard, P.; Augustin, C.H.R.R.; Fernandes, G.W. 2009. Brazil's Semiarid Cerrado: a Remote Sensing Perspective. In: *Arid Environments and Wind Erosion*. Editado por A. Fernandez-Bernal e M. A. De La Rosa. Nova Science Publishers, New York, p.1–44.
- Mas, J. F., 1999. Monitoring land-cover changes: a comparison de change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, v.20, n.1, p.139–152.
- Mistry, J. 1998. Fire in the cerrado (savannas) of Brazil: an ecological review. *Progress in Physical Geography*, v.22, n.4, p.425–448.
- Mistry, J. 2000. Savannas. *Progress in Physical Geography*, v.24, n.2, p.273–279.
- Myers, N.; Mittermeier, R.A.; Mittermeier, C.; Fonseca, G.A.B.; Kentand, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v.403, p.329-338.

Oliveira, P.E. 1998. Fenologia e biologia reprodutiva das espécies de cerrado. In: *Cerrado: ambiente e flora*. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC. p.169–192.

Pinheiro, E.S. 2008. Análises Ecológicas e Sensoriamento Remoto Aplicados à Estimativa de Fitomassa de Cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP. Tese. Universidade de São Carlos – SP, 192 p.

Pivello, V.R.; Coutinho, L.M. 1996. A qualitative successional model to assist in the management of Brazilian cerrados. *Forest ecology and Management*, v.87, p.127-138.

Ratana, P.; Huete, A.R. 2005. Analysis of Cerrado Physiognomies and Conversion in the MODIS Seasonal–Temporal Domain. *Earth Interactions*, v.9, n.3, p.1-22.

Ratter, J.A., Ribeiro, J.F.; Bridgewater, S. 1997. The Brazilian cerrado vegetation and threats to its biodiversity. *Annals of Botany*, v.80, p.223–230.

Ribeiro, J.F.; Walter, B.M.T. 1998. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: *Cerrado: ambiente e flora* (1ª edição), Editado por S.M. Sano, e S.P. Almeida, Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, p.89–166.

Sano, E.E., Rosa, R.; Brito, J.L.S.; Ferreira, L.G.; Bezerra, H.S. 2009. Mapeamento da cobertura vegetal natural e antrópica do bioma Cerrado por meio de imagens Landsat ETM+. In: *XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, RN, p.1199-1206.

Sarmiento, G. 1983. Savannas of tropical America. In: *Tropical Savannas*, (Coleção: Ecosystems of the World). Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, p.245–288.



## SIMULAÇÃO HIDROSEDIMENTOLÓGICA, ANALISANDO DOIS MDES, DE DUAS PEQUENAS SUB-BACIAS NO CARIRI PARAIBANO UTILIZANDO O MODELO SWAT

### HYDROSEDIMENTOLOGICAL SIMULATION, ANALYZING TWO DEM, OF TWO SMALL SUB-BASINS IN THE PARAIBANO CARIRI USING THE SWAT MODEL

José Guimarães de Carvalho Neto

Bolsista de Desenvolvimento Tecnológico, Nível B, Agência Pernambucana de Água e Clima, Recife, PE  
ze.ambiental@gmail.com

Vajapeyam Srirangachar Srinivasan

Professor Visitante Nacional Sênior, Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, PE vajapeyam@yahoo.com

Iana Alexandra Alvez Rufino

Professor adjunto da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB  
iana\_alex@uol.com.br

**RESUMO** Nas regiões em que a rede de monitoramento hidrossedimentológico é precária ou inexistente, a utilização de modelos hidrológicos, de base física que proporcionem estimativas da geração de escoamento superficial e a perda de solo, se torna muito útil para fins de planejamento das bacias hidrográficas. O presente trabalho trata da aplicação do modelo hidrossedimentológico “*Soil And Water Assessment Tool*” nas Sub-Bacias 2 e 1 da Bacia Experimental de São João do Cariri. O modelo com a interface ArcSWAT, que se une ao SIG, necessita da entrada de “Modelo Digital de Elevação” (MDE) da bacia e as simulações foram realizadas utilizando dois MDEs para fins de análise comparativa: um originado a partir da interpolação de dados de campo e outro obtido através de sensoriamento remoto. Com isto foi possível verificar a confiabilidade do uso de MDE obtido por sensoriamento remoto. Em nível das sub-bacias experimentais, foi realizada a parametrização, na Sub-Bacia 2, e a validação, na Sub-Bacia 1. O desempenho do modelo, para a geração da lâmina escoada, foi avaliado pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do fator da eficiência de Nash-Sutcliffe. Os resultados mostram desempenho satisfatório para ambos os MDEs, mostrando a pouca sensibilidade da topografia da geração de lâmina simulada em pequenas bacias. Por outro lado, a produção de sedimentos apresentou resultados insatisfatórios, além do que foi significativa a discrepância da distribuição da erosão do solo na superfície da bacia pelos dois MDEs utilizados.

**Palavras-chave:** simulação hidrossedimentológica, modelo digital de elevação (MDE) e SWAT (“*Soil and Water Assessment Tool*”).

**ABSTRACT** In regions where the network monitoring hydrosedimentological is poor or nonexistent, the use of hydrological models, physical based provides estimative of surface runoff and soil loss, becomes very useful for planning watersheds. This paper address the application of hydrosedimentological model Soil And Water Assessment Tool for subwatersheds 1 and 2 of the “São João do Cariri” Experimental Basin. The model, with the interface ArcSWAT which joins the SIG, requires the entry of “Digital Elevation Model” (DEM) of the basin and the simulations were performed using two DEMs for the purpose of comparative analysis: one originated from the interpolation of field data and other obtained through remote sensing. With this was possible to verify the reliability of the DEM obtained by remote sensing. In terms of experimental subwatershed, on the Subwatershed 2 parameterization was done, and validation in a Subwatershed 1. Model performance was assessed by the determination coefficient ( $R^2$ ) and of the efficiency. The performance results were satisfactory for both DEMs, showing little sensitivity of the simulated flow within topography. On the other hand, sediment yield showed unsatisfactory results, and also was significant the discrepancy distribution of soil erosion in the basin area estimated by both used DEMs.

**Keywords:** hydrosedimentological simulation, digital elevation model (DEM) and SWAT (Soil and Water Assessment Tool).

## 1. INTRODUÇÃO

Estimativas para um eficiente planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos são de fundamental importância. Neste sentido busca-se prever de maneira mais realista possível a transformação da precipitação nos mais diversos processos hidrológicos. Sendo assim, regiões que apresentam irregularidades no regime pluviométrico são as que mais necessitam de informações coerentes para tomadas de decisão que concernem aos recursos hídricos.

O nordeste brasileiro, cujo clima é semi-árido, concentra a precipitação em um quadrimestre bem definido, possuindo ainda altas taxas de evaporação (MMA, 2007). A precipitação que favorece o desenvolvimento também ocasiona a erosão hídrica, no qual o impacto das gotas de chuva promovem a desagregação do sedimento e o escoamento superficial transporta as partículas erodidas (Tucci, 2009). A erosão hídrica possui relevância no aspecto da degradação do solo, uma vez que há perda de nutrientes e o seu conseqüente empobrecimento (Carvalho, 2008) – que afeta o crescimento vegetal. Ao passo que a vegetação possui papel importante na minimização dos processos erosivos, pois atenua o impacto das gotas de chuva, aumenta a infiltração no solo e retarda o fluxo superficial (Srinivasan, 2003). Sendo assim, o que se observa é a possibilidade de um fluxo degenerativo do solo, no qual a perda da camada fértil dificulta o crescimento vegetal e a redução da vegetação amplifica o processo de erosão do solo.

Em pequenas bacias hidrográficas, o desmatamento ocasiona uma maior geração de escoamento superficial devido a redução da capacidade de infiltração no solo e da evapotranspiração (Tucci, 1997). Santos (2000) demonstrou que a vegetação

da caatinga é capaz de proteger o solo contra erosão, ao passo que o cultivo de palma enquanto fator de proteção do solo é insignificante. Srinivasan (2003) verificou que o solo com vegetação rasteira e cobertura morta proporciona alto nível de proteção do solo e que a declividade é fator pouco sensível para a geração de escoamento superficial e bastante influente na produção de sedimentos.

Em regiões em que o monitoramento hidrossedimentológico é precário, ou mesmo inexistente, a utilização de modelos hidrológicos de base física que proporcionem estimativas da geração do escoamento superficial e da perda do solo é bastante útil. Vários são os modelos de base física e que consideram a variabilidade espacial, entre eles há o modelo “*Soil and Water Assessment Tool*” (SWAT). O SWAT foi desenvolvido com o objetivo de estimar o impacto de diferentes práticas agrícolas na quantidade e qualidade da água, na perda do solo e carga de poluentes em uma bacia hidrográfica (Neitsch, 2005).

O modelo SWAT destaca-se devido a seu processamento, no qual, através de uma interface, é executado diretamente em um ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), considerando a variabilidade espacial da bacia hidrográfica estudada. De tal modo que os dados de entrada são Modelos Digitais de Elevação (MDEs) – referente a topografia do terreno –, e os mapas da cobertura e tipo de solo, são convertidos diretamente como informações para o modelo pela interface proporcionando a simulação. A aquisição das informações sobre a bacia hidrográfica simulada é necessária para parametrizar dados referentes a cobertura do solo e o tipo de solo. As informações que dizem respeito a topografia do terreno são obtidas

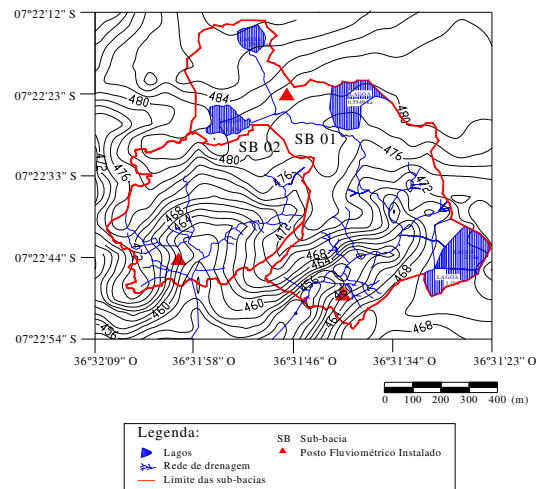
diretamente pela leitura do modelo digital de elevação utilizado.

Com tais informações, é possível expor os objetivos do presente trabalho: (a) parametrizar os dados de cobertura e tipo de solo para utilização do modelo SWAT em duas unidades experimentais no semi-árido, (b) avaliar a influência do modelo digital de elevação nos resultados da simulação utilizando um arquivo originado por dados de campo e um segundo proveniente de imagem de satélite.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo e aplicação do modelo

A Bacia Experimental de São João do Cariri (BESJC), controlado pelas universidades federais da Paraíba e de Campina Grande, inserida na Bacia do Riacho dos Namorados, é largamente estudada no que se refere a modelagem hidrológica. Sua região apresenta clima semi-árido, solos rasos, subsolo derivado do embasamento cristalino, vegetação de caatinga, relevo ondulado (Paiva, 2008) e altitude entre 480 a 540 m (Paes-Silva, 2002). A BESJC é caracterizada como representativa da região semi-árida e possui diversas unidades experimentais (Srinivasan et al., 2004), entre as quais as sub-bacias 1 e 2, apresentadas na Figura 1, foram utilizadas neste trabalho.



**Figura 1** - Localização e delimitação das Sub-Bacias 1 e 2 inseridas na BESJC

A sub-bacia 2 (32 hectares) foi utilizada na calibração do modelo por apresentar um maior grau de conservação, por estar totalmente inserida na BESJC. Enquanto que a execução do modelo SWAT na sub-bacia 1 (59 hectares) buscou a validação.

O mapa de cobertura vegetal e de tipo de solo originado por Paes-Silva (2002) e Chaves (2004), respectivamente, foram utilizados na execução do modelo. Destaca-se a vegetação da caatinga, cobrindo quase que inteiramente a Sub-Bacia 2, enquanto que cultivo de milho e algaroba (*Prosopis juliflora*), além da própria caatinga encontram-se na área da Sub-Bacia 1. No banco de dados da interface ArcSWAT há informações referentes a uma vegetação esparsa na qual predomina arbustos, denominada “range brush”. Esta vegetação foi utilizada em analogia a caatinga. Por outro lado, no banco de dados também se encontra dados referentes à *Prosopis glandulosa*, cuja denominação é “honey mesquite”, e fez-se analogia com a algaroba por se tratar de espécies do mesmo gênero. As variáveis que mais influenciam nos processos de escoamento superficial e erosão de sedimentos, apontadas no trabalho de Lenhart (2002), tiveram seus valores

modificados buscando maior verossimilhança com a vegetação local.

Quanto ao tipo de solo, o Luvisolo Crômico Vértico e o Vertissolo estão presente em ambas as sub-bacias. Porém foram utilizadas texturas médias, adquiridas em campo, para toda a área em cada sub-bacia. O banco de dados requer informações quanto as características físico-hídricas, tais quais número de camadas e suas respectivas profundidades, capacidade de água disponível, condutividade hidráulica e o fator de erodibilidade do solo. A capacidade de água disponível foi estimada segundo Salter e Williams (1967/1969), enquanto que a condutividade hidráulica foi atribuída o valor adotado em Santos (2008), em estuda nas mesmas áreas. O fator de erodibilidade do solo foi calculado em função da textura, conforme método de Williams (1995).

A topografia do terreno foi representada pelo uso de dois modelos digitais de elevação, um originado por interpolação de dados cotados em campo, adquiridos por levantamento automatizado (realizado com o uso de estação total) e convencional (onde foi utilizado teodolito), e o outro referente a imagem de satélite ASTER – com resolução de 30 metros. Os dados levantados em campo foram tratados no ArcGIS e em seguida interpolados utilizando a ferramenta “*topo do raster*”, resultando em um MDE com resolução de 20 metros. Este MDE será chamado por “MDE interpolado” no decorrer deste trabalho. O uso de dois MDEs foi empregado para se obter informações relevantes e prover análise quanto ao uso de uma imagem de satélite nos resultados da modelagem hidrossedimentológica pelo SWAT em uma pequena bacia, sem o intuito de indicar qual seria o melhor MDE. Ou seja, não é objeto de estudo do presente trabalho indicar qual MDE apresenta

melhores resultados no que concerne a simulação pelo SWAT, mas sim identificar diferenças ou semelhanças nos resultados, de modo a adquirir maior confiabilidade quanto a aplicação de MDE originado por satélite.

Quando a água percola através da última camada do solo, o modelo SWAT considera que há três caminhos possíveis: recarregar o aquífero raso ou o profundo, e estar disponível para o processo de REVAP. O processo de REVAP considera o volume de água que ascende através das franjas capilares e pelas raízes profundas dos vegetais, estando novamente disponível para evapotranspiração (Neitsch, 2005). Tendo em vista que na área de estudo não há aquífero algum, toda a água foi direcionada, através do ajuste de coeficientes, para o processo de REVAP favorecendo a maior verossimilhança com a área estudada.

Os dados de precipitação, evapotranspiração potencial, lâmina escoada e produção de sedimentos foram coletados durante a execução de projetos desenvolvidos na BESJC, o IBESA (Implantação de Bacias Hidrográficas no Semi-Árido) e o BEER (Bacias Experimentais e Representativas do Nordeste). Dados climáticos médios foram fornecidos ao gerador climático WXGEN (Sharpley e Williams, 1990) visando estimativa diária para a simulação.

Alguns trabalhos adotaram a duplicação dos três primeiros anos de simulação visando o aquecimento do modelo (Peterson, 1998; White, 2005; Olivera, 2006; Cibin, 2010), sendo este viés adotado nas simulações deste trabalho. De tal modo que o período de dados disponíveis, entre 2004 a 2006, foi duplicado para servir como período de aquecimento – sendo os resultados obtidos nesse período descartados. O período de aquecimento do modelo visa estabilizar as condições de umidade do solo.

No processo de delimitação da bacia foi definida a área de contribuição mínima para formação do canal em 0,3 ha e de 0,35 ha para as Sub-Bacias 2 e 1, respectivamente. Foram utilizados os cinco intervalos de declividade (%): de 0 a 4, de 4 a 6, de 6 a 8, de 8 a 10 e acima de 10%.

Os coeficientes de eficiência de Nash-Sutcliffe (COE) e de determinação ( $R^2$ ) foram utilizados como medidas de avaliação do modelo SWAT. O valor de COE superior a 0,75 indica um bom desempenho do modelo, enquanto que o valor entre 0,36 a 0,75 denota um desempenho satisfatório. Valores inferiores a 0,36 julgam o modelo inaceitável (Silva, 2008).

## 2.2 O modelo SWAT

Conforme Gassman (2007), o modelo SWAT (“*Soil And Water Assessment Tool*”) vem sendo amplamente utilizado no mundo, destacando-se devido a sua versatilidade em trabalhar acoplado a um Sistema de Informações Geográficas. Este modelo considera os componentes climatológicos, hidrológicos, erosivos, crescimento vegetal, do manejo agrícola e da propagação de nutrientes e pesticidas utilizando como dados de entrada mapas temáticos do tipo e cobertura do solo, além de um modelo digital de elevação (Dhar, 2009). Com base física e lidando com diversos eventos de maneira contínua no tempo, o modelo SWAT simula considerando as características espaciais da bacia hidrográfica, de modo que seus resultados podem ser visualizados utilizando a ferramenta SIG (Neitsch, 2005).

Através do uso do Método de Curva Número (*Soil Conservation Service*, 1972), o modelo estima o escoamento superficial relacionando-o com as características da cobertura do solo e tipo

do solo. A produção de sedimentos é estimada pela Equação Universal de Perda do Solo Modificada (EUPS-M) e a propagação dos sedimentos na calha fluvial é dada pela Teoria da Potência do Fluxo, de Bagnold (1977). A EUPS-M possui o fator de escoamento superficial, estimado para cada evento de precipitação, e considera características referentes ao solo, cobertura vegetal e manejo além da topografia do terreno.

A interface ArcSWAT (Winchell, 2007) proporciona a conversão dos dados de entrada em informações para execução do modelo. A interface também é responsável pelo processo de delimitação da bacia e estabelecimento das Unidades de Respostas Hidrológicas (URH). As URH são áreas que apresentam igual combinação de cobertura e tipo de solo obedecendo ainda um intervalo de classe de declividade imposta pelo usuário, na qual o modelo SWAT promove a simulação.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

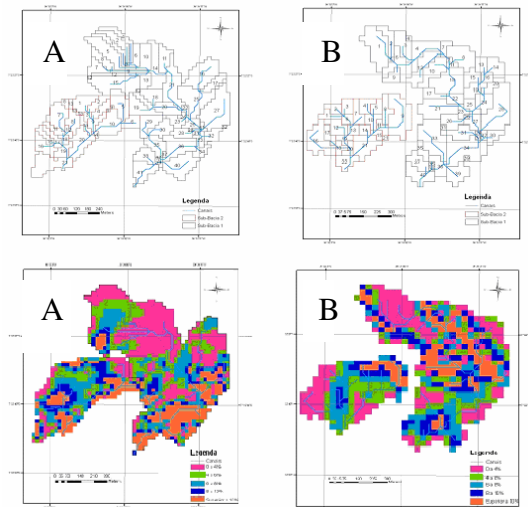
Os primeiros resultados dizem respeito ao processo de delimitação das sub-bacias, no qual o MDE interpolado resultou em um processo mais consistente, de modo que um único divisor topográfico separou ambas sub-bacias – conforme a realidade da área em estudo. A delimitação com o MDE ASTER ofereceu um espaço ocioso entre ambas as sub-bacias. A área delimitada foi bastante inferior para a Sub-Bacia 2, sendo de aproximadamente 16 hectares, enquanto que a área delimitada para a Sub-Bacia 1 foi de cerca de 41,5 hectares para as delimitações. A identificação e distribuição dos intervalos de declividade foram diferentes para todas as delimitações. A Figura 2 expõe a delimitação e a distribuição da declividade para as delimitações das Sub-Bacias 2 e 1



com os dois MDEs utilizados (Sub-Bacia 2 é a menor).

A distribuição de declividades na Sub-Bacia 2 foi bastante heterogênea, entre os MDES, com o interpolado de 20 metros definindo cerca de 42% de sua área delimitada com declividade superior a 8%. Enquanto que a delimitação com o MDE ASTER definiu cerca de 22% de sua área com declividade superior a 8%. Por outro lado na Sub-Bacia 1 tais diferenças foram bem menores, de modo que é possível apontar uma distribuição mais equitativa em termos numéricos – havendo para ambos os casos diferenças significativas quanto a distribuição espacial, conforme a Figura 2. Dito isto, verifica-se que a distribuição de declividades apresentada pelo MDE interpolado apresenta maior consistência.

As dimensões dos canais definidas por ambos os MDEs mostram boa correlação entre a largura e profundidade, contudo a declividade apresentou uma maior discrepância. Verificou-se que o interpolado apresentou três canais com declividade superior a 0,078 m/m – sendo a maior de 0,085 m/m -, enquanto que o MDE ASTER teve como maior valor de declividade 0,065 m/m. Tais diferenças são relevantes uma vez que a capacidade de transporte de sedimentos calculada pelo modelo SWAT se dá como função direta da velocidade de pico, e esta é muito dependente das dimensões dos canais, em especial a declividade.



**Figura 2** - Definição das sub-unidades delimitadas e da distribuição dos intervalos de declividade: (A) MDE interpolado e (B) MDE ASTER.

A menor área definida no processo de delimitação origina erros no que diz respeito ao volume simulado, de modo que os processos simulados apresentam um volume inferior àquele real. Esta discrepância é significativa para estudos hidrológicos, em especial no que concerne a Sub-Bacia 2, contudo no presente trabalho analisou-se a lâmina escoada, e não o volume, de modo que a execução do trabalho não é comprometida. Na revisão da literatura não foi possível encontrar discussão quanto aos resultados provenientes do processo de delimitação, de tal modo que os trabalhos encontrados tratam apenas do desempenho do modelo perante a simulação da geração do escoamento superficial e produção de sedimentos.

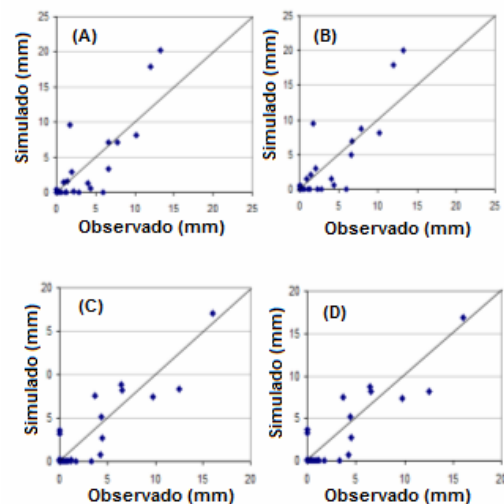
Os resultados da simulação foram analisados perante a geração de escoamento superficial e produção de sedimentos. A análise do escoamento superficial aconteceu de maneira direta pelos dados observados, enquanto que a produção de sedimentos buscou-se averiguar também o aporte por sub-bacia de modo a identificar valores dentro de um intervalo real.

Com relação ao escoamento superficial o modelo apresentou bons resultados COE de 0,286 e  $R^2$  de 0,923, pela simulação com o MDE interpolado de 20 m, e COE de 0,310 e  $R^2$  de 0,929 para o MDE ASTER, na Sub-Bacia 2. Este resultado é considerado bom devido a própria limitação do modelo SWAT, originalmente desenvolvido para grandes bacias. Vale a pena ressaltar que há alguns trabalhos na literatura que aplicaram o modelo em pequenas bacias alcançando resultados razoáveis no que diz respeito a geração do escoamento superficial (Lopes, 2008; Green, 2008; Govender, 2008; Uzeika, 2009). Contudo, uma averiguação dos dados mostrou que havia diversos eventos em que não houve lâmina gerada, seja observada e simulada, bem como um evento bastante singular, de tal modo que mascaravam os coeficientes de análise. O evento singular refere-se a uma precipitação diária de 162 mm, que gerou uma lâmina observada de 40 mm, enquanto que o modelo estimou uma lâmina de 75 mm. Esta discrepância é atribuída ao Método de SCS-CN, pois este não considera a intensidade da precipitação. Com a exclusão desses eventos, valores bons para desempenho do modelo foram obtidos: COE de 0,436 e  $R^2$  0,706, pelo MDE interpolado, e COE de 0,491 e  $R^2$  de 0,725 pelo MDE ASTER.

Na Sub-Bacia 1 os resultados iniciais do desempenho do modelo mostraram valores bastantes próximos para ambas as simulações, com os dois MDEs: -0,657 para o COE e de 0,718 para  $R^2$ . Desta vez houve dois eventos singulares que promoviam uma deficiência na avaliação do desempenho. Um primeiro o qual houve uma precipitação diária de 61 mm e um segundo cujo de 133 mm, geraram lâminas observadas de 6,5 mm e 24,2 mm, respectivamente. A estimativa do modelo para estes eventos foi de 34 mm, para o primeiro, e de 55,3 mm, para o

segundo. Com a exclusão desses eventos, e daqueles em que não houve lâmina observada nem simulada, foi obtida um nível satisfatório da eficiência do modelo, com COE de valor 0,783 e  $R^2$  de 0,798.

Na Figura 2 é possível perceber que há diferenças significativas quanto a distribuição dos intervalos de declividade entre ambos os MDEs para as sub-bacias. Contudo, a averiguação destes primeiros resultados mostra que a lâmina escoada simulada é muito pouco sensível a topografia do terreno, representado pelo MDE na simulação com o modelo SWAT. A Figura 3 exibe a comparação gráfica entre as lâminas observadas e simuladas para as duas sub-bacias e ambos os MDEs. Tal qual é possível observar, a dispersão dos dados simulados são bastante próximos entre os MDEs, isto denota um resultado importante quanto à aplicação do modelo em pequenas bacias, tornando possível a confiabilidade na lâmina simulada quando se usar imagem de satélite para representar a topografia do terreno.

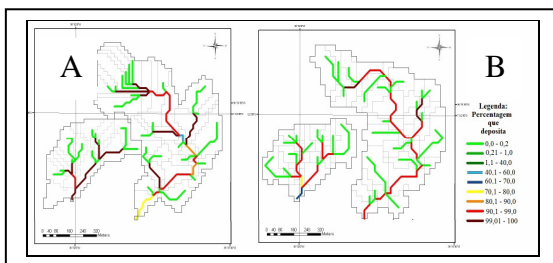


**Figura 3** - Comparação gráfica entre lâmina escoada e simulada: (A) interpolado e (B) MDE ASTER, na Sub-Bacia 2 e (C) interpolado e (D) MDE ASTER, na Sub-Bacia 1.

A análise da produção de sedimentos não proveu resultados satisfatórios. O modelo SWAT não foi capaz de fornecer valores da carga de

sedimentos no exutório conforme aqueles observados, de tal modo que houve um processo de deposição na ordem de 99% para a simulação na Sub-Bacia 2 pelo interpolado, e de 97% pelo MDE ASTER. Na Sub-Bacia 1 o processo de deposição foi menos intenso, com uma fração de 75% pelo interpolado e de 89% pelo MDE ASTER. Mesmo a diferença da carga de sedimentos foi bastante diferente, com sub-unidade do exutório pelo interpolado apresentando uma carga muito maior de sedimentos na sua entrada e uma carga muito menor na sua saída. Este intenso processo de deposição é observado ao longo da calha fluvial principal, para ambos os MDEs, de tal modo que não é verificado na realidade. Na literatura não foi encontrada discussão alguma quanto tendência do modelo SWAT em favorecer o processo de deposição ao longo da calha fluvial, assim é possível apontar uma limitação do modelo, necessitando de futuros estudos para melhor averiguação.

Através do tratamento dos resultados, confeccionou-se um mapa do assoreamento dos canais para todo o período simulado, conforme exibido na Figura 4. Este mapa evidencia o alto processo de deposição no canal principal, obtidos em ambas as simulações e consolidam a necessidade de estudos futuros.

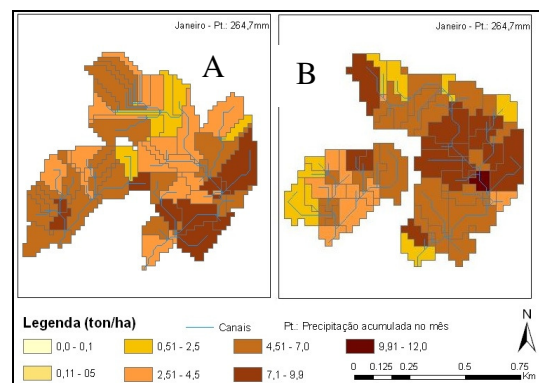


**Figura 3** - Mapa de assoreamento para o período simulado, (A) MDE interpolado e (B) MDE ASTER

Uzeika (2009) obteve o COE entre 7 a 145 negativos para a produção de sedimentos, havendo uma superestimativa desta pelo modelo SWAT na pequena

bacia de 119 hectares. Green (2008) aplicou o modelo SWAT em seis pequenas bacias, variando entre 4 a 8,5 hectares e obteve valores médios do coeficiente de Nash para avaliação da produção de sedimentos superior a 0,4. Resultado similar foi obtido por Shen (2009), no qual o desempenho do modelo SWAT para a produção de sedimentos atingiu valores de 0,678 e 0,818 para o coeficiente de Nash. Estes trabalhos podem servir de referência da aplicação do dito modelo em pequenas bacias, e denotam a variabilidade da eficiência deste quanto a produção de sedimentos.

Diante das diferentes distribuições de declividade, o que se observa é que o aporte de sedimentos apresenta, igualmente, uma diferente distribuição de erosão de solo ao longo da área da bacia. Este resultado indica cautela quanto ao uso do MDE como dado de entrada para simulação com o modelo SWAT, pois a localização de um processo hidrossedimentológico é de suma importância, uma vez que é possível ocorrer uma atribuição equivocada quanto a distribuição quantitativa e qualitativa da erosão do solo em uma bacia hidrográfica a depender do MDE utilizado, conforme a Figura 4. Atenção especial deve ser direcionada quanto ao uso de MDE originado por sensoriamento remoto, baseado nos resultados inconsistentes da distribuição dos intervalos de declividade.



**Figura 4** - Distribuição espacial da erosão do solo

para o mês de Janeiro de 2004: (A) interpolado e (B) MDE ASTER

O aporte de sedimentos estimado pelo interpolado na Sub-Bacia 2 foi superior àquele encontrado pelo MDE ASTER, com valor médio para o período simulado de 4,556 ton/ha/ano, o que promove uma perda de solo da ordem de 0,27 mm/ano. Enquanto que o MDE ASTER acarreta em uma perda de solo de aproximadamente 0,23 mm/ano devido à estimativa de aporte anual em 3,796 ton/ha. Esta superioridade evidenciada pelo MDE interpolado é reflexo direto da maior área existente para declividades superiores a 8%.

Na Sub-Bacia 2, para os três anos simulados, o interpolado resultou em uma média anual de aporte de sedimentos em 4,556 ton/ha, o que promoveu uma perda de solo da ordem de 0,27 mm/ano. A simulação pelo ASTER acarreta em uma perda de solo de aproximadamente 0,23 mm/ano devido à estimativa de produção anual em 3,796 ton/ha. O resultado do aporte de sedimentos na Sub-Bacia mostrou uma boa conformidade entre os MDE, com os resultados de 6,02 ton/ha/ano e 6,112 ton/ha/ano, para o interpolado de 20m e a ASTER, respectivamente. Tais valores promoveram uma perda aproximada de 0,37 mm/ano de solo. Os valores de erosão do solo estimados estão dentro de um intervalo real admissível para os solos do estado da Paraíba, conforme Oliveira (2008).

A topografia de uma bacia hidrográfica influencia diretamente os processos hidrossedimentológicos - erosão, transporte e deposição de sedimentos (Borah, 2007). Uma vez que a distribuição do relevo difere entre os MDEs, é natural que haja diferenças entre os resultados obtidos, haja vista que o fator topográfico da EUPS-M é fundamental na estimativa da erosão do solo. Trabalhos futuros, com mais

verificação em campo, são necessários de modo a se obter confiabilidade quanto aos resultados obtidos com os MDEs.

#### 4. CONCLUSÕES

Diante do que foi exposto, é possível concluir que:

1. O processo de delimitação de bacia, utilizando a interface ArcSWAT, é bastante simples e eficiente. A má delimitação da Sub-Bacia 2 foi realizada em ambos os MDEs, de tal modo atribuir a falha ao seu tamanho reduzido, uma vez que a delimitação da Sub-Bacia 1 apresentou maior conformidade;
2. A utilização direta de um mapa de cobertura do solo, representando apenas a vegetação, favoreceu a um satisfatório desempenho do modelo perante a simulação da lâmina escoada, mesmo com um processo de parametrização básica visando à conformidade com a área de estudo;
3. A lâmina escoada apresentou baixa sensibilidade quanto ao MDE utilizado como dado de entrada para o modelo;
4. A carga de sedimentos que alcança o exutório é bastante sensível ao MDE utilizado, do mesmo modo é o transporte destes ao longo dos trechos de rios;
5. A distribuição do aporte de sedimentos apresenta algumas diferenças quantitativas e qualitativas significativas, mesmo com a consideração das pequenas áreas em estudo. Este fato pode estar relacionado à própria resolução dos MDE trabalhados, e

6. O valor da erosão de sedimentos médio para todas as sub-bacias mostraram uma boa proximidade entre os valores, de tal modo que esta estimativa mostra alguma conformidade entre os MDEs utilizados.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bagnold, R. A. 1977. Bedload transport in natural rivers. *Water Resources*, v.13, 0 303 – 312.
- Carvalho, N. de O. 2008. Hidrossedimentologia prática. Interciência. Rio de Janeiro, 2ª ed., 600p.
- Cibin, R.; Sudheer, K. P.; Chaubey, I. 2010. Sensitivity and identifiability of stream flow generation parameters of the SWAT model. *Hydrological Process*, vol 24, p. 1133-114.
- Dhar, Sujana; Mazumdar, Asis. 2009. Hydrological modelling of the Kangsabati river under changed climate scenario: case of study in India. *Hydrological Processes*, vol 23, p. 2394 – 2406.
- Gassman, P. W. et al. 2007. The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Applications, and Future Research Directions. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, v. 50, p. 1211-1250.
- Govender, M.; Everson, C. S. 2005. Modelling streamflow from two small South African experimental catchments using the SWAT model. *Hydrological Processes*. v. 19, p. 683-692.
- Green, G. H.; Griensven, A. 2008. Autocalibration in hydrologic modelling: Using SWAT 2005 in small-scale watersheds. *Environmental Modelling and Software*. v. 23, p. 422-434.
- Lenhart, T.; Eckhardt, K.; Fohrer, N.; Frede, H. G. 2002. Comparison of two different approaches of sensitivity analysis. *Physics and Chemistry of the Earth*. v. 27, p. 645-654.
- Lopes, Nadia Hidemi Yano. 2008. Análise da produção de água e sedimentos em microbacias experimentais utilizando o modelo SWAT. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, 164p.
- Ministério do Meio Ambiental. 2007. Atlas das Áreas Suscetíveis à Desertificação do Brasil. 134p.
- Neitsch, S.L.; Arnold, J. G.; Kiniry, J. R.; Willians, J. R. 2005 Soild And Water Assessment Tool – Theoretical Documentation. Temple: Blackland Research Center, Soil and Water Research Laboratory. 494p.
- Oliveira, F. P.; Santos, D.; Silva, I. F.; Silva, M. L. N. 2008 Tolerância de Perda do Solo por Erosão para o Estado da Paraíba. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 8, n 2, p 60-61.
- Olivera, Francisco; Valenzuela, M.; Srinivasan, R.; Choi, J.; Cho, H., Koka, S., Agrawal, A. 2006. ArcGIS-SWAT: A Geodata Model and GIS interface for SWAT. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 42, n. 2, p. 295-309.
- Paes-Silva, Albanita Peixoto. 2002. Cobertura Vegetal da bacia hidrográfica do açude do Namorado no Cariri Oriental Paraibano. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Campina Grande. 95p.
- Peterson, J. R.; Hamlet, J. M. 1998. Hydrologic Calibratoin of the SWAT Model in a Watershed Cotaining Fragipan Soils. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 34, n.3, p. 531 - 544.
- Salter, P.J.; Williams, J.B. 1967. The influence of texture on the moisture characteristics of soils. IV. A method of estimating the available water capacities of profiles in the field. *Journal of Soil Science*, v. 18, p. 174-181.
- Salter, P.J.; Williams, J.B. 1969. The influence of texture on the moisture characteristics of soils. V. Relationships between particle size composition and moisture contents at the upper and lower limits of available water. *Journal of Soil Science*, v. 20, p. 126-131.
- Santos, L. L. 2008. Modelagem Hidrossedimentológica e Avaliação Comparativa de Três Modelos em Pequenas Sub-Bacias na Região Semi-Árida Paraibana. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Campina Grande, 155p.
- Sharpley, A.N.; Willians, J.R. 1990. EPIC – Erosion productivity impact calculator: Model

Documentation. Washington: U.S. Department of Agriculture. 145p.

Silva, P. M. O.; Mello, C. R.; Silva, A. M.; Coelho, G. 2008. Modelagem da hidrografia de cheia em uma bacia hidrográfica da região Alto Rio Grande. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, p. 258 – 265.

Soil Conservation Service, 1972. Section 4: Hydrology in National Engineering Handbook.

Srinivasan, V. S.; Santos, C. A. G.; Galvão, C. O. 2003. Erosão Hídrica do Solo no Semi-Árido Brasileiro: A Experiência na Bacia Experimental de Sumé. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 8, n. 2, p. 56-72.

Srinivasan, V.S.; et all. 2004. Bacia Experimental de São João do Cariri-PB. In: Righetto, A.M. (Org.), *Implantação de Bacias Experimentais no Semi-árido*, Cap. 4, FINEP/FUNPEC/CNPq/CTBRASIL. 93-126.

Tucci, C. E. M. 2009 *Hidrologia: ciência e aplicação*. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – ABRH. 4ª Edição. Porto Alegre, 943 p.

Tucci, C. E. M.; Clarke, R. T. 1997. Impacto das Mudanças da Cobertura Vegetal no Escoamento: Revisão. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 2, n 1, p. 135-152.

Uzeika, Talita. 2009. Aplicabilidade do Modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) na simulação da produção de sedimentos em pequena bacia hidrográfica rural. *Dissertação (mestrado)*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 144p.

White, Kati L.; Chaubey, I. 2005. Sensitivity Analysis, Calibration and Validation for a Multisite and Multivariable SWAT Model. *Journal of the American Water Resources Association*. October, p 1077– 1089.

Williams, J. R. 1995. Chapter 25: The EPIC model. V.P. Singh (ed). *Computer models of watershed hydrology*. Water Resources Publications. 909-1000 pp.

Winchell, M.; Srinivasan, R.; Luzio, M.; Arnold, J. 2007. *ArcSWAT Interface for SWAT 2005 – User's guide*. Temple: Blackland Research Center, Soil and Water Research Laboratory. 436p.

## **RADIAÇÃO SOLAR ACIMA E ABAIXO DE DOSSEL DE MANGUEZAL NA BARRA DO RIBEIRA DO IGUAPE, SP**

### **SOLAR RADIATION ABOVE AND BELOW THE CANOPY OF A MANGROVE LOCATED IN THE BARRA DO RIBEIRA DO IGUAPE, SP**

Emerson Galvani  
Departamento de Geografia - FFLCH/USP.  
egalvani@usp.br

Nádia Gilma Beserra de Lima  
Pós-Graduada em Geografia Física - FFLCH/USP  
nadia.lima@usp.br

#### **RESUMO**

Avaliou-se neste trabalho a radiação solar incidente em manguezal na Ilha dos Papagaios localizada no rio Ribeira de Iguape no litoral sul do estado de São Paulo. Instalou-se uma torre meteorológica com 10m de altura e junto a esta duas estações meteorológicas sendo uma fixada a acima do dossel de mangue e outra abaixo do dossel. Utilizou-se dados de radiação solar monitorado em uma plataforma de coleta de dados (PCD) pertencente ao INPE/CPTEC instalada a 10 km do local. O período de medidas compreende entre os dias 1 de janeiro a 31 de dezembro de 2008. Os resultados indicam uma transmissividade do dossel ( $\tau_d$ ) média anual de 27,3%. Os valores de  $\tau_d$  oscilaram entre um mínimo nos meses de outono/inverno com 16,5% a um valor máximo na primavera/verão de 44,2%. A curva anual da  $\tau_d$  apresenta curva inversa à curva de declinação solar. Os modelos de regressão linear apresentaram elevada correlação sendo possível estimar os valores de radiação solar, e suas relações abaixo e acima do dossel, no manguezal a partir daqueles monitorados em estação meteorológica oficial dispensando em futuro próximo a manutenção desta estação.

**Palavras-Chave:** Transmissividade, radiação solar, manguezal, Barra do Ribeira de Iguape/SP

#### **ABSTRACT**

The purpose of this work is to evaluate the solar radiation incident of a mangrove installed in the Ilha dos Papagaios located in River Ribeira de Iguape in the south coast of the state of Sao Paulo. A meteorological tower with 10m of height was installed, and next to this, two meteorological stations being one fixed 10m of height and another one 2m of height. It was also used the data of solar radiation monitored in a data collection platform (DCP) pertaining to the INPE/CPTEC installed 10 km far. The measurement period went from January, 1<sup>st</sup> to December, 31<sup>st</sup> of 2008. The results indicate an annual average of 27.3% of canopy transmissivity. The values oscillated between a minimum in the autumn and winter months with 16.5% to a maximum value in the spring/summer months (44.2%). The annual curve of ( $\tau_d$ ) presents a inverse curve to the curve of solar declination. The models of linear regression presented a high correlation that allowed an estimation of values for solar radiation and their relations below and above the canopy in the mangrove from those values monitored in the official meteorological station eliminating in future the maintenance its maintenance.

**Keywords :** Transmissivity; solar radiation; mangrove, Barra Ribeira Iguape, SP

## 1. INTRODUÇÃO

A transmissividade atmosférica ( $\tau$ ) é a relação entre a radiação solar incidente em superfície ( $R_g$ ) e aquela no topo da atmosfera ( $I_0$ ). Em dias com cobertura de céu encoberto os valores de  $\tau$  tendem a serem próximos de zero e em dias de céu limpo tendem a valores próximo de um. A  $\tau$  expressa as condições atmosféricas em termos de cobertura de nuvens e presença de material particulado, como vapor d'água e aerossóis de um modo geral. Em regiões tropicais mesmo em dias com elevada nebulosidade a  $\tau$  nunca é inferior a 0,2 (20%) e em dias com cobertura de céu limpo nunca superior a 0,8 (80%). Isso se deve ao fato de que mesmo em dias nublados a atmosfera ainda ser *transparente* a radiação solar difusa e em dias com céu limpo tem predomínio de radiação solar direta, parte dessa radiação é absorvida pelos constituintes da atmosfera em especial o ozônio e o vapor d'água (IGBAL, 1980).

A cobertura vegetal (dossel) influencia nos totais de radiação solar que atinge a superfície abaixo deste O IAF é expresso em  $m^2$  de folhas/ $m^2$  de terreno ( $m^2/m^2$ ), portanto adimensional. Uma das formas de avaliar a transmissividade do dossel ( $\tau_d$ ) é avaliando-se a radiação solar incidente acima e abaixo do dossel.

O índice de área foliar (IAF) de uma cobertura vegetal definido por Watson (1974) como a área foliar integrada do dossel por unidade de superfície projetada no solo ( $m^2/m^2$ ), é computado ao considerar a superfície de apenas uma das faces das folhas. Esse índice é resultante das respostas ecofisiológicas das plantas às condições químicas, físicas e biológicas do solo; às condições do microclima; as condições bióticas como herbivoria, competição e a interdependências desses fatores nos diferentes estágios

sucessionais da vegetação (Wandelli e Marques Filho, 1999)

O objetivo deste trabalho foi avaliar a transmissividade do dossel de mangue localizado na ilha dos Papagaios no rio Ribeira de Iguape, SP a partir de medidas de radiação solar registrada acima e abaixo do dossel. Objetivou ainda estabelecer por meio de modelos de regressão linear simples as relações entre a radiação solar monitorada em uma estação meteorológica oficial e aqueles registrados acima e abaixo do dossel do manguezal.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Localização da área de estudo

A área de estudo está localizada ao sul do litoral do estado de São Paulo, é constituída, principalmente, pelo setor nordeste do Sistema Costeiro Cananéia-Iguape, drenada pelo curso inferior do Rio Ribeira de Iguape (Figura 01). Os manguezais, com importante destaque na área de estudo, caracterizam-se por ambiente salinizado e pela constante inundação causada por marés. Sua importância maior está relacionada à produção de biomassa, introduzida no sistema bioenergético natural, para aumentar a produtividade da zona costeira com a introdução de particulados orgânicos, nas águas estuarino-lagunares, pelos processos químicos e biológicos (Herz, 1988). Representam comunidades vegetais adaptadas a várias condicionantes físicas atuantes nas zonas costeiras, entre elas, as climáticas.

A elevada biodiversidade, característica do manguezal, depende em grande parte da estabilidade do meio físico, constituído pelo solo e a troposfera, porém, ambos tem sofrido muitas alterações pela ação antrópica. Essas



modificações da cobertura vegetal, além de alterações microclimáticas tem aumentado a preocupação sobre a possível irreversibilidade do impacto ambiental local e sua influência nos regimes hidrometeorológicos. Porém, se conhece pouco a respeito das respostas do manguezal em relação às condições climáticas.

Os estudos microclimáticos apresentam vital importância para o entendimento dos estudos ecológicos, principalmente em áreas prioritárias para preservação, como no Sistema Costeiro Cananéia-Iguape.

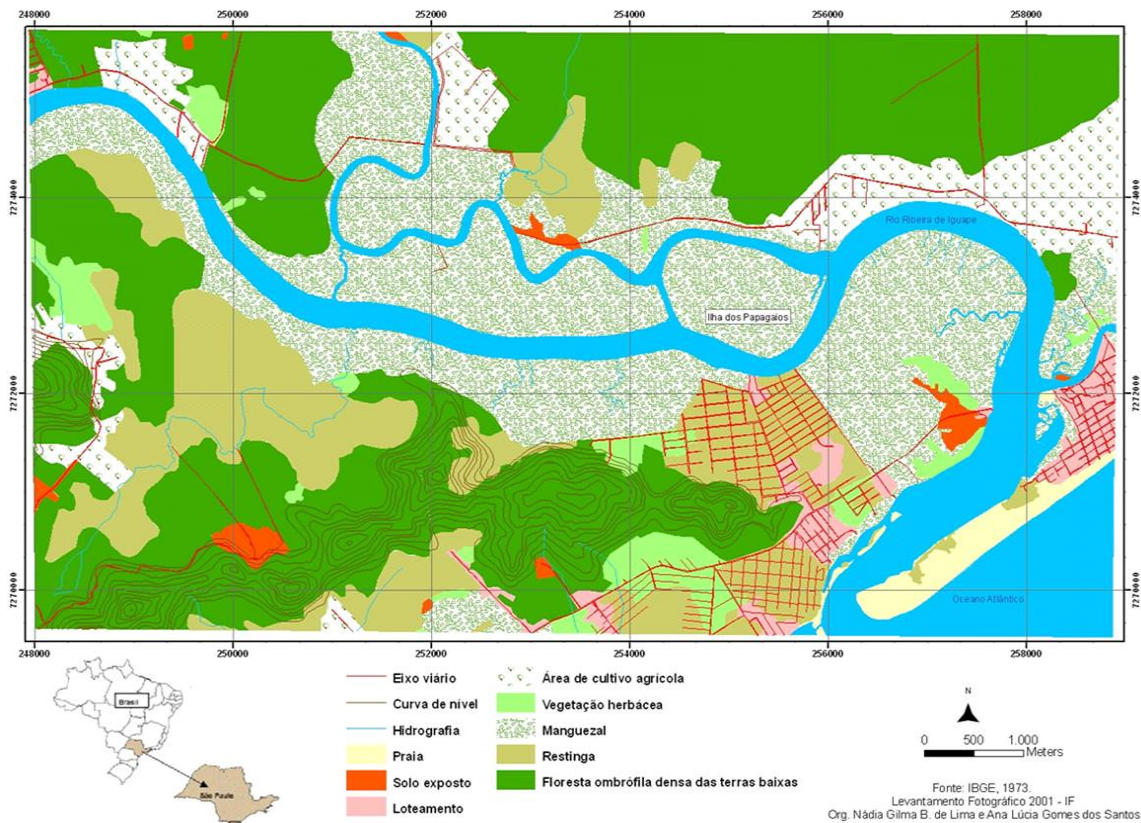
Os manguezais representam comunidades vegetais adaptadas a condicionantes climáticas atuantes nas zonas costeiras, geograficamente distribuídas entre latitudes intertropicais. Os atributos climáticos, particularmente a temperatura do ar, exercem controle sobre a vegetação de forma limitante. Segundo Schaeffer-Novelli et al. (1995), o maior grau de desenvolvimento dos manguezais, do ponto de vista microclimático, dependeria da temperatura média do mês mais frio, superior a 20 °C e amplitude térmica anual maior que 5 °C.

Blasco (1984) em suas considerações sobre a biogeografia do manguezal, refere-se que as espécies desaparecem quando a temperatura média do mês mais frio é inferior a 16°. Vale (2004) ressalta que, com relação à distribuição latitudinal, em muitos lugares o comportamento em relação à temperatura do ar não é observado. Em Santa Catarina, por exemplo, a temperatura média do ar durante o inverno é inferior a 10 °C, assim como em outras localidades em latitudes mais elevadas.

Todavia, a vegetação pode sofrer estresse, apresentando menor desenvolvimento estrutural e, muitas vezes, sendo representada apenas por *Avicennia*, gênero que resiste melhor as temperaturas mais frias. Para Silva e Herz (1987) o manguezal tem uma característica de regulador térmico, devido ao acúmulo da radiação solar no substrato, cujo elevado conteúdo de água, constantemente renovado pelo efeito de maré, está sempre disponível para ser usado pelas plantas no processo de evaporação.

Uma torre com 10m de altura serviu de suporte para estação de duas estações meteorológicas automáticas, sendo uma fixada a 10m de altura (acima do dossel de mangue) e outra a 2m de altura (abaixo do dossel). Os sensores de radiação solar foram programados para leituras em intervalos de 0,2 Hz e os valores armazenados a cada 10 minutos. O período de medidas compreende entre os dias 1 de janeiro a 31 de dezembro de 2008 totalizando 365 dias de observação. Algumas falhas na aquisição de dados foram preenchidas por modelos de regressão linear tendo como variável independente os dados de radiação solar obtido em uma PCD (plataforma de coleta de dados) pertencente ao INPE/CPTEC.

O radiômetro instalado acima do dossel é o modelo CNR1 do fabricante KippZonen e o radiômetro instalado abaixo do dossel (2 m de altura) é o modelo CM3 do mesmo fabricante (figuras 2 a e b). Alguns resultados iniciais para um período de três meses já foram apresentados no VIII Simpósio Brasileiro de Climatologia no ano de 2008.



**Figura 1** - Localização dos Manguezais da Barra do Ribeira – Iguape/SP.



**Figura 2** - Radiômetro modelo CNR1 instalado acima ( $RG_{10m}$ ) do dossel (esquerda) e radiômetro modelo CMP3 (direita) instalado abaixo ( $RG_{2m}$ ) do dossel. Fonte: [www.kippzonen.com](http://www.kippzonen.com) (imagem a esquerda).

A transmissividade do dossel ( $\tau_d$ ) foi obtida a partir dos valores diários integrados de radiação solar e com uso da equação:

$$\tau_d = \frac{RG_{2m}}{RG_{10m}} \quad (\text{eq.1})$$

Em que,  $RG_{2m}$  é a radiação solar incidente abaixo do dossel ( $MJ.m^{-2}$ ) e;

$RG_{10m}$  é a radiação solar incidente acima do dossel ( $MJ.m^{-2}$ ).

A  $\tau_d$  é um valor adimensional que varia entre 0,2 ou 20% (dias e horários totalmente nublados) a menor que a unidade (dias e horários com cobertura de céu totalmente limpos).

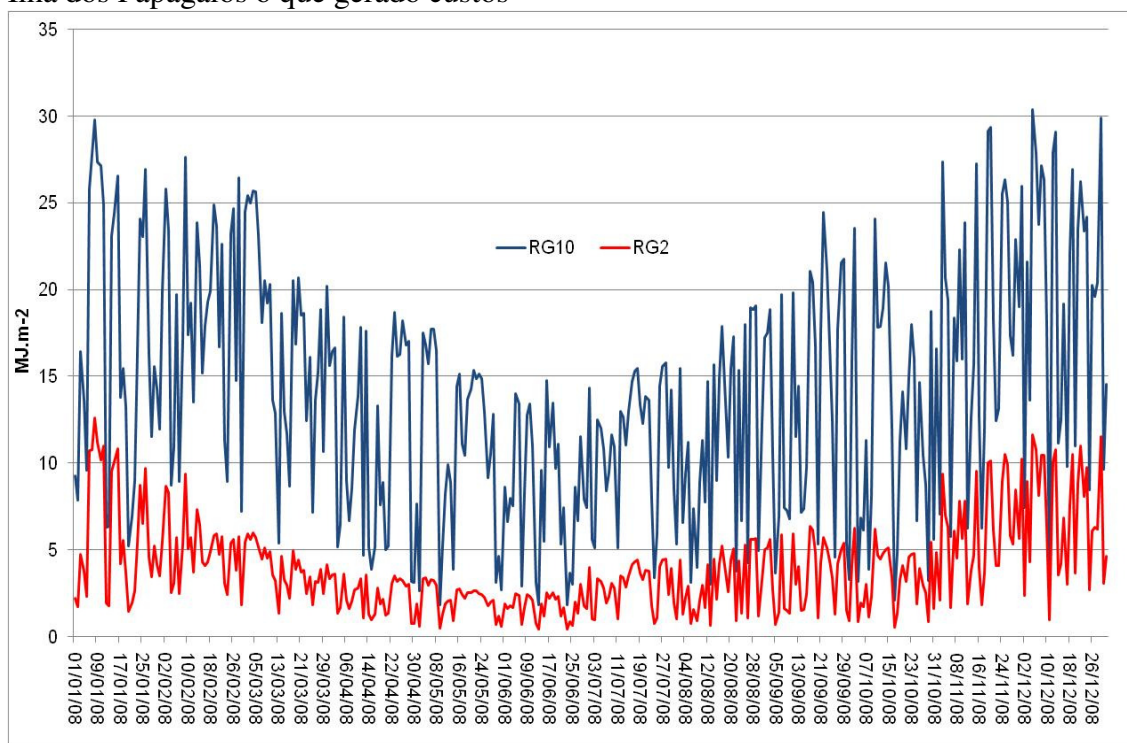
Os dados de radiação solar avaliados na ilha dos papagaios foram relacionados com aqueles monitorados em uma PCD (plataforma de coleta de dados) pertencente ao INPE/CPTEC. Tendo como referência os valores da PCD obtiveram-se modelos de regressão linear simples entre os dados obtidos na PCD e no mangue. Relacionaram-se ainda os dados monitorados a 10m com aqueles a 2m através de modelos de regressão linear simples. Com o uso destes modelos é possível estimar os valores de radiação solar obtido no manguezal com aqueles da estação padrão (PCD) e a partir destes obter os valores de radiação solar abaixo do dossel, dispensando com isso a manutenção permanente de medidas na Ilha dos Papagaios o que gerado custos

muitos elevados com deslocamento (barco) e manutenção dos instrumentos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Radiação solar abaixo e acima do dossel

A figura 3 apresenta os valores integrados ( $\text{MJ.m}^{-2}$ ) de radiação solar avaliados acima ( $\text{RG}_{10\text{m}}$ ) e abaixo do dossel ( $\text{RG}_{2\text{m}}$ ). A curva anual apresenta valores reduzidos nos meses de outono/inverno e mais elevados na primavera/verão indicando sazonalidade, em termos de radiação solar, bem definida para a região.



**Figura 3** - Valores integrados diários de radiação solar monitorado acima ( $\text{RG}_{10}$ ) e abaixo do dossel ( $\text{RG}_2$ ).

A área foliar se constitui em importante característica estrutural do ambiente de manguezais devido ao fato de ser no dossel que ocorrem significativos

processos neste ecossistema, como por exemplo, transpiração, interceptação das precipitações, fotossíntese e ainda, como fonte de matéria orgânica para a

serrapilheira. A abertura do dossel, expresso pela transmissividade, influencia a quantidade de radiação solar que atinge esse microclima contribuindo para a formação de um mosaico de luminosidade com oportunidades distintas para diferentes espécies da flora e da fauna (Lima, 2009).

Armani (2004) trabalhando com Mata Atlântica no núcleo Cunha do Instituto Florestal, calculou o fator de obstrução do céu encontrando valores entre 94 a 84%. Para os manguezais da área de estudo Lima, 2009, obteve valores sazonais oscilando entre 67 a 56%, indicando que neste ambiente a entrada de radiação solar é superior ao ambiente de Mata Atlântica.

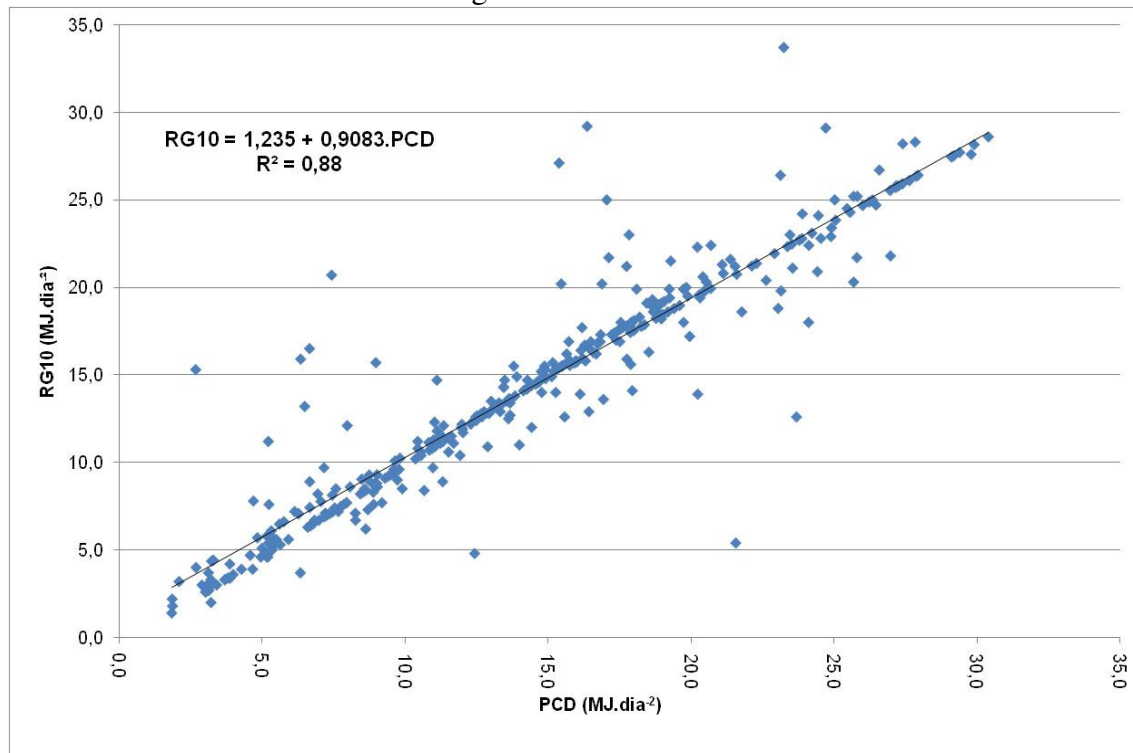
A figura 4 apresenta a relação linear entre os dados diários integrados

obtidos na PCD e aqueles no manguezal a 10m de altura ( $R_{G10m}$ ). Observa-se elevada correlação entre os dados com coeficiente de correlação ( $R$ ) de 0,94. A expressão gerada pode ser escrita da seguinte forma:

$$R_{G10m} = 1,235 + 0,9083.PCD \quad (\text{eq. 2})$$

Em que  $R_{G10m}$  é a radiação solar avaliada no manguezal e PCD é a radiação solar registrada na PCD a 10 km do local.

O uso desta equação permite conhecer com qualidade o valor da radiação solar observada no manguezal com uso de dados monitorados por órgãos oficiais como o CPTEC/INPE dispensando assim, a manutenção da estação no manguezal.



**Figura 4** - Relação linear entre os dados de radiação solar registrados no manguezal ( $RG_{10}$ ) e aqueles obtidos em uma PCD (plataforma de coleta de dados do INPE/CPTEC).

A regressão linear apresentada na figura 5 mostra elevada correlação entre os dados

de radiação solar monitorados acima e abaixo do dossel. O coeficiente de

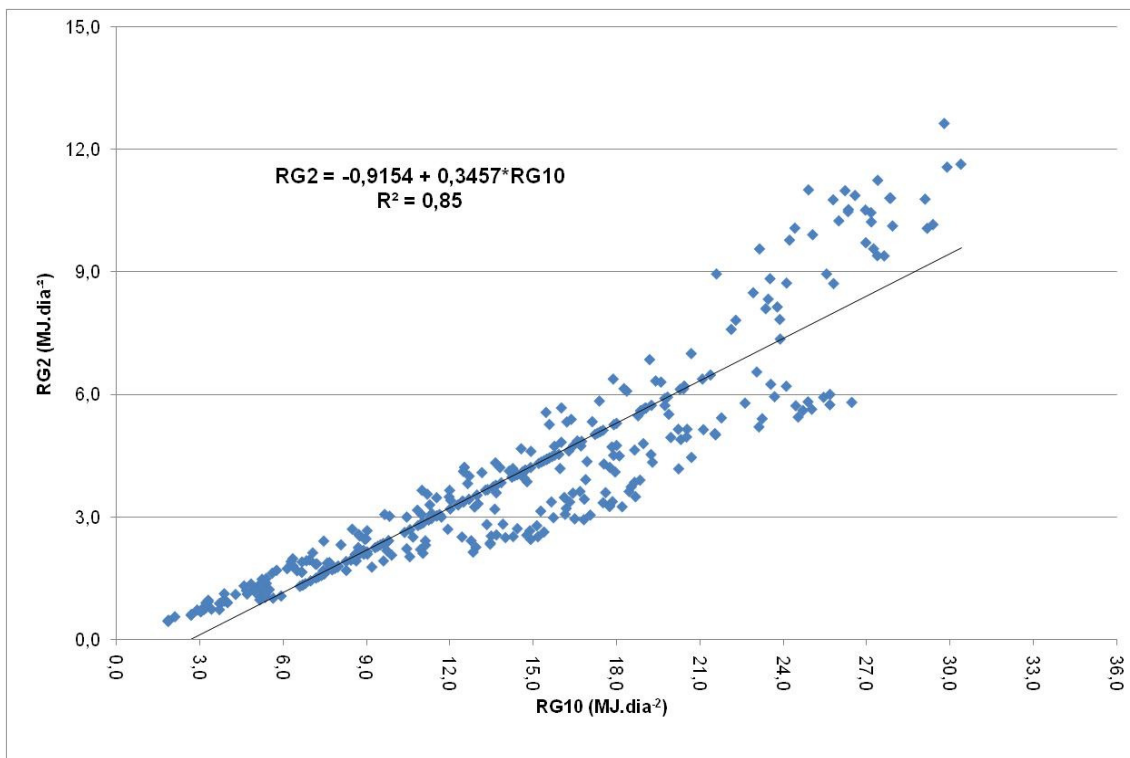
correlação (R) é de 0,92 e o modelo matemático pode ser expresso da seguinte forma:

$$R_{G2m} = -0,9154 + 0,3457 \cdot R_{G10m} \quad (\text{eq.3})$$

Em que  $R_{G2m}$  é a radiação solar avaliada abaixo do dossel do manguezal e  $R_{G10m}$  é a radiação solar registrada acima do dossel.

O uso das equações 2 e 3 e suas relações com os dados monitorados pela PCD permitem obter os valores de radiação solar diária acima e abaixo do dossel do manguezal dispensando, em futuro próximo, a manutenção da estação meteorológica neste ambiente.

Integrando-se os valores acumulados ao longo do ano nos dois ambientes obtém para o manguezal ( $P_{10m}$ ) um total de  $5.173,6 \text{ MJ.m}^{-2}$  e para a PCD um total de  $5.150,6 \text{ MJ.m}^{-2}$ . A diferença absoluta é de  $23,03 \text{ MJ.m}^{-2}$  (0,43%). Os valores médios diários para a PCD e  $P_{10m}$  são, respectivamente, de  $14,07 \text{ MJ.m}^{-2}$  e  $14,14 \text{ MJ.m}^{-2}$ . O coeficiente de correlação entre os valores acumulados da PCD e aqueles obtidos no mangue indicam valor de 0,999 evidenciando que os dois pontos de medidas, embora distantes 10km, apresentam similaridade em termos de total de radiação solar.

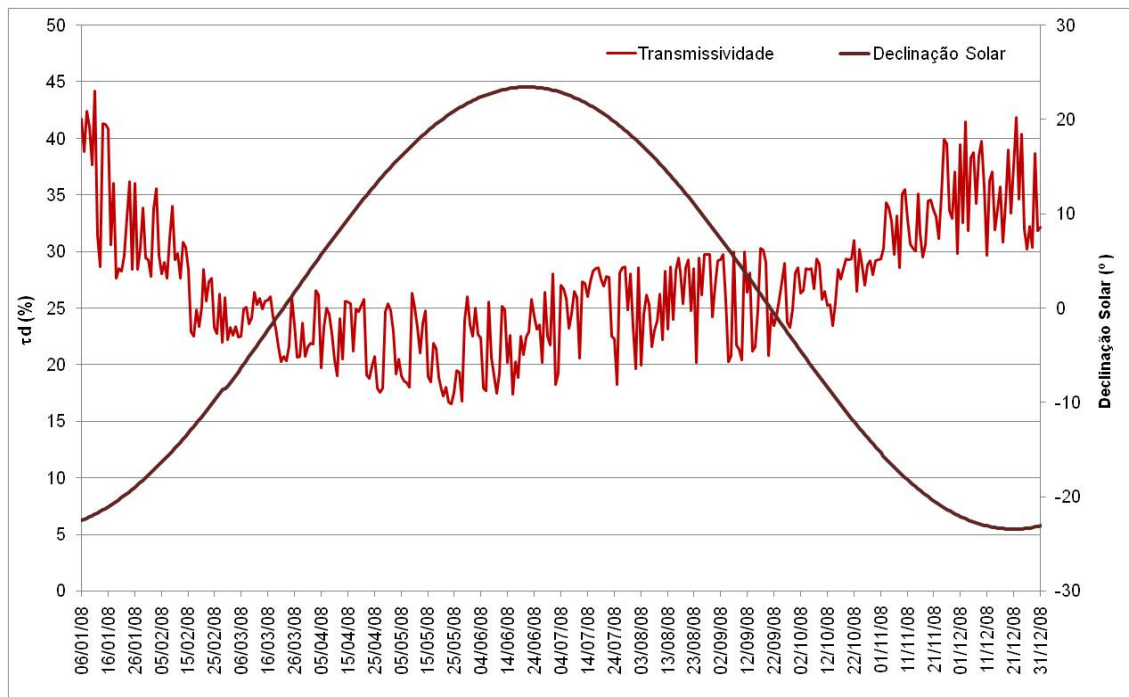


**Figura 5** - Relação linear entre os dados de radiação solar registrados no manguezal acima (RG10) e abaixo do dossel (RG2)

### 3.2 Transmissividade média diária

A figura 6 apresenta os valores médios diários de  $\tau_d$  e da declinação solar.

A  $\tau_d$  média para o período foi de 27,3%, variando entre um mínimo nos meses de outono/inverno com 16,5% a um valor máximo na primavera/verão de 44,2%.



**Figura 6** - Curvas médias diárias de  $\tau_d$  e declinação solar

A curva anual da  $\tau_d$  apresenta-se inversa a declinação solar. Quando o sol declinou para o hemisfério (declinação solar positiva) a  $\tau_d$  reduziu e vice-versa. Tal fato está associado a dois controles: o primeiro é resultado do maior sombreamento proporcionado pelo dossel da vegetação e a posição do sensor instalado abaixo do dossel. O segundo relacionado ao aumento do IAF da vegetação de manguezal.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicam valores de transmissividade do dossel ( $\tau_d$ ) média anual de 27,3%. Os valores de  $\tau_d$  oscilaram entre um mínimo nos meses de outono/inverno com 16,5% a um valor máximo na primavera/verão de 44,2%. Os principais controles da variação anual

da  $\tau_d$  são a declinação solar e o aumento/redução do índice de área foliar.

A curva anual da  $\tau_d$  apresenta curva inversa à curva de declinação solar. Os modelos de regressão linear ajustados entre os dados diários de radiação solar monitorado no manguezal e na PCD apresentaram elevada correlação. Também se obteve elevada correlação entre os dados de radiação solar monitorados acima e abaixo do dossel podendo, em um futuro próximo, dispensar o monitoramento da radiação solar na estação meteorológica neste ambiente.

#### 5.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anderson, M. C. 1964. Studies of the Woodland Light Climate. *Journal of Ecology*, Cambridge, v. 52, n. 3, p. 643 – 663.

Blasco, F.1984. Climatic factors and the biology of mangrove plants. In: SNEDAKER, S. C.; SNEDAKER, J. G. (Org.) *The mangrove*



- ecosystem: research methods. Paris: UNESCO, p. 18-35.
- Herz, R. 1988. Distribuição dos padrões espectrais associados a estrutura física dos manguezais de um sistema costeiro subtropical. 1988. 378f. Tese (Livre Docência) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Iqbal, M. 1980. An introduction to solar radiation. London: Academic Press, 390p.
- Lima, Nádia, G.B. 2009. Análise microclimática dos manguezais da Barra do Ribeira – Iguape/SP. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 205p.
- Roxburgh, J. R.; Kelly, D. 1995. Short communication uses and limitations of Hemispherical photography for estimating forest light environments. *New Zealand Journal of Ecology*, New Zealand. v. 19, n. 2, p. 213-217.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. 1995. Manguezal: ecossistema entre a terra e o mar. São Paulo: Caribbean Ecological Research, 64p.
- Silva, J. F.; Herz, R. 1987. Estudo de microclimas em ambientes de manguezais na região do complexo estuarino-lagunar de Cananéia. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA, 1., 1987, Cananéia. Anais... Cananéia: Academia de Ciências do Estado de São Paulo, p.127-131.
- Toneli, C. A. Z. 2007. Análise da relação entre a estrutura do dossel a partir de fotografias hemisféricas e *Eucalyptus grandis*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., Florianópolis, Anais ... Florianópolis: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, p. 1891-1898.
- Vale, C. C. 2004. Séries geomórficas costeiras do Estado do Espírito Santos e os habitats para o desenvolvimento dos manguezais: uma visão sistêmica. 2004. 386 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Wandelli, E. V.; Marques Filho, A.O. 1999. Medidas de radiação solar e índice de área foliar de coberturas vegetais. *Acta Amazônica*, n. 29, p. 57-78.
- Watson, D.J. 1974. Comparative physiological studies in growth of field crops. I. variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Anatomy and Botany*. n. 11, p. 41-76.
- Weiss, M.; Baret, F.; Smith, J. G.; Jonckheere, I.; Coppin, P. 2003. Review of methods for in situ leaf area index (LAI) determination, Part II: estimation of LAI, errors and sampling. *Agriculture and Forest Meteorology*. v. 121, n. 1, p. 37-53.



**SILVINITA, UNA NUEVA MATRIZ DE DESARROLLO?:  
EL CASO DEL MUNICIPIO DE NOVA OLINDA DO NORTE,  
AMAZONAS, BRASIL.**

**SILVINITE, A NEW DEVELOPMENT MATRIX?:  
THE CASE OF THE MUNICIPALITY OF NOVA OLINDA DO  
NORTE, AMAZONAS, BRAZIL.**

Eduardo Antonio Ríos-Villamizar

Programa de Doutorado em Clima e Ambiente. Projeto INPA/Max-Planck. Grupo de Monitoramento de Áreas Úmidas Amazônicas – MAUA. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Brasil.  
eduardorios17@hotmail.com

Ana Cláudia F. Nogueira

Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente. Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Humaitá, Brasil.  
a\_manauas@yahoo.com.br

Lígia Costa de Sousa

Secretaria de Educação do Município de Manaus – SEMED. CEMEJA – Professor Samuel Isaa Benchimol, Manaus, Brasil.  
costa\_ligia@yahoo.com.br

Alexandre Almir Ferreira Rivas

Departamento de Economía e Análise. Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, Brasil.  
alex.rivas@piatam.org.br

**RESUMEN**

La extracción mineral genera empleos directos e indirectos, pero la degradación resultante puede atraer otras modalidades económicas como la pecuaria y producción de carbón vegetal. En el Estado del Amazonas, Brasil, se ha discutido mucho sobre la viabilidad de la extracción de potasio del subsuelo, en forma de silvinita, para uso agrícola. Este mineral se encuentra en seis municipios, entre ellos Nova Olinda do Norte, y se considera el más grande yacimiento de América del Sur con una capacidad de extracción de 1 billón de toneladas. Teniendo en cuenta que esta actividad causa impactos ambientales, en especial sobre las fuentes hídricas y el suelo, se procedió a realizar una revisión bibliográfica y una visita al lugar donde probablemente se iniciará la extracción, para obtener una visión general de las condiciones socio-ambientales de las comunidades aledañas y, a partir de otras experiencias de minería en el mundo, identificar los posibles impactos de la actividad sobre el ambiente; así como algunos métodos de reutilización de residuos de minería.

**Palabras claves:** Silvinita, economía ambiental, recursos minerales, Nova Olinda do Norte, Amazonia.





## ABSTRACT

Mineral extraction generates direct and indirect jobs, but the resulting degradation can attract other economic arrangements such as cattle ranching and charcoal production. In the Amazonas State, Brazil, it has been much debate about the viability of underground extraction of potassium, in the form of silvinita, for agricultural use. This mineral is found in six municipalities, including Nova Olinda do Norte, and it is considered the largest mineral deposit of South America with an extraction capacity of 1 billion tons. Taking into account that this activity causes environmental impacts, particularly on water sources and soil, we proceeded to conduct a literature review and a visit to the site where, likely, the extraction will start, in order to obtain an overview of the socio-environmental conditions on the surrounding communities and, from other experiences of mining in the world, to identify potential impacts of this activity on the environment, as well as some reusing methods of mining residues.

**Keywords:** Silvinita, environmental economy, mineral resources, Nova Olinda do Norte, Amazonia.

## 1. INTRODUCCIÓN

Considerando la importancia de la minería para la economía y los impactos ambientales derivados de esta actividad, este trabajo propone una reflexión sobre las estrategias para la utilización de la silvinita, como recurso mineral, en el Estado del Amazonas.

Impacto ambiental está definido como una poderosa influencia que desequilibra el ecosistema, donde la capacidad de soporte llega al nivel máximo (Muller y Ab'saber, 1998). Partiendo de este presupuesto, se hace necesaria una propuesta económicamente viable, ecológicamente correcta y socialmente justa, pues en cualquier proceso de extracción mineral, los daños ambientales son, hasta el momento, inevitables. Mucho se ha realizado a lo largo de los últimos años para minimizar los impactos ambientales de esta actividad (Vieira y Weber, 2002),

principalmente a través de los avances tecnológicos en los procesos de extracción, pero no se han podido eliminar por completo las externalidades propias de cada proceso.

Tratándose de actividad mineral en la Amazonia, la cuestión todavía es polémica. Los ejemplos negativos de extracción hacen parte de una historia que no se puede olvidar. Sin embargo, las investigaciones científicas que indagan sobre su potencial mineral son cada vez mayores, y ya se habla no solamente de la riqueza en biodiversidad de la Amazonia, sino también de su geo-diversidad. En esta región del país en que el desarrollo económico ocurre de forma fragmentada, ¿qué hacer con todo el potencial mineral del cual se tiene conocimiento?, ¿mantenerlo preservado y excluirlo del mercado?, ¿cuáles son los instrumentos capaces de orientar el aprovechamiento de estos



recursos?, ¿cómo alcanzar el crecimiento económico y al mismo tiempo mejorar la calidad de vida de las poblaciones amazónicas, respetando el ecosistema local?.

Es posible encontrar en el Estado del Amazonas, en Brasil, diversos tipos de suelo, que según la clasificación y caracterización de sus rocas y recursos minerales son, terrenos de rocas duras y antiguas, terrenos de rocas sedimentarias y terrenos nuevos de depósito de aluvión. El potencial mineral de este Estado ha sido discutido por todos los segmentos de la sociedad, y se ha hablado mucho sobre la viabilidad de extracción del potasio, a partir de las rocas de silvinita, con el objeto de adquirir autosuficiencia para la producción de fertilizantes que son usados en la producción agrícola de Brasil, país donde se consume, anualmente, un poco más de 4 millones de toneladas de potasio y cerca de 90% de este total es importado, especialmente de Canadá y Rusia (Quaresma, 2011). Este mineral es encontrado en 6 municipios de este Estado brasileiro (Nova Olinda do Norte, Itacoatiara, Itapiranga, Borba, Silves y São Sebastião do Uatumã) y sus depósitos tienen una vida útil de 150 años, siendo considerado el más grande yacimiento de América Latina y probablemente del mundo, con una capacidad de exploración de aproximadamente un billón de toneladas (Quaresma, 2011).

El potasio puede ser encontrado en feldspatos, feldspatoides, micas y en forma de sales solubles en las rocas sedimentarias. Cerca de 60% de los minerales de las rocas ígneas representan feldspatos e, de estos, grande porción es de las variedades potásicas. La silvinita contiene cerca de 63.2% de óxido de potasio ( $K_2O$ ), 8-29% de potasio (K) y

14-38% de cloruro de potasio o silvita (KCl), y siendo una sal soluble, ofrece grande facilidad para obtener silvita de satisfactoria pureza mediante los métodos de fluctuación - solubilización selectiva con agua a 99°C, teniendo como residuo el cloruro de sodio (NaCl), también conocido como sal halita (Abreu, 1973).

La extracción mineral, según datos del Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2000), genera indirectamente 8,7% de los empleos en la industria de transformación de minerales no metálicos y en la metalúrgica. Una de las áreas en el Estado del Amazonas donde ya se ha realizado la cartografía del potencial mineral es el municipio de Nova Olinda do Norte que se encuentra sobre un terreno de rocas sedimentarias (Anónimo, 2004). Durante la década de 1980, la antigua empresa de petróleo de Brasil, Petromissa, hoy llamada Petrobrás, encontró en la localidad llamada Fazendinha una reserva de 520 millones de toneladas de silvinita con 28,8-32,6% de KCl, a una profundidad de mil metros, aproximadamente. La empresa Potássio do Brasil, en el año 2009, descubrió un yacimiento de este mineral, cerca de la concesión de Petrobrás, que se encuentra a 841 metros de profundidad (Quaresma, 2011).

La extracción mineral puede ser una importante fuente de recursos económicos y facilitar el desarrollo del Estado del Amazonas y en especial del municipio citado. La discusión sobre exploración mineral, en la actualidad, lleva a la confluencia de diversos intereses ya sean de tipo político, económico, social o ambiental. Por lo tanto, es de gran relevancia el análisis de impactos ambientales (Muller y Ab'saber, 1998) con el uso de los conceptos de la economía ambiental, a fin de encontrar



un punto de equilibrio entre la actividad extractiva mineral y la sociedad; lo que llevará a la disminución de las divergencias entre el costo privado y el costo social en este tipo de actividad.

Los impactos de la minería poseen características especiales. La degradación causada en una determinada área puede ser irreversible o no, dependiendo del tipo de mineral, de las características del terreno y de cómo se da el proceso de extracción; la degradación resultante del proceso de extracción mineral está siempre geográficamente restringida al área donde ocurre la actividad y su entorno. Globalmente, por ejemplo, su contribución para la contaminación del aire y del agua es menor que las actividades energéticas o de los sistemas de transporte (Tauf *et al.*, 1995).

Los impactos ambientales ocasionados por la minería, así como cualquier otra actividad, deben ser analizados a partir de su densidad y extensión. Desafortunadamente, en el Brasil, la mayor parte de las actividades son de carácter irreversible en relación al área afectada, tal como lo que acontece con la extracción del calcáreo, granito y zinc (Muller y Ab'saber, 1998).

## 1.2. Marco Teórico

El Brasil, en las últimas décadas, ha realizado muchos estudios sobre el potencial de la extracción mineral, como es el caso del oro, niobio, grafito y caolín, entre otros. Datos recientes demuestran que la producción insuficiente o ausencia de recursos minerales con potencial económico, implican una gran dependencia externa de algunos bienes tales como carbón metalúrgico, cobre, azufre, gas

natural, fosfato, titanio, plomo y potasio (Texeira *et al.*, 2000).

La industrialización y la autosuficiencia mineral constituyen el gran desafío del Brasil, no sólo pensando en el mercado nacional, sino en el internacional. Las inversiones en este sector dependen de las relaciones entre innovaciones tecnológicas, oportunidades y competitividad en el país. Un ejemplo de la dependencia externa que tiene el Brasil, es el uso de la materia prima para fertilizantes como son sulfatos, fosfatos y potasio, los cuales constituyen casi el 90% de la demanda del país, en comparación a otros productos minerales, y explica el hecho de que las inversiones destinadas a la importación de productos minerales, como es el caso del potasio, sólo sean superadas por aquellas destinadas a la importación de petróleo.

El potasio, como mineral industrial, por sus propiedades físicas y químicas puede ser usado en procesos industriales de modo general con múltiples funciones, con mayor o menor valor agregado, o como aditivo, directamente como labrado, o después de su mejoramiento y procesamiento (Bizzi *et al.*, 2003). La búsqueda de potasio en las formaciones salinas de cualquier zona es un problema que se impone en el Brasil como medida para alcanzar, lo más breve posible, una fuente de ese producto que es tan esencial para la agricultura (Abreu, 1973).

El éxito de los negocios con recursos minerales va a depender de las relaciones de los productores con el mercado, de los movimientos en la cadena productiva y de las aplicaciones finales. Es interesante que las compañías dedicadas a estas actividades busquen la competitividad, la gestión de procesos, el mejoramiento de las



operaciones y el control ambiental, ya que uno de los principales problemas es que las empresas nacionales no están preparadas para conciliar el avance tecnológico con las necesidades del mercado (Bizzi *et al.*, 2003). Los residuos de la extracción mineral a nivel industrial crecerán en importancia económica en estos próximos 15 años para sostener las operaciones industriales. De esta forma, el reciclaje debe estar enfocado hacia la localización de los depósitos y operaciones extractivas próximos a los grandes polos industriales, con el objetivo de que las otras empresas localizadas en esos polos puedan reutilizar y recuperar material de alto valor, utilizando tecnologías más eficientes. De acuerdo con Villas-Bôas, R.C. (comunicación personal) en la región de Carmona, España, que es grande productora de silvinita desde los tiempos romanos, los problemas ambientales están relacionados con salinización del agua y del suelo, y alteración de los flujos acuáticos fluviales en virtud del ahondamiento de los lechos de los ríos en aquella parte del planeta; sin embargo, las grandes cantidades de desechos colocados al aire libre y que antes venían causando altas concentraciones de iones corrosivos en el ambiente, en los días actuales están siendo re-explotados y poseen valor económico.

Tratándose de extracción mineral en áreas de bosque, estudios afirman que la degradación es relativamente pequeña, sin embargo, esta actividad también puede atraer otras modalidades económicas como son la pecuaria y la exploración de carbón vegetal, las cuales ocasionan serios problemas de degradación (Tauf *et al.*, 1995). Por lo tanto, algunos problemas ligados a la extracción mineral deben ser cuidadosamente observados, principalmente

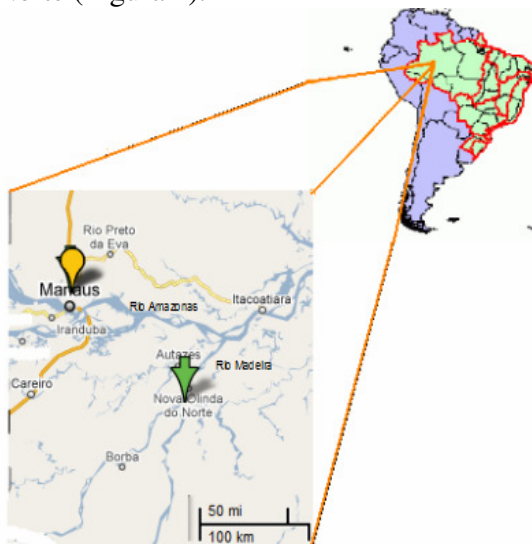
aquellos relacionados con la extracción en el subsuelo y los residuos de extracción. Se debe optar por procesos de extracción que minimicen, lo máximo posible, los impactos directos sobre el agua y el suelo. Ejemplos negativos relacionados a la extracción mineral pueden ser encontrados también en Brasil, como es el caso de Vazante, Estado de Minas Gerais, donde los impactos ambientales causados por la contaminación de zinc en el agua y la acumulación de residuos en el fondo de lagunas no tienen precedentes.

Se debe tener en cuenta que los residuos generados por la minería a cielo abierto son generalmente mayores que aquellos generados por la subterránea (Germani, 2002).

En el Brasil las restricciones ambientales todavía no son tan severas, los costos de mantenimiento de residuos en superficie no son muy elevados; de modo que las técnicas de relleno (devolución de residuos a los pozos de extracción) son menos populares. Estas técnicas son más utilizadas en países con mayores restricciones ambientales que el Brasil. En el Canadá, donde la minería subterránea es más expresiva que en el Brasil, se encuentra muy difundido el uso de sistemas de relleno, principalmente del tipo backfilling o residuo pastoso. En Escandinavia, estos sistemas son también muy comunes en minas de sulfatos, y de forma ejemplar en Australia, donde, de modo general, las restricciones ambientales son un tanto menos severas que en el Brasil, hay intenso uso de estos métodos de relleno cuando así se requiere (Germani, 2002). Esta técnica de relleno es muy importante, ya que permite la disminución de los impactos ambientales generados en la superficie y la recuperación de áreas afectadas por la minería.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Fue realizado un levantamiento bibliográfico y de datos secundarios relacionados con extracción mineral, indicadores de sustentabilidad en la industria mineral y métodos de exploración usados por las principales empresas en el mundo. Se encontraron datos sobre la silvinita para varios países y en el Estado del Amazonas en Brasil (Germani, 2002; Anónimo, 2004; Villas-Bôas *et al.*, 2005) y fue usado como base el nuevo mapa geológico para el Estado del Amazonas. Además se consultó la página electrónica del IBGE para revisar condiciones sociales, económicas, educacionales, desempleo y otros aspectos característicos del municipio en estudio. En el campo fueron aplicadas entrevistas en doce (12) familias de la comunidad de Fazendinha, Nova Olinda do Norte (Figura 1).



**Figura 1** – Área de estudio, Nova Olinda do Norte (flecha verde), en la parte baja de la cuenca del Rio Madeira, Estado del Amazonas, Brasil. (Fonte: Google Map, 2011).

### 2.1. Área de Estudio

El Rio Madeira, tributario de la margen derecha, es el más grande abastecedor de sales minerales disueltas y sedimentos para el canal principal del Rio Amazonas, y esto ocurre debido a su grande caudal durante los periodos de aguas en ascenso y descenso (Meade *et al.*, 1985).

Los resultados físico-químicos para el sector inferior de la cuenca del Rio Madeira permiten observar que sus aguas son las clásicas aguas blancas ricas en nutrientes y con pH casi neutro. Fueron reportados valores de pH = 6,74; Conductividad Eléctrica = 56,79  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; Promedio de Cationes = 4,95 ppm; Promedio de Aniones = 2,52 ppm;  $\text{Fe}_{\text{total}}$  = 2,98 ppm; Mn = 0,06 ppm;  $\text{P}_{\text{total}}$  = 0,09 ppm;  $\text{N}_{\text{kiel Dahl}}$  = 0,74 ppm; Color = 18 mg/Pt/l; Material húmico = 11,65 ppm; Silicatos = 5,60 ppm; y  $\text{Al}_{\text{total}}$  = 6,49 ppm (Santos y Ribeiro, 1988).

La historia de Nova Olinda do Norte está estrechamente ligada a la extracción del petróleo en el Amazonas. Limita al oriente con el municipio de Maués, al sur con el municipio de Borba y al norte con los municipios de Autazes y Itacoatiara. Está localizado en la octava subregión, región del bajo Amazonas, a una altitud de 30 m.s.n.m, con una área territorial de 5.887  $\text{Km}^2$ , una temperatura promedio de 27,3  $^{\circ}\text{C}$  y el acceso al municipio se realiza por vía fluvial.

El área de estudio contempla dos comunidades (Costa da Fazendinha y Santa Luzia) del municipio de Nova Olinda do Norte, las cuales están localizadas en área de várzea del Rio Madeira, y que constituye una fuente importante de pescado fresco y de agua para el consumo de la población.



Las comunidades son compuestas de 64 familias con aproximadamente 320 personas. Las familias son nucleadas y extensas. La comunidad Costa da Fazendinha tiene como actividad principal (61%) la agricultura familiar de pequeña producción destinada al consumo y mantenimiento de la familia. Sin embargo, por ser una área característica de várzea, algunas familias salen de la comunidad para tratar del ganado, actividad que viene destacándose en esta comunidad.

En la actividad de agricultura familiar la jornada de trabajo puede llegar, en promedio, a 12 horas por día. Esto se debe, principalmente, a las características físicas del local, bien como por la distancia que hay desde las casas hasta los lugares de trabajo. Como característica de la agricultura familiar, existe en las huertas de las propiedades una variedad de árboles frutales y animales de pequeño porte, como aves y porcinos. Se destaca también la presencia de bovinos en las áreas próximas a las casas. El paisaje ya demuestra un grado acentuado de degradación forestal. Esta actividad viene creciendo, ya que el agricultor necesita de más ingresos económicos para poder sustentar su familia. El área donde están localizadas las comunidades es de propiedad pública de Brasil y por lo tanto las familias no tienen escrituras oficiales de las tierras; en su lugar, poseen apenas un documento del Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), que les confiere la permanencia en este lugar. El tamaño de las propiedades va desde 8 hasta 52,8 hectáreas, con un promedio de 21,45 hectáreas. En algunos casos las familias no tienen una idea exacta del tamaño de sus propiedades. Las casas se encuentran lejos del Rio Madeira, como forma de aliviar los

problemas causados por el agua durante el período de aguas altas. Sin embargo, esta distancia se torna un obstáculo para la obtención del pescado fresco y del agua para beber durante el periodo de aguas bajas.

Se ha hablado mucho de la posibilidad de desalojo de las familias si alguna empresa se instala en esta área para realizar la extracción mineral; pero las pocas informaciones específicas que los habitantes tienen sobre el potencial mineral de esta zona provienen de una asociación constituida por los propios habitantes de la comunidad. De cualquier forma, la grande mayoría de la población tiene grandes expectativas de empleo si la extracción mineral llega a ocurrir ya que muchos poseen bajo grado de alfabetización (67% de los entrevistados poseen sólo la enseñanza primaria incompleta), lo cual dificulta conseguir trabajo en otros sectores. Sobre los beneficios económicos para la comunidad, la mayoría de los habitantes sugiere que si la empresa seleccionada para la explotación los capacita y les ofrece empleo, el emprendimiento será bienvenido en esta zona. Aunque este proyecto todavía está en fase de investigaciones, las discusiones actuales muestran que la población de los municipios involucrados debe prepararse para aprovechar las oportunidades de empleo que surgirán (Quaresma, 2011).

### **3. DISCUSIÓN SOBRE POSIBLES FALLAS DE MERCADO Y MÉTODOS DE EXTRACCIÓN**

En el caso de la extracción de silvinita en el municipio de Nova Olinda do Norte, es necesario que el estudio que compruebe la potencialidad del potasio sea



uno de los instrumentos claves para que las contradicciones entre la limitación de los recursos naturales, en contraposición a una sociedad de consumo cada vez más creciente, no genere una información imperfecta, colocando en riesgo las actividades de la empresa por una mala utilización del recurso.

Una de las fallas de mercado presentes en la extracción mineral es el monopolio. Esta falla significa que el mercado, en condiciones normales, no podrá internalizar los costos o beneficios del proceso productivo. En la práctica esto podrá reflejar un precio por unidad del producto más bajo de lo que debería ser y una cantidad producida por encima de aquella que sería socialmente óptima. Este fenómeno ocasiona competencia imperfecta, o sea, la no existencia de negociaciones y, por tanto, causa una despreocupación por la reducción de los niveles de polución a través de técnicas de control ambiental (Kupfer & Hosenclever, 2002). En Nova Olinda do Norte, el monopolio será probablemente uno de los mayores problemas de falla de mercado, haciéndose necesario encontrar instrumentos capaces de regular, de manera eficiente, la actividad exploratoria.

El estudio del potencial mineral de este municipio se hacía muy necesario, pues la única mina de silvinita del Brasil, localizada en el Estado de Sergipe, tiene como previsión agotarse en el año 2020 (Anónimo, 2004; Quaresma, 2011). Económicamente, este emprendimiento podrá generar empleos directos e indirectos en el municipio de Nova Olinda do Norte, trayendo incentivos por valor aproximado de 300.000 reales brasileños por mes, referentes al 3% de las utilidades netas de la empresa, que serán divididos entre la

Nación, el Estado y el Municipio (Anónimo, 2004).

Para este caso, se espera que la extracción de silvinita sea realizada mediante los métodos de Abatimiento (longwall), Disolución o Cámaras y Pilares. Este último método es utilizado en Sergipe - Brasil para la extracción del potasio, donde se cuenta con un proceso de minería continua y refrigeración en la ventilación. Mediante el método de Disolución, la salmuera es extraída del pozo para ser evaporada en la superficie, quedando luego un material con cerca de 70% de NaCl e 30% de KCl; después este material pasa por la etapa de flotación obteniendo como resultado un producto de 95% de KCl. El método de Abatimiento también es usado en Rio Grande do Sul - Brasil para extraer carbón y potasio. Otra alternativa para la exploración de silvinita de forma subterránea es aquella que viene siendo desarrollada en Escandinavia y Alemania, mediante el método de Elevación Hidráulica (hydraulic hoisting), a través del cual se fragmenta el material a ser extraído hasta una granulometría adecuada y se realiza la extracción con el uso de bombas a alta presión, optimizando energía por medio del uso de válvulas (Germani, 2002). La viabilidad técnica de este último método está comprobada y se constituye en una solución atrayente para la extracción a grandes profundidades, como se espera que sea realizada en Nova Olinda do Norte.

En general, se debería acelerar la velocidad de labra, evitando la relajación de los macizos, operando con baja dilución, evitando la formación de cráteres subterráneos y la posterior afectación del suelo. Esta cultura es bien entendida por los canadienses y todavía poco comprendida en Brasil, donde todavía se presenta una alta



dilución en las minas subterráneas, los realces son muy grandes, lo que da lugar a grandes aberturas expuestas y disminuye la velocidad de labra (Germani, 2002).

#### 4. CONSIDERACIONES FINALES

Con base en los datos obtenidos en relación a los aspectos ambientales de la extracción mineral, y a la luz de la economía ambiental, es posible trabajar con hipótesis que permitan pensar en prospecciones acerca del tema abordado.

Los minerales que contienen potasio, como la silvinita, son sometidos a procesos físicos como solubilización, precipitación diferencial, cristalización y flotación. De tal forma que las impurezas son eliminadas. Lo importante es cómo estos residuos van a ser eliminados, pues la mayor parte corresponde a NaCl, el cual podría ser devuelto al pozo de extracción (relleno) o usado para comercialización (obtención de otros productos); ya que lo menos recomendable sería disponer estos residuos en la superficie, pues esto causaría aumento acelerado de la salinización, y por lo tanto impacto en las plantas, el suelo y las reservas hídricas.

En relación a la comercialización del NaCl, es necesario que exista un pacto entre el gobierno y la empresa exploradora del recurso para que no ocurra un desequilibrio en el mercado, ya que la demanda por esta sal, para consumo humano, ya está satisfecha con la oferta actual. Otra alternativa para la utilización de esta sal es producir: 1- nitrato de sodio (fertilizante); 2- soda cáustica; y/o 3- hipoclorito de sodio en la industria cloro-química; éste último con la finalidad de proveer, a las poblaciones asentadas en las riberas de los ríos, de un desinfectante para el tratamiento

del agua antes de ser usada para consumo. La implantación de industrias de transformación en el Estado del Amazonas es fundamental para que estas alternativas no sean implementadas exclusivamente en otras regiones, encargándose el Estado sólo de la provisión de materia prima; disminuyendo con ello las posibilidades de generación de empleo local. La creación de industrias de transformación mineral en el Estado del Amazonas tendría como uno de sus incentivos la certificación de Sello Verde, que trae como valor agregado la garantía de que el producto final a ser vendido sea de calidad y que haya sido extraído de acuerdo con procesos ambientalmente correctos.

Al analizar la actividad económica asociada a la extracción de silvinita, se llega a uno de los mayores problemas asociados a falla de mercado, el monopolio. Por esta razón se sugieren las siguientes herramientas de política económica y ambiental. Tratándose de monopolio, los instrumentos económicos o la libre negociación de Coase (1960) son más difíciles de aplicar; por lo tanto, una de las formas de llegar al nivel óptimo de polución, es por medio de instrumentos de comando y control que establezcan una tasa anual de extracción. Este control de la actividad permitirá que los órganos reguladores ejerzan acciones que procuren la fiscalización tanto de la extracción como de la tasa de efluentes generados.

También es posible utilizar un instrumento mixto de comando/control y de incentivos económicos (bonding system). Es decir, el degradador potencial del ambiente, en este caso la empresa seleccionada para realizar la exploración, debería efectuar un gran y suficiente depósito de dinero en una cuenta de fondos en custodia o caución (cuenta de





garantía) y si al final o a lo largo del proceso exploratorio la empresa no alcanza las metas de calidad ambiental preestablecidas, el dinero depositado será utilizado para ese fin; de lo contrario, estos recursos podrían regresar para la empresa (Kahn, 1998).

Otra opción es la creación de un fondo de desarrollo que propicie recursos a ser invertidos en el municipio a largo plazo. Este fondo funcionaría como una especie de reserva para el Estado y las poblaciones afectadas por la extracción mineral, siendo una forma de posibilitar una fuente de recursos activa a lo largo de los años de la exploración y una reserva financiera para el municipio. Este fondo provendría de los royalties pagados obligatoriamente al municipio por parte de la empresa exploradora y también de una especie de participación de los lucros mensuales, lo cual sería establecido a partir de negociaciones con la participación del gobierno y la sociedad civil.

La minería en Nova Olinda debe contemplar el “Plan de cierre de la mina” que está surgiendo últimamente en Brasil y que consiste en un plan a seguir para mitigar los efectos de la actividad sobre un determinado territorio. Este plan debe ser adicionado en el planeamiento de la mina, ser dinámico y suceder naturalmente a todas las revisiones de los planes operacionales (Germani, 2002).

Teniendo en cuenta que los procesos relacionados con la minería son determinados por las realidades geopolíticas y éstas son, a su vez, función de la geografía de la región (ej: Amazonia, Caribe, etc.), los indicadores de desarrollo sustentable regionales y locales deben estar enfocados en estas áreas geopolíticas y estar de acuerdo

con las realidades geográficas (Germani, 2002; Villas-Bôas *et al.*, 2005).

## 5. AGRADECIMIENTOS:

La base para este artículo fue el texto del trabajo final de la materia Economía Ambiental, realizada en el Programa de Maestría en Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia (PPG-CASA), Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil. El primer autor es “Bolsista da CAPES/CNPq – IEL Nacional – Brasil”.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, S.F. 1973. Recursos Minerais do Brasil, Editora Universidade de São Paulo, 2ª Ed., Rio de Janeiro. 3224p.

Anónimo. 2004. Relatório da Comissão Especial de Estudo sobre a Política Mineral do Estado do Amazonas, Manaus, Brasil.

Bizzi, L.A.; Schobbenhaus, C.; Vidotti, R.M.; Gonçalves, J.H. (Org.). 2003. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Texto, Mapas e SIG.

Coase, R.H. 1960. El problema del Costo Social. En La Firma el Mercado y la Ley. Editora Alianza.

Germani, D.J. 2002. A Mineração no Brasil - Relatório final. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Rio de Janeiro. 59p. <[cgee.org.br/arquivos/estudo007\\_02.pdf](http://cgee.org.br/arquivos/estudo007_02.pdf)>. Acessado em: 08/06/2010.

GoogleMap data, 2011.<[maps.google.com/maps](http://maps.google.com/maps)>. Acessado em: 05/07/2011.

Kahn, J.R. 1998. The Economic Approach to Environmental and Natural Resources, The Dryden Press, 2<sup>nd</sup> Ed., Orlando, USA. 507p.

Kupfer, D.; Hosenclever, L. 2002. Economia Industrial: Fundamentos teóricos e práticas no Brasil, Editora Campus, Rio de Janeiro.



Meade, R.H.; Dunne, T.; Richey, J.E.; Santos, U.M.; Salati, E. 1985. Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon River of Brazil. *Science*, v.228, p. 488-490.

Muller, P.; Ab'saber, A.N. 1998. *Previsão de impactos no leste, oeste e sul*. Editora Universidade de São Paulo, 2ª Ed., São Paulo.

Quaresma, E. 2011. Sinésio comemora o compromisso de Dilma com a silvinita do Amazonas. Departamento de comunicações da Assembleia Legislativa do Estado do Amazonas.<[aleam.gov.br/ANoticia\\_Materia.asp?id=6241](http://aleam.gov.br/ANoticia_Materia.asp?id=6241)>. Acessado em: 19/05/2011.

Santos, U.M.; Ribeiro, M.N.G. 1988. A hidroquímica do Rio Solimões – Amazonas. *Acta Amazonica*, v.18, n.3-4, p. 145-172.

Tauk, S.M.; Gobbi, N.; Fowler, H.G. 1995. *Análise Ambiental: uma visão multidisciplinar*, Editora da Universidade Estadual Paulista (Natura Naturata), 2ª Ed., São Paulo. 206p.

Teixeira, W.; Toledo, M.C.M.; Fairchild, T.R.; Tioli, F.J. 2000. *Decifrando a Terra*, Editora Oficina de Textos, São Paulo. 568p.

Vieira, P.F.; Weber, J. 2002. *Gestão de recursos naturais renováveis e desenvolvimento: novos desafios para a pesquisa ambiental*. Editora Cortez. 3ª Ed., São Paulo.

Villas-Bôas, R.C.; Shields, D.; Solar, S.; Anciaux, P.; Onal, G. (Eds.). 2005. *A Review on Indicators of Sustainability for the Minerals Extractions Industries*, CYTED-XIII, Rio de Janeiro. 230p.

**NOTA TÉCNICA****UTILIZAÇÃO DO MODELO SIB 2 NA AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DA ÁGUA DO SOLO ENTRE O CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR E A FLORESTA TROPICAL ATLÂNTICA.****USING THE MODEL SIB 2 IN ASSESSING THE DYNAMICS OF SOIL WATER BETWEEN AN CULTIVATION OF SUGAR CANE AND A TROPICAL ATLANTIC RAINFOREST**

Claudio Eduardo Andreoti  
Depto. de Geografia, FFLCH, USP  
Email: ceandreoti@usp.br

**RESUMO**

Esse trabalho foi realizado a partir do modelo computacional *Simple Biosphere 2* (SiB 2) com o qual foi realizada uma simulação a fim de comparar a dinâmica da água em dois diferentes biomas: uma floresta tropical Atlântica e um cultivo de cana-de-açúcar. Na parametrização dos biomas buscou-se aproximar as condições iniciais e de controle de simulação e também as forçantes climáticas, sob as quais o modelo processaria os resultados a fim de compor um mesmo quadro pedológico, geográfico, climático e temporal dentro o qual as características de cada bioma foram incorporadas a fim de ser realizada a simulação. Os resultados são apresentados em forma de gráficos e analisados os dados obtidos que representam a dinâmica da água no solo, eles apontam para maiores valores de escoamento superficial (*runoff*), temperatura, evaporação e perda de umidade no solo em um cultivo de cana de açúcar em relação à mata sendo que esta apresenta maiores perdas por evapotranspiração.

**Palavras-chave:** Dinâmica da Água, Agroecologia, Modelagem, Modelo SiB2.

**ABSTRACT**

This work was performed using the computational model *Simple Biosphere 2* (SiB 2) with which a simulation was done to compare the dynamics of water in two different biomes: an Atlantic tropical forest and a crop of cane sugar. To parameterize the biomes we attempted to approximate the initial conditions and control simulation and also the climatic characteristics that the model will process the results in order to compose a single frame pedology, geography, climate and time within which the characteristics of each biome were incorporated in order to be carried out the simulation. The results are presented in graphs and analysis of the data representing the dynamics of soil water and pointing to higher values of runoff, temperature, evaporation and soil moisture in a crop of sugarcane in relation to the forest and this presents major losses by evapotranspiration.

**Keywords:** Water Dynamics, Agroecology, Modeling, SiB2 Model.



## 1. INTRODUÇÃO

A técnica descrita neste estudo permitiu simular e, a partir dos resultados obtidos, comparar as características da dinâmica da água em dois diferentes biomas que refletem usos do solo distintos, uma floresta tropical atlântica, cobertura vegetal com pouca interferência antrópica, ao menos em escala local e o segundo, um cultivar de cana-de-açúcar representativo de um uso do solo alterado em suas características físico-químicas originais, fruto de práticas tais como a derrubada da vegetação original, aradura e subsolagem, aplicação de aditivos químicos e outras formas de alteração (Altieri, 1989).

A simulação foi realizada com a utilização do modelo computacional *Simple Biosphere*, segunda versão (SiB 2), de Sellers et al. (1996), muito utilizado em estudos micro meteorológicos sendo expressivos o número de estudos realizados com esse modelo na região Norte do país (Llopart et al., 2007; Silveira et al., 2010).

Para alimentar o modelo foram utilizadas parametrizações de alguns biomas que foram realizadas pelo Prof. Dr. Humberto Ribeiro da Rocha do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas (IAG-DCA, USP) no decorrer de suas pesquisas e cedidos para a realização de trabalho no curso de pós-graduação por ele ministrado.

A partir dos parâmetros fornecidos, buscou-se aproximar as condições iniciais e de controle de simulação além das forçantes

climáticas sob as quais o modelo processaria os resultados com a finalidade de compor um único quadro pedológico, geográfico, climático e temporal dentro do qual as características de cada bioma foram incorporadas a fim de ser realizada a simulação.

Os resultados são apresentados em forma de gráficos e, mesmo considerando que eles representam apenas uma parte dos resultados obtidos devido a grande capacidade do modelo em calcular os mais diversos fluxos de energia, umidade, CO<sub>2</sub> e água, serão apresentados somente os resultados obtidos em relação a esta última, visto ser a minha área de pesquisa.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O modelo '*Simple Biosphere Model*' Segunda versão (SiB2) (Sellers et al., 1996) é um modelo de descrição do sistema solo-planta-atmosfera que foi desenvolvido para avaliar as estimativas das trocas de radiação, umidade, calor sensível, CO<sub>2</sub> e *momentum* entre a superfície da terra e a atmosfera. Essas trocas são influenciadas por parâmetros tais como albedo, comprimento de rugosidade, resistência superficial que controla o fluxo de umidade da planta e solo para a atmosfera.

É baseado na linguagem FORTRAN, nome proveniente da designação original "IBM Mathematical FORMula TRANslation System" e executada nos computadores tipo PC através de



emuladores. Os parâmetros são introduzidos no modelo através de arquivos que representam os atributos geográficos e físicos do solo (arquivo **data1**) e as forçantes climáticas e temporais são introduzidas em outro arquivo separado (**data2**)

Os arquivos que foram fornecidos parametrizavam os biomas em dois diferentes períodos de tempo e locais, o que não era o mais adequado para a comparação pretendida, além do que o grande volume de dados gerado pelos registros também dificultaria a apresentação dos resultados e, devido a esses fatores, foi executada uma uniformização e simplificação dos dados.

Os procedimentos executados a fim de uniformizar as características temporais, climáticas e físicas do solo para os dois biomas consistiram em primeiro lugar a alteração do arquivo **data1** referente a cana de açúcar nas linhas de comando "SITE LOCATION, NUMBER OF ITERATIONS, INITIAL CONDITIONS (NON-VEGINC)" com os parâmetros de latitude, longitude, data e período de simulação entre 01 de janeiro e 30 de dezembro de 2008 e os dados referentes ao solo nas linhas de comando "SOIL TYPE, SOIL DEPTH, SOIL REFLECTANCES e SOIL TYPE-DEPENDENT STATIC PARAMETERS", presentes no conjunto de parâmetros da Floresta Atlântica.

Em seqüência foram ajustados os dados das forçantes climáticas (arquivo **data2**), sendo utilizado o arquivo fornecido com o conjunto de dados climáticos referentes ao ano de 2008, como esses dados eram diários, a fim de reduzir o volume de

informações e facilitar sua apresentação foi feito o cálculo das suas médias simples mensais.

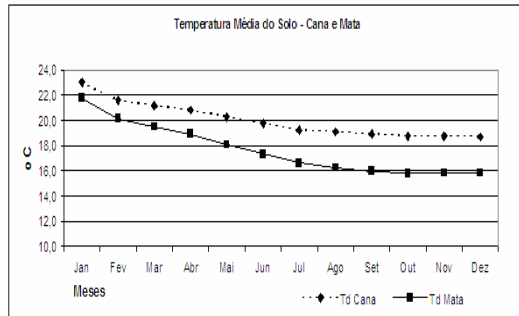
Ainda que se reconheça que estas simplificações possam empobrecer as complexas dinâmicas estudadas e um modelo seja sempre uma representação limitada da realidade, a utilização de modelos computacionais podem fornecer um primeiro esboço do objeto de estudo, neste caso a dinâmica da água em função das condições de uso do solo e, tendo isso em vista, os resultados obtidos são considerados como adequados a este breve estudo.

### 3. RESULTADOS

Após a execução dos procedimentos descritos anteriormente foram obtidos os seguintes resultados:

#### 3.1 Temperaturas do ar e do solo

Primeira das saídas do modelo considerada, a temperatura do solo influi em vários processos que ocorrem no solo tais como a evaporação da água presente nas porções mais superficiais, a germinação de sementes (reações bioquímicas), o crescimento do sistema radicular (divisão celular), absorção de água e nutrientes (viscosidade da solução) e a decomposição da matéria orgânica (Pereira et al., 2002). A Figura 1 abaixo representa a variação das temperaturas nos dois biomas.



**Figura 1** – Resultado representando a variação das temperaturas nos biomas do estudo.

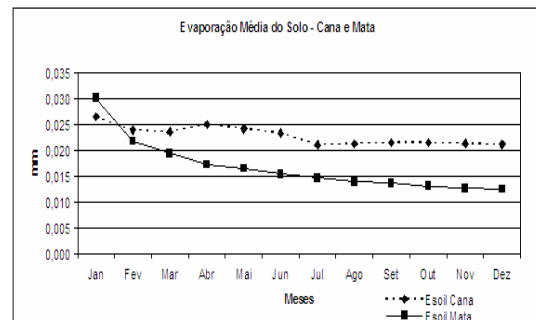
O modelo apresenta como resultado uma temperatura média (Td) mais elevada no solo cultivado com cana de açúcar, refletindo as características de menor atenuação e absorção de radiação no seu dossel, muito menos denso que o de uma mata.

Em latitudes com forte radiação solar como as que ocorrem no Brasil, essas características são um fator contribuinte à perda de água por evaporação e podem vir a ser prejudiciais a alguns dos outros processos mencionados.

### 3.2 Evaporação média do solo.

Um dos fluxos de massa do sistema, os processos de evapotranspiração, juntamente com a precipitação são um dos mais importantes componentes do ciclo hidrológico. A evaporação do solo é considerada uma fração pequena da evapotranspiração ( $E_t$ ) em florestas por falta de radiação e movimento do ar. A Figura 2 a seguir representa as taxas de evaporação do solo, em geral essas taxas

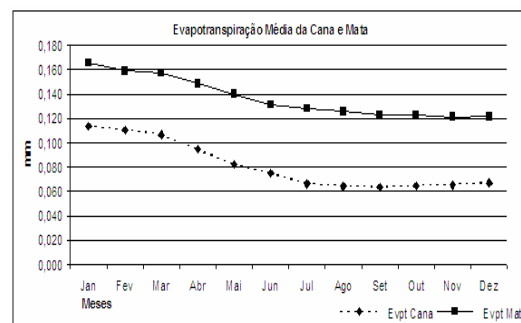
são superiores para a cultura da cana de açúcar.



**figura 2** – Resultado representando a evaporação média do solo nos biomas.

### 3.3 Evapotranspiração

A evapotranspiração é definida como sendo o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e da vegetação úmida somada à transpiração das plantas, a Figura 3 a seguir representa os valores obtidos pelo modelo



**Figura 3** – Evaporação média nos biomas.

Os resultados indicam que as perdas de água na mata são superiores às do cultivo de cana de açúcar. De um modo simplificado

eles podem ser entendidos pelo maior volume de massa vegetal presente em uma área florestada com respectivos consumo e respiração maiores em relação à mesma superfície coberta com cana.

### 3.4 Grau de saturação de umidade do solo.

O grau de saturação da umidade do solo obtido a partir do modelo é um dos melhores indicadores da dinâmica da água nos dois biomas, saturação na camada 1 (W1\_C na Figura 4) da cana de açúcar se assemelha em muito à da floresta durante o período de maior precipitação porem diminui de modo acentuado durante o período de estiagem.

A camada de maior profundidade (W3\_C) por outro lado apresenta comportamento ligeiramente inverso, uma vez que as características fenológicas da floresta permitem a retirada de água dessas camadas mais profundas do solo ao contrario da cana de açúcar.

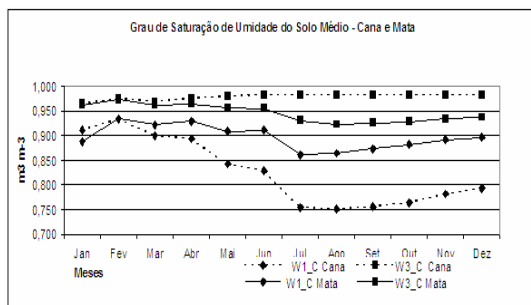


Figura 4 – Grau de saturação de umidade no solo.

### 3.5 Escoamento *Runoff*

Uma vez que o escoamento superficial é o fluxo de água que ocorre quando o solo está infiltrado a plena capacidade e com excesso de água na superfície, este tipo de escoamento é um componente importante do ciclo hidrológico.

Dois fatores negativos desse escoamento podem ser citados: se ele ocorrer em uma superfície que contém algum tipo de contaminante ele pode se tornar uma fonte de poluição difusa. Outro fator diz respeito à erosão do solo e assoreamento de cursos d'água em superfícies sem cobertura vegetal. A Figura 5 abaixo representa os resultados de *Runoff* dos biomas.

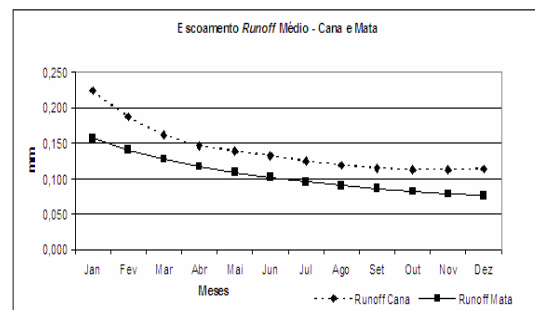


Figura 5 – *Runoff* nos biomas.

O cultivo da cana de açúcar possibilita maiores valores de *Runoff* em comparação com a mata o que pode contribuir para os fatores negativos já citados.



#### 4. DISCUSSÃO

Os maiores valores de escoamento superficial, temperatura, evaporação e perda de umidade nas camadas do solo apresentados apontam para características menos favoráveis à conservação da água num solo submetido a intervenção antrópica como é o caso de um cultivo de cana de açúcar.

No caso específico do escoamento superficial, a sua soma com as técnicas agrícolas muitas vezes associadas ao cultivo da cana como, por exemplo, o uso intensivo de insumos agrícolas tem o potencial de tornar esse cultivo uma fonte de poluição difusa, por outro lado as desflorestações extensivas para dar lugar a áreas plantadas e o uso intenso de mecanização desestabilizam a estrutura do solo possibilitando a ocorrência de erosão e perda de solo contribuindo para o assoreamento de cursos d'água.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Humberto Ribeiro da Rocha que cedeu as parametrizações dos biomas utilizados neste estudo e por seu apoio durante a realização da disciplina por ele ministrada, à Profa. Dra. Sidneide Manfredini do Depto. de Geografia da FFLCH-USP pela orientação do meu trabalho e à CAPES pelo financiamento das pesquisas realizadas.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Altieri, M.A. 1989. Agroecologia: as bases científicas da agricultura. Rio de Janeiro, PTA/FASE. 240 p. GUERRA, M.S.

Llopart, M; Acosta, R.; Tatsch J.; Freitas, H.; Saad, S.; Duarte, H.; Rocha, H. 2007. Calibração do módulo de transferência turbulenta do modelo SiB2 para Floresta Tropical Amazônica. Revista Ciência e Natura. Ed. Especial Micrometeorologia. p. 325-328. UFSM, RS.

Pereira, A. S., Angelocci, L. R., Sentelhas, P. C. 2002. Agrometeorologia – Fundamentos e Aplicações Práticas – Guaíba: Agropecuária, 478p.

Sellers, P.J., D.A. Randall, C.J. Collatz, J.A. Berry, C.B. Field, D.A. Dazlich, C. Zangh, G.D. 1996. Collelo. A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs, Part I: Model formulation. J. Climate, 9, 676-705.

Silveira, M. C.; Roberti D. R.; Martins, C. 2010. A. Validação das componentes do balanço de energia no modelo SiB2 para a Amazônia (Santarém K77). Anais do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia - A Amazônia e o Clima Global. Belém.





## **CARACTERIZAÇÃO LIMNOLÓGICA DO RESERVATÓRIO RODOLFO COSTA E SILVA – ITAARA/RS-BRASIL**

### **LIMNOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE RESERVIOR RODOLFO COSTA E SILVA – ITAARA/RS-BRAZIL**

Fábio Marcelo Breunig

Pós-graduação em Sensoriamento Remoto – Divisão de Sensoriamento Remoto - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – PG-SER/DSR/INPE  
fabiobreunig@gmail.com

Flavio Wachholz

Pós-graduação em Geografia - Universidade Estadual de São Paulo– UNESP-Rio Claro  
fwalemao@gmail.com

Waterloo Pereira Filho

Departamento de Geociências - Universidade Federal de Santa Maria - UFSM  
waterloopf@gmail.com

Bruno Rodrigues do Prado

Pós-graduação em Sensoriamento Remoto - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE  
brunogeousp@gmail.co

#### **RESUMO**

O Brasil, devido a sua extensão, apresenta muitos ambientes aquáticos como rios, lagos e represas. Neste contexto, o trabalho tem por objetivo caracterizar alguns parâmetros limnológicos medidos em um reservatório de clima subtropical na região sul do Brasil. A área de estudo selecionada foi o reservatório Rodolfo Costa e Silva. Através de inspeção de campo, foram medidos os seguintes parâmetros limnológicos em 21 pontos amostrais: pH, temperatura, transparência, Total de Sólidos em Suspensão (TSS). Após a coleta, os dados foram interpolados e analisados através de mapas. As medidas de TSS mostraram uma maior concentração no setor norte do reservatório, resultante de materiais provenientes das bacias hidrográficas, e no centro jusante do reservatório, associado a clorofila. Foi observado um aumento na transparência da água no sentido montante para jusante. Medidas de pH da água evidenciaram a existência de dois grandes compartimentos: uma região com características mais alcalinas no sul do reservatório e outra região com tendência a acidez no centro e norte do reservatório. Estas variações de pH parecem estar associadas à diferenças no uso da terra nas proximidades das margens.

**Palavras-chave:** Limnologia, total de sólidos em suspensão, transparência da água.

## ABSTRACT

Because it has large extension, the Brazil presents many aquatic environments like rivers, lakes and reservoir (dams). In this way, some limnological parameters were evaluated to characterize a subtropical water reservoir on Southern of Brazil. For this study the Rodolfo Costa e Silva reservoir was selected. A field work was conducted in 21 sample points for the collection of some limnological parameters: pH, temperature, transpance, and Total of Suspended Solids (TSS). After data collection, an interpolation was performed and the results were analyzed through maps. Measurements of TSS showed a greater concentration of TSS on North of the reservoir and in the center of the downstream. The results suggest that the TSS of North is associated with the sediments carried out by the watershed and, another site in the center of reservoir may be associated with a chlorophyll concentration. The transpance showed a gradual increase from upstream to downstream. The pH measures showed the presence of two large water compartments represented by one alkaline region, on South of the reservoir and, an acid region on center-North. This pH difference seems to be associated to different land use over reservoir edges.

**Keywords:** Limnology; total of suspended solids; water transpance.

## 1. INTRODUÇÃO

O impacto das atividades humanas Brasil e sua condição ambiental nos ecossistemas aquáticos tem gerado heterogênea permitem ao país muitas uma série de problemas (Jobin, 1998). possibilidades em termos de pesquisas Neste sentido as pesquisas limnológicas limnológicas.

têm despertado interesse crescente, visto Os impactos sobre lagos, que seus resultados podem ser amplamente reservatórios e rios são inúmeros, aplicados para a conservação e destacando-se a variação da temperatura, monitoramento desses ambientes. A oxigênio dissolvido, sólidos em suspensão, limnologia é a ciência que estuda os corpos concentração de nutrientes, modificação da hídricos continentais, como lagos, hidráulica, aumento da concentração de reservatórios, rios, e demais áreas úmidas. mercúrio e ação dos gases do efeito estufa Esta ciência esta fortemente ligada à (Norling et al, 2004). Do mesmo modo, a hidrologia e pode ser considerada uma construção de um reservatório tem ciência interdisciplinar, apoiada nos implicações na hidrodinâmica do estudos físicos, químicos e biológicos reservatório, no deslocamento e na desses ambientes (Dunne e Board, 1998; concentração de sólidos em suspensão, na Esteves, 2006). Os estudos de lagos, rios temperatura, mudanças na disponibilidade dentre outras áreas alagadas apresentam de alimentos e nos habitats da fauna e flora uma importância cada vez maior na aquáticos (Jobin, 1998). Este impacto sociedade, em que a poluição é um dos também é verificado a jusante e montante principais problemas a ser enfrentado. A do reservatório (Esteves, 1998). Contudo, grande disponibilidade de água doce no ainda são poucos os estudos no Brasil que

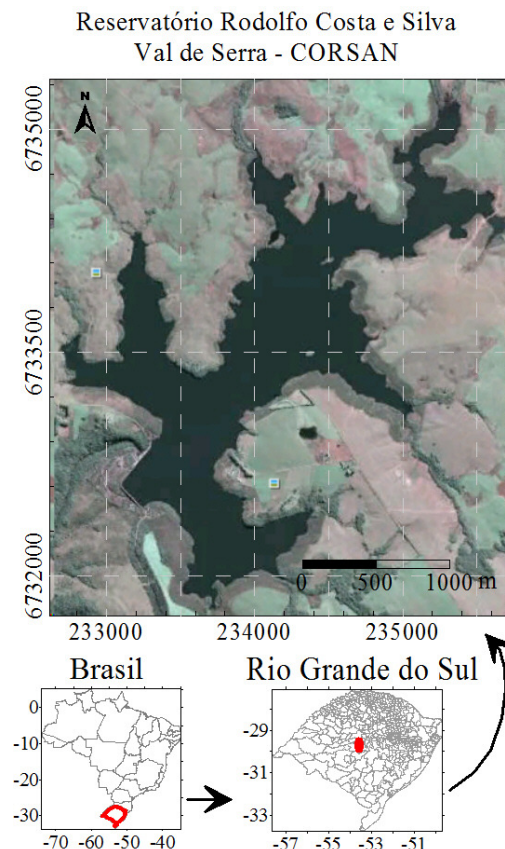
exploram os dados limnológicos no contexto das aplicações. Alguns esforços foram empreendidos por Breunig et al. (2007) e Wachholz (2007) ao estudar o reservatório Rodolfo Costa e Silva no contexto de sua resposta espectral (imagens de satélite) à elementos oticamente ativos e em função dos compartimentos aquáticos definidos nas quatro estações do ano, respectivamente. Estudos que abordam o Total de Sólidos em Suspensão em sistemas aquáticos da bacia do Araguaia feitos por Carvalho (2007), Alves e Carvalho (2007). As implicações das variações de temperatura da água em reservatórios sobre diferentes tipos de culturas de peixes foram estudadas em diversos reservatórios do Rio Grande do Sul por Garcia et al. (2008).

O trabalho tem como objetivo avaliar características limnológicas do reservatório Rodolfo Costa e Silva num único período do ano (outubro), com destaque para o Total de Sólidos em Suspensão (TSS), transparência da água dada pela profundidade do disco de Secchi, pH, temperatura e condutividade elétrica da água.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Área de Estudo

O reservatório Rodolfo Costa e Silva ocupa a área de aproximadamente 275 hectares, e está localizado no limite entre os municípios de Itaara e São Martinho da Serra, na região central do estado do Rio Grande do Sul, no sul do Brasil (Figura 1). O reservatório se encontra em uma região de clima subtropical, com temperatura média anual de 19 °C e precipitação média anual que oscila em torno de 1500 mm. A umidade média relativa anual é de 80% (OES-INPE, 2006).



**Figura 1** - Localização do Reservatório Rodolfo Costa e Silva, no centro do estado do Rio Grande do Sul – Brasil. OBS: O mapa em destaque foi gerado na Projeção Universal Transversa de Mercator – UTM. Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano de 51° W.GR., acrescidos das constantes 10000 e 500 km, respectivamente (fuso 22). A imagem colorida foi extraída do Google Earth®.

O reservatório Rodolfo Costa e Silva é abastecido pela microbacia hidrográfica do rio Ibicuí-Mirim. Está localizado no planalto do sul-riograndense, onde as características da estrutura basáltica se refletem no tipo de solo avermelhado (predominantemente formado por solos argilosos), típico nesta microbacia hidrográfica. A bacia de captação do reservatório possui cerca de oito mil hectares de área, predominando vertentes com baixas inclinações.

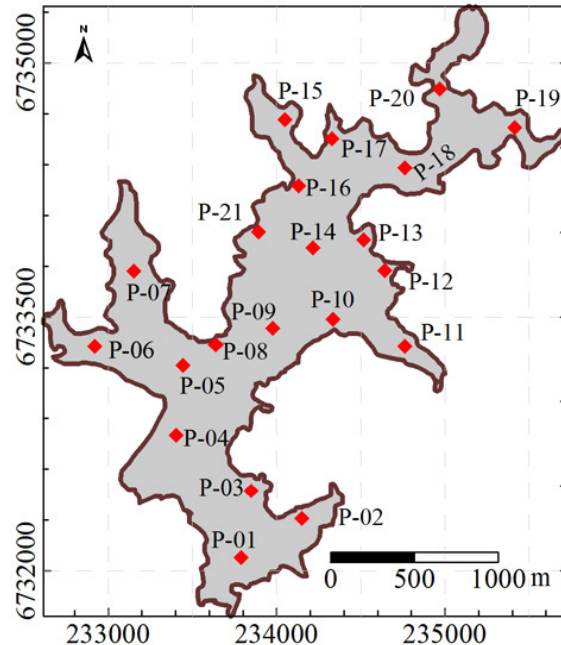
O uso da terra predominante na bacia que abastece o reservatório Rodolfo Costa e Silva é a agropecuária,

representado por cultivos anuais (soja, trigo e milho), áreas de campo destinadas à pastagem e pequenas áreas de vegetação arbórea, especialmente de matas ciliares. Destaca-se que na margem direita (porção mais a oeste) do reservatório predominam áreas de pastagem e na margem esquerda (porção mais a leste) verifica-se um maior uso agrícola da terra. As áreas de mata são encontradas especialmente junto as drenagens, ou seja, são representadas pela mata galeria e por uma grande área florestada a jusante do reservatório. O reservatório de água Rodolfo Costa é Silva é utilizada para abastecer parcialmente a cidade de Santa Maria.

## 2.2. Coleta e tratamento dos dados de campo

Com o auxílio de um barco foram amostrados 21 pontos no reservatório, cuja localização foi previamente definida para abranger todos os compartimentos aquáticos do reservatório (Figura 2). Os pontos amostrais foram registrados por GPS, permitindo uma localização com um erro de aproximadamente 15 m. Os pontos amostrados foram transferidos para um aplicativo de geoprocessamento e as informações obtidas em campo foram combinadas, interpoladas e eventualmente corrigidas.

### Localização dos pontos amostrais no Reservatório Rodolfo Costa e Silva



**Figura 2** - Localização dos pontos amostrais visitados durante a inspeção de campo realizada em 20 de outubro de 2005.

A coleta dos dados limnológicos em campo foi feita entre as 15h e 18h do dia 20 de outubro de 2005, em condições atmosféricas de céu limpo. Após a coleta em campo, foi determinado o TSS em laboratório. A medida de temperatura do ar a cerca de 50 centímetros acima do nível da água foi medida através de um termômetro digital. Aliado as medidas no local (em cada ponto amostral), foram coletados dados de temperatura do ar e de velocidade do vento no Observatório Espacial do Sul (OES), para o período da coleta de dados limnológicos.

As medidas de transparência da água foram feitas utilizando um disco de Secchi, que consiste em afundar um disco branco com aproximadamente 25 cm de diâmetro, e verificar a que profundidade ele desaparece do campo de visão do observador. A profundidade em que não é mais possível ver o disco corresponde à profundidade de Secchi, conferindo uma estimativa da transparência da água.

As medidas de temperatura da água, condutividade elétrica e o total de sólidos dissolvidos (TDS) foram feitas para três profundidades: em Sub-superfície (a aproximadamente 10 cm de profundidade), 1 m e 3 m de profundidade (estas são típicas faixas de transição das características da água) com o uso de condutivimetro ORION (Thermo Research, 2008). Para as medidas de pH da água foi utilizado um pHmetro (Thermo Research, 2008). O pH da água foi obtido apenas na sub-superfície.

Os pontos de amostragem foram definidos através de uma avaliação prévia de uma imagem de satélite. Em relação ao total de sólidos (TSS) em suspensão, após a coleta de amostras de água em sub-superfície em campo (aproximadamente 0,6 litros para cada ponto), utilizou-se membranas HA em Ester de celulose, com porosidade de 0,45µm, diâmetro de 47 milímetros, branca e quadriculada, para fazer a filtragem da água. As membranas foram pesadas antes e depois das filtrações, sendo que a diferença de peso corresponde ao TSS. Sucintamente, o TSS foi obtido a partir da Equação 1. Antes da pesagem as membranas/filtros foram postas em uma estufa a uma temperatura de 50 °C para secar e eliminar a umidade, por um período de 24 horas.

$$TSS = \frac{P_f - P_i}{V} * 1000 \quad \text{Eq. 1}$$

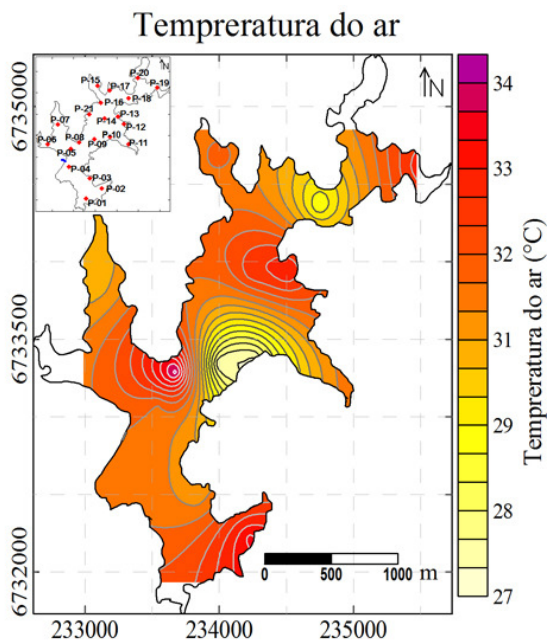
onde  $P_f$  é o peso final,  $P_i$  é o peso inicial dos filtros e  $V$  é representa o volume de água filtrada.

Os dados coletados em campo e os parâmetros medidos em laboratório foram analisados em pacotes geoestatísticos (SPSS<sup>®</sup> e Surfer<sup>®</sup>) e aplicativos de geoprocessamento. A análise estatística se baseou em estatísticas descritivas e no cálculo do coeficiente de correlação. O

Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING) (Camara et al. 1996) foi utilizado para georeferenciar as informações, avaliar a distribuição dos pontos amostrais e realizar avaliações complementares baseadas em imagens de satélite. Para interpolar os dados foi utilizada a krigagem ordinária com ajuste linear do semivariograma implementada no aplicativo Surfer<sup>®</sup> (Golden Software Inc., 2005).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando as medidas de temperatura do ar a 50 cm acima da superfície (Figura 3), verifica-se que ocorre uma grande variação considerando os compartimentos aquáticos. Em geral, as áreas caracterizadas pelas mais elevadas temperaturas encontram-se abrigadas do vento. Ressalta-se também que durante a coleta dos dados o vento foi fraco e direção predominante foi oeste. Essas condições tornam possível um maior aquecimento da água e uma menor turbulência da água em alguns compartimentos aquáticos. As medidas de temperatura coletadas no OES oscilaram em torno de 28 °C.

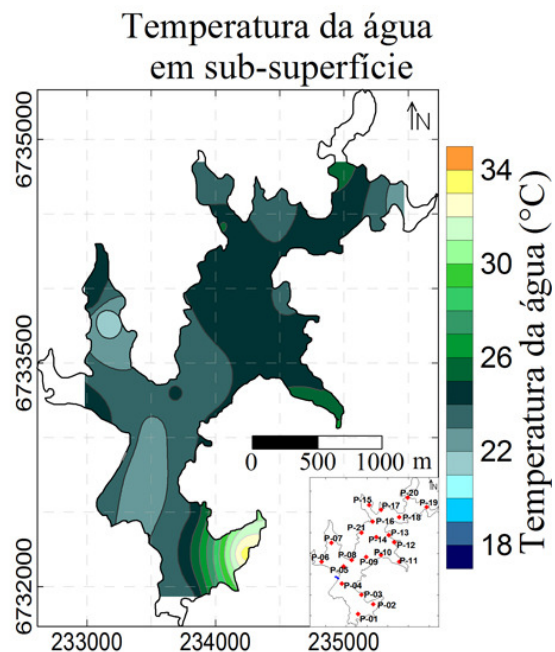


**Figura 3** - Variação da temperatura do ar nos pontos amostrados (50 cm acima da superfície/lâmina de água). Os extremos do reservatório não foram interpolados para evitar estimativas errôneas.

Lagos e reservatórios apresentam um gradiente de temperatura da água de acordo com a profundidade, em geral associado às condições sazonais e climáticas (Wetzel, 1983; Esteves, 1998). Os resultados das medidas de temperatura da água em sub-superfície (cerca de 5-10 cm de profundidade) (Figura 4), a um metro (Figura 5) e três metros (Figura 6) de profundidade mostram que a variação mais significativa ocorre entre a sub-superfície e as demais profundidades estudadas.

Na sub-superfície (5-10 cm) a temperatura da água apresentou a maior amplitude térmica ao longo de todo o corpo hídrico, concordando com Hutchinson (1957) e Esteves (1998) (Figura 4). Os pontos amostrais P-04, P-07 e P-19 apresentaram as menores temperaturas, possivelmente devido à contribuição dos tributários ao maior volume de água no ponto P-04. Especialmente no P4 isso ocorre provavelmente devido ao maior volume de água. O ponto P-02 apresentou

maior temperatura, e de acordo com a inspeção de campo, corresponde a uma área de baixa turbulência. Esta área está abrigada em três quadrantes (oeste-nordeste) em função do relevo colinoso do entorno, sendo que o vento apenas consegue agir neste compartimento se tiver origem do sul (S) (Figura 4).

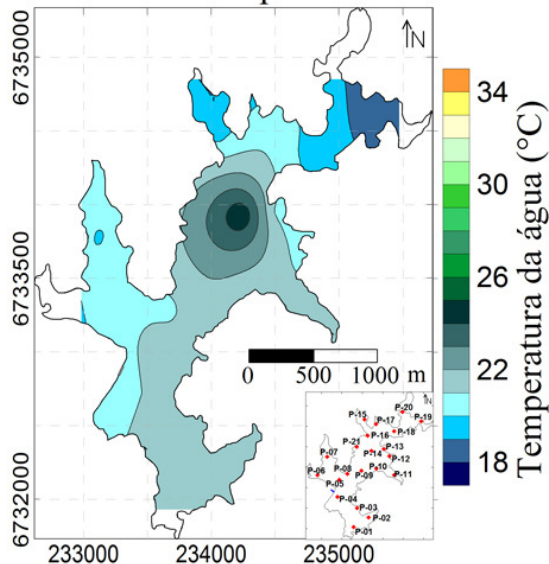


**Figura 4** - Variação da temperatura da água do reservatório Rodolfo Costa e Silva em sub-superfície.

Considerando a profundidade de um metro as medidas mostraram um pequeno deslocamento da maior temperatura para o setor do ponto P-14 e a menor temperatura foi verificada no ponto P-19 (Figura 5). Novamente, a menor temperatura da água foi verificada numa área de captação de água. Cabe destacar que os valores do ponto P-14 para a temperatura a 1 m de profundidade, apesar de também ter sido verificada uma variação da condutividade elétrica, possivelmente estejam associados a erros de leitura na hora da coleta ou mesmo uma falha do equipamento. Num outro contexto, verifica-se que a profundidade do

reservatório nessa região (P-14) é inferior e pela diferença de densidade da água aos outros pontos, o que pode ter (Wetzel, 1983; Esteves, 1998). contribuído para um maior aquecimento.

### Temperatura da água a um metro de profundidade

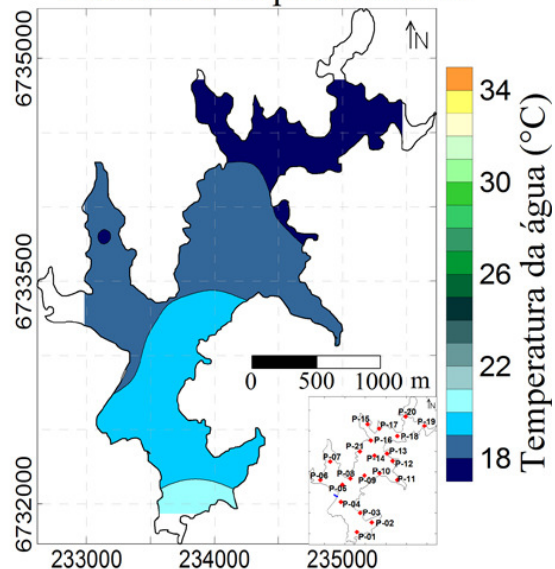


**Figura 5** - Variação da temperatura da água do reservatório Rodolfo Costa e Silva a um metro de profundidade.

Observando a Figura 6, referente à temperatura da água a três metros de profundidade, verifica-se o deslocamento do ponto de maior temperatura para os setores dos pontos amostrais P-01 e P-02. Esses dois pontos se caracterizam por apresentar a maior profundidade do reservatório (não medida). As menores temperaturas permanecem no ponto P-19, bem como nos demais pontos de captação de água do meio terrestre. Ressalta-se que a amplitude térmica da água diminuiu com o aumento da profundidade, fato que era esperado (Wetzel, 1983; Esteves, 1998). As variações setoriais da temperatura da água com a profundidade, conforme apresentado na Figura 6 podem estar associadas à dinâmica interna do reservatório, destacando o efeito da turbulência, induzido pelo vento superficial

As variações de temperatura da água induzem mudanças na condutividade elétrica da água (Figuras 7-8-9). Contudo, outros fatores também devem ser considerados na análise da condutividade elétrica da água, como a quantidade de matéria orgânica e inorgânica dissolvida. A condutividade elétrica da água foi aferida em três profundidades mostrou que em sub-superfície se destacam dois pontos de mínima condutividade, referentes aos pontos P-14 e P-20, sendo que a maior condutividade se distribui pelos demais setores do reservatório (Figura 7).

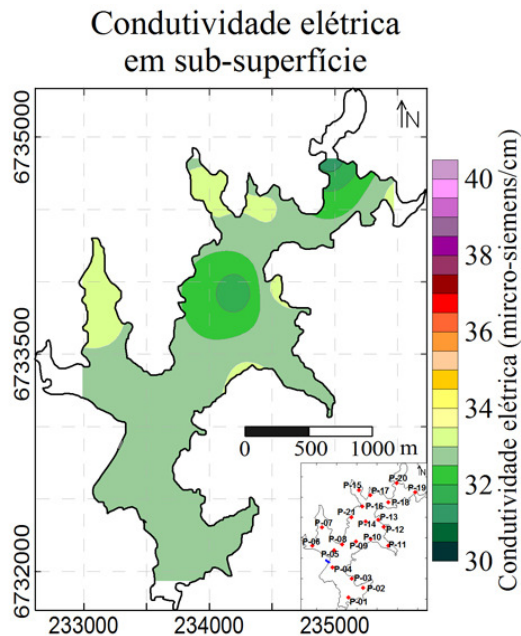
### Temperatura da água a três metros de profundidade



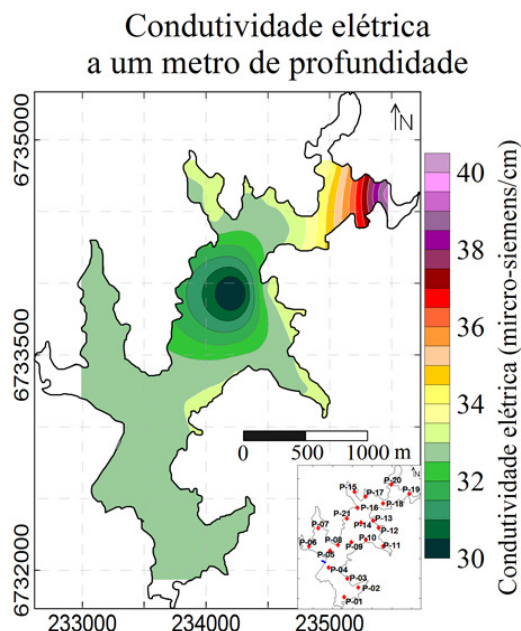
**Figura 6** - Variação da temperatura da água do reservatório Rodolfo Costa e Silva a três metros de profundidade.

A um metro de profundidade ocorre uma mudança espacial nas características da condutividade elétrica, considerando que a maior condutividade passa a ser verificada no ponto amostral P-19 (Figura 8). Destaca-se que ocorre uma homogeneização da condutividade elétrica nos demais pontos, destacando o ponto P-

13, que apresenta a menor condutividade elétrica.



**Figura 7** - Variação espacial da condutividade elétrica da água do reservatório Rodolfo Costa e Silva na profundidade de sub-superfície (aproximadamente 10 cm).



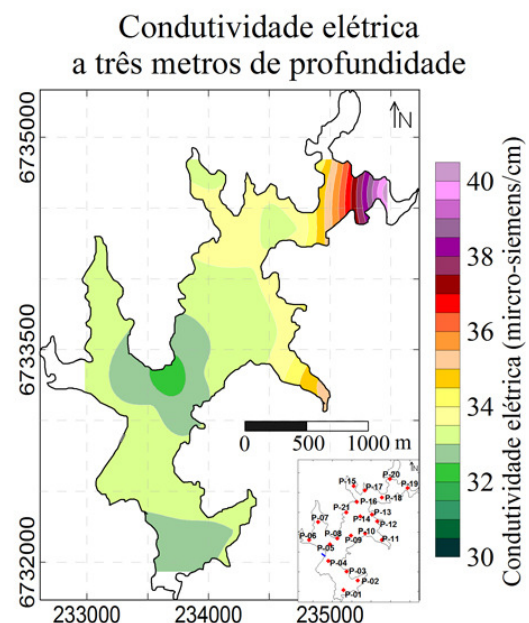
**Figura 8** - Variação espacial da condutividade elétrica da água do reservatório Rodolfo Costa e Silva na profundidade de um metro.

A Figura 9, referente ao mapa de condutividade elétrica a 3 metros de

profundidade, mostra uma grande semelhança com o comportamento da condutividade elétrica a um de profundidade, entretanto destaca-se o deslocamento do ponto de mínima condutividade, que a 3 metros de profundidade ocorre no ponto P-08.

Considerando os dados de condutividade elétrica, verifica-se uma tendência de aumento da condutividade nos pontos P-19 e P-20. Este fato pode estar associado à maior presença de matéria orgânica nestes setores, a presença de troncos submersos e ainda de plantas aquáticas emersas e uma maior entrada de material trazido do ambiente terrestre.

A relação entre temperatura e condutividade elétrica apresentou um coeficiente de correlação de Pearson de  $r = -0,736$  ( $\alpha = 0,01$ ) para a profundidade de um metro. À medida que a temperatura aumenta verificou-se uma tendência de diminuição da condutividade elétrica, fato associado à expansão molecular da água, ou seja, aumenta a resistência dielétrica da água.

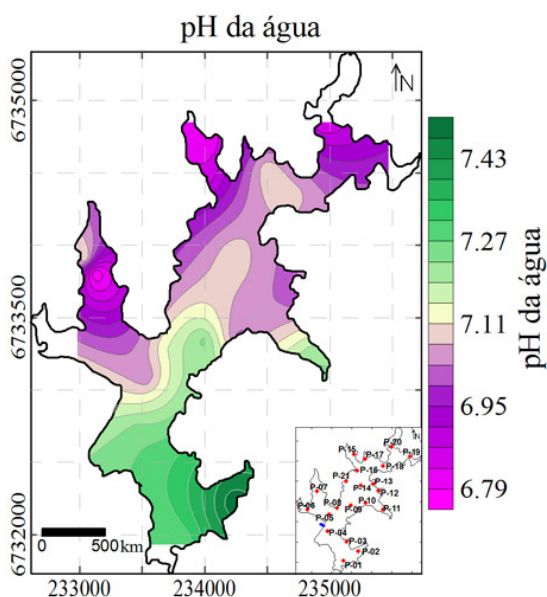


**Figura 9** - Variação espacial da condutividade elétrica da água do reservatório Rodolfo Costa e Silva na profundidade de três metros.



Uma análise conjunta de toda a área em estudo mostra que o pH da água pode ser considerado neutro (Hutchinson, 1957; Esteves, 1998), visto que varia de 6,75 a 7,55. Estas características estão associadas à litologia da bacia de captação, ao total de matéria orgânica e ao fluxo de afluentes (Esteves, 1998). Apesar da pequena amplitude, é possível identificar maiores valores de pH nos pontos amostrais P-01, P-02, P-03 e P-04 (Figura 10), correspondente à margem onde predomina o uso agrícola.

Os menores valores de pH são encontrados nos pontos amostrais P-07, P-15 e P-20 (aproximadamente 6,8) Nos pontos P-07 e P-15 verificaram-se as menores quantidades de TSS (Figura 11) e maior transparência da água (Figura 12), assim, uma forte correspondência não foi identificada para o ponto P-20, onde ocorre uma maior concentração de TSS e menor transparência da água. O pH médio do reservatório foi de 7,08.



**Figura 10** - Variação espacial do pH da água do reservatório Rodolfo Costa e Silva medido em sub-superfície (aproximadamente 10 cm).

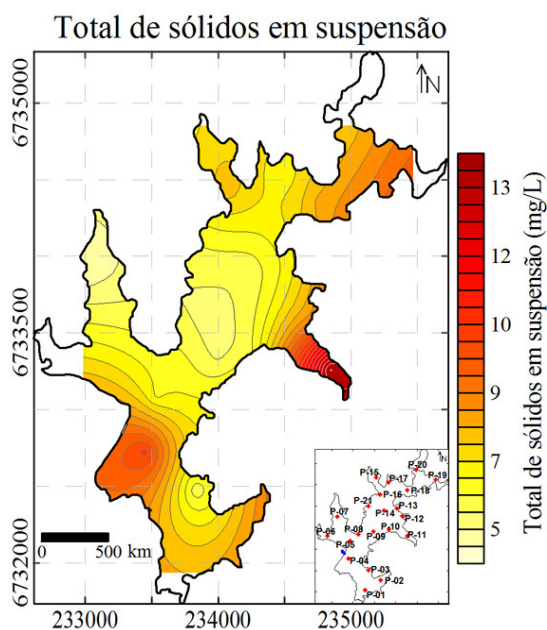
Observando-se o mapa de pH da água, percebe-se a existência de dois grandes compartimentos em termos de pH da água, apesar da pequena amplitude do pH. Um compartimento com pH mais alcalino e outro com tendência a maior acidez da água. Sobre as variações de pH verificadas (Figura 10), cabe destacar que o uso da terra predominante na margem direita do reservatório é de pastagens e que no lado esquerdo do reservatório há uma predominância de áreas agrícolas, com destaque para o plantio de trigo e soja. A forte presença da pecuária no centro a oeste da bacia hidrográfica pode estar influenciando o pH da água, visto que considerando a condutividade elétrica da água (Figuras 7-8-9) este fenômeno também é observado.

As medidas do TSS nos 21 pontos amostrais evidenciaram uma concentração diferenciada ao longo do reservatório (Figura 11). Três setores apresentam concentrações de TSS superiores a 10 mg/L (apenas a sub-superfície foi amostrada). A concentração média de TSS no reservatório foi de 192 mg/l. Um primeiro setor está localizado a noroeste do reservatório. No setor à esquerda do corpo central, no ponto amostral P-11, encontrou-se as maiores concentrações de TSS da área em estudo. Um terceiro setor se localiza no dique próximo do vertedor do reservatório (P-04). A maior concentração de TSS nos dois primeiros setores descritos é dada pelo fato de serem áreas de captação de água, cujo uso do solo no entorno é predominantemente agrícola, e a época da coleta dos dados ser de preparo do solo. No setor do vertedor a maior concentração de TSS parece estar associada à re-suspensão do material devido à presença de uma antiga barragem inundada e, presença de matéria orgânica com a clorofila.

Apesar de não terem sido feitas medidas discriminando os Sólidos

Orgânicos em Suspensão (SOS) e dos Sólidos Inorgânicos em Suspensão (SIS), acredita-se que a quantidade de SIS ao TSS encontrada nos dois primeiros setores, considerando o material transportado das lavouras do entorno para dentro do reservatório. No setor que engloba o dique, ou seja, a área próxima ao vertedor, representada pelo ponto amostral P-04 o TSS parece estar associado a maior concentração de SOS, especialmente clorofila. Esta maior concentração de clorofila associa-se a precipitação dos SIS antes de chegar ao dique, possibilitando maior penetração de luminosidade na água e o surgimento de uma maior concentração de clorofila.

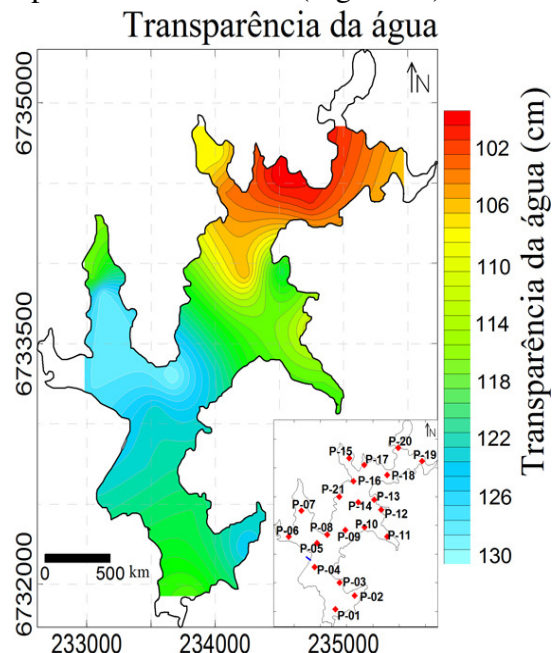
Os setores de menor concentração de TSS estão localizados no centro do reservatório e no setor à direita, junto ao ponto amostral P-07. A localização de uma área de baixa concentração de TSS no centro do reservatório remete novamente para o fato da precipitação do TSS, justificando novamente a maior concentração de clorofila no setor do dique.



**Figura 11** - Variação espacial da concentração do total de sólidos em suspensão na água do

reservatório Rodolfo Costa e Silva. Estes valores correspondem a amostras coletadas em sub-superfície.

A transparência da água nos pontos amostrais teve uma amplitude óptica de 30 cm, variando de 100 a 130 cm. A menor profundidade do disco de Secchi foi verificada o norte e nordeste do reservatório. Verifica-se uma tendência de aumento da transparência em direção ao centro do reservatório, chegando a 130 cm no ponto amostral P-08 (Figura 12).



**Figura 12** - Variação espacial da transparência da água do reservatório Rodolfo Costa e Silva.

As diferentes características de transparência da água, a exemplo o TSS (Figura 11), podem estar associadas a diferentes tipos de uso da terra nas áreas de captação dos braços do reservatório. O aumento da transparência na parte central, nos braços a sudoeste e no dique parece estar relacionado à deposição dos sólidos nas áreas à jusante, em função da diminuição da velocidade de escoamento da água. Em suma, verifica-se um aumento da transparência da água em direção a jusante do reservatório.

Considerando as relações entre a profundidade do disco de Secchi e o TSS, verificou-se uma tendência de aumento da transparência da água (Figura 12) conforme ocorre à diminuição da TSS (Figura 11), com exceção do setor do dique próximo ao vertedor, onde se registrou uma maior transparência e maior concentração de TSS, possivelmente associada à clorofila.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das variáveis limnológicas mostrou uma maior concentração do TSS no setor montante e no dique do reservatório. A maior concentração de TSS a montante parece estar associada as áreas de captação de água e a maior concentração de TSS no setor do dique parece estar associada a presença de clorofila. As medidas de transparência da água mostraram que ocorre um gradativo aumento da profundidade de Secchi de montante para jusante. Este fato possivelmente está associado à precipitação de sedimentos devido à redução da velocidade da água. A relação inversa entre transparência e TSS comentada na literatura foi evidenciada na área de estudo.

No que se refere à temperatura da água, apresentou variações com a profundidade, o que aumentou a condutividade elétrica. Considerando o pH da água verificou-se a existência de dois setores, que de acordo com a inspeção de campo parecem estar associados aos distintos usos do solo dos ambientes terrestres do entorno.

Uma análise detalhada dos dados limnológicos mostra que o reservatório apresenta dois grandes setores, tendo como limite a antiga barragem (localizada transversalmente no setor próximo ao ponto P-08). Desta forma destaca-se um

setor a jusante desta antiga barragem, apresentando maior homogeneidade e, outro grande setor, que compreende toda área a montante da barragem antiga, que apresenta as maiores variações considerando as diferentes variáveis limnológicas.

Os resultados sugerem a adoção de uma política de reflorestamento (especialmente da mata ciliar) nas sub-bacias que abastecem este setor mais a montante. Como estas sub-bacias apresentam alta taxa de uso agrícola, a adoção de técnicas conservacionistas de manejo do solo pode reduzir o carreamento de sedimentos para o reservatório. Ainda com base nos resultados, verifica-se que há uma tendência maior sedimentação na região a montante do reservatório.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradem à Petrobras Ambiental, representada pelo Centro Internacional de Projetos Ambientais – CIPAM, processo 1230, pelo apoio logístico oferecido para a realização do trabalho; a Companhia Riograndense de Saneamento – CORSAN por permitir a realização deste estudo em uma área/reservatório de sua concessão e pelo apoio nas atividades de campo. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo apoio financeiro e logístico.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, T.; Carvalho, T. 2007. Técnicas de sensoriamento remoto para classificação e quantificação do sistema lacustre do rio Araguaia entre Barra do Garças e foz do rio Cirstalino. Revista Geográfica Acadêmica, v.1 n.1, p.79-94.



- Breunig, F.M.; Wachholz, F.; Pereira Filho, W.; Rudorff, C.M. 2007. Análise das propriedades ópticas da água do reservatório Rodolfo Costa e Silva - Itaara, RS, Brasil, usando dados espectrais de campo e imagens orbitais multiespectrais. *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 2 n. 2, p. 88-102.
- Camara, G.; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M.; Garrido, J. 1996. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. *Computers and Graphics*, v.20 n.3, p.395-403.
- Carvalho, T. 2007. Quantificação dos sedimentos em suspensão e de fundo no médio rio Araguaia. *Revista Geográfica Acadêmica*, v.1 n.1, p.55-64.
- Committee on Inland Aquatic Ecosystems (CIAE) - National Research Council. 1996. *Freshwater Ecosystems: Revitalizing Educational Programs in Limnology*. Washington: National Academic Press, 364p.
- Committee on Restoration of Aquatic Ecosystems (CRAE) - National Research Council. 1992. *Restoration of Aquatic Ecosystems: Science, Technology, and Public Policy*. Washington: National Academic Press, 576p.
- Committee on USGS Water Resources Research (CUSGS-WRR) - National Research Council. 2002. *Estimating Water Use in the United States: A New Paradigm for the National Water-Use Information Program*. Washington: National Academic Press, p.190.
- Committee to Review the Glen Canyon Environmental (CRGCE) - National Research Council. 1991. *Colorado River Ecology and Dam Management: Proceedings of a Symposium May 24-25, 1990 Santa Fe, New México*. Washington: National Academy Press, 276p.
- Dekker, A.G. 1993. Detection of optical water quality parameters for eutrophic waters by high resolution remote sensing. Doctor Thesis (Hyperspectral remote sensing of water quality). Amsterdam: Vrije Universiteit, 237p.
- Dunne, T.; Board, N.R. 1998. *Hydrologic sciences: taking stock and looking ahead*. Volume 1997. Washington: National Academies Press, 138p.
- Esteves, F.A. 1998. *Fundamentos de Limnologia*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 601p.
- Fill, H.D.; Santos, I. Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão através da profundidade Secchi. Disponível em: <[lactec.org.br/publicacoes/2001/012\\_2001.pdf](http://lactec.org.br/publicacoes/2001/012_2001.pdf)>. Acesso em 27 Set. 2005.
- Garcia, L.O.; Copatti, C.E.; Wachholz, F.; Pereira Filho, W.; Baldisserotto, B. 2008. Freshwater temperature in the state of Rio Grande do Sul, Southern Brazil, and its implication for fish culture. *Neotropical Ichthyology*, v.6 n.2, p.275-281.
- Golden Software Inc. 2005. Surfer - version 8. n. 809 14th Street, Golden, CO 80401-1866. (800) 972-1021; (303) 279-1021, USA.
- Hahn, M.W.; Lünsdorf, H.; Qinglong, W.; Schauer, M.; Höfle, M.G.; Boenigk, J.; Stadler, P. 2003. Isolation of novel ultra-micro bacteria classified as action bacteria from five freshwater habitats in Europe and Asia. *Applied and Environmental Microbiology*, v.69 n.3, p.1442-1451.
- Halls, S.; Yamazaki, K. 2005. Lagos e Reservatório: Qualidade da Água: O Impacto da Eutrofização. Vol. 3. Disponível em: <<http://www.>>. Acesso em 20 Set. 2005.
- Hutchinson, G.E. 1957. *A treatise on Limnology*. v1. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1015p.
- Jobin, W. 1998. *Sustainable Management for Dams and Waters*. Boston: Lewis Publishers, 288p.
- Kerner, L.E. 2005. *Physical Oceanography Animations - Coastal Carolina University*. Disponível em: <<http://kingfish.coastal.edu/marine/Animations/>>. Acesso em 09 Setembro de 2005.
- Norling, P.; Wood-Black, F.; Masciangioli, T.M. 2004. *Water and Sustainable Development: Opportunities for the Chemical Sciences - A Workshop Report to the Chemical Sciences Roundtable*. Washington: National Academic Press, 94p.
- Observatório Espacial do Sul – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (OES-INPE). 2006. *Plataforma de coleta de dados*. Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br/PCD/>>. Acesso em 20 Maio 2006.
- Pinto, N.L.S.; Holtz, A.C.T.; Martins, J.A.; Gomide, F.L.S. 1976. *Hidrologia básica*. São Paulo: Edgard Blücher, 304p.



Silva, S. 2005. Reflexões sobre a água. Disponível em: < [higiservice.com.br/](http://higiservice.com.br/) >. Acesso em 16 Maio de 2005.

Thermo Research. Orion Conductivity. ©2008 Thermo Fisher Scientific Inc. Disponível em: < [thermo.com/com/cda/home/1,,00.html](http://thermo.com/com/cda/home/1,,00.html) >. Acesso em 27 de junho de 2008.

Wachholz, F. 2007. Compartimentação aquática do Reservatório Rodolfo Costa e Silva-RS, a partir de variáveis limnológicas e imagens orbitais. Dissertação de mestrado (Geografia). Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 97p.

Wetzel, R.G. 1983. Limnology. 2ª Ed. Philadelphia: Saunders College Publishing House, 767p.

## **GEOMORFOLOGIA E ÁREAS INUNDÁVEIS NA PLANÍCIE FLUVIAL DO ALTO RIO PARANÁ**

### **GEOMORPHOLOGY AND WETLANDS IN THE HIGH PARANA RIVER FLOODPLAIN**

Paulo Cesar Rocha  
pcrocha@fct.unesp.br

Professor Assistente Doutor do Departamento de Geografia da FCT/UNESP

#### **RESUMO**

Este estudo apresenta uma proposta de mapeamento geomorfológico das áreas inundáveis em um trecho da planície fluvial do alto rio Paraná e também as principais características morfológicas dos ambientes de canal e da planície fluvial. Foram utilizadas para este estudo, imagens de satélite de diferentes níveis hidrológicas dos rios Ivinheima e Paraná e perfil topográfico da área núcleo dos estudos. Foram também consideradas as condições de fluxo atuantes durante o registro das imagens, assim como as feições geomorfológicas na área. Como resultados, foram mapeadas 3 zonas de inundação, relacionadas aos pulsos hidrológicos destes rios, sendo elas a Zona de Inundação do Rio Paraná, Zona de Inundação do Rio Ivinheima e Zona de Inundação do Rio Baía. Os resultados também mostraram que a Zona de Inundação do rio Ivinheima é a primeira e a mais frequentemente inundada, devido à baixa topografia e diferenças nos regimes sazonais dos rios Paraná e Ivinheima.

**Palavras-chave:** geomorfologia fluvial, zonas inundáveis; planície fluvial; rio Paraná, rio Ivinheima.

#### **ABSTRACT**

This study presents a proposal for geomorphological mapping of flood areas on a stretch of Upper Paraná River Fluvial Plain, and also the main morphological channel and fluvial plain environments. For these studies were used satellite images from different hydrological level on the Paraná and Ivinheima River and topographic profile of core area. We also have considered the flow conditions at the time that the images were recorded, as well as geomorphological forms in the area. As results, were mapped 3 flood zones related to hydrological pulses of these rivers, being they Paraná River Flood Zone, Ivinheima River Flood Zone and Baía River Flood Zone. The results also showed that the flood Zone of Rio Ivinheima is the first and most often flooded due to low topography and seasonal differences in seasonal flows of the rivers Parana and Ivinheima.

**Keywords:** fluvial geomorphology, wetland zones; fluvial plain; Parana River Ivinheima River.

## 1. INTRODUÇÃO

A planície de inundação é uma feição deposicional ao longo do vale, com dois flancos adjacentes ao canal associada à um regime climático e hidrológico particular da bacia de drenagem. Os sedimentos são temporariamente estocados e erodidos ao longo da planície de inundação, e sob condição de equilíbrio ideal, a taxa de entrada de sedimentos é igual à de saída. Esta dinâmica permite que o canal sofra modificações naturais ao longo do tempo, i.e., abandono de canais, geração e destruição de ilhas, migração do canal. Este estado de equilíbrio ideal é afetado por processos naturais, como atividade tectônica, mudanças no regime hidrológico e climático. Porém, o uso da terra e demais ações antrópicas como barragens podem afetar de forma negativa estes processos naturais, levando o sistema a um estado de desequilíbrio.

Consequentemente a planície de inundação é afetada, modificando a dinâmica dos processos erosivos e deposicionais, alterando a configuração geomorfológica da planície fluvial em escala de tempo muito mais rápida que por processo natural (Leopold et al., 1964; Souza Filho, 1993; Stevaux, 1993, Rocha e Souza Filho, 1996).

Os eventos de magnitude moderada e de ocorrência relativamente frequente controlam a forma do canal. Nessa categoria, os débitos de margens plenas (débitos com recorrência entre 1 a 3 anos) surgem como os de maior poder efetivo na esculturação do modelado do canal, pois as ondas de fluxo escoam com uma ação morfogenética ativa nas margens e fundo do leito, e possuindo competência suficiente para movimentar o material detrítico (Wolman & Miller, 1960; 1974; *em* Christofolletti, 1981). Obviamente tanto a água e o transporte de sedimentos são muito importantes para o entendimento da morfologia do canal (Chorley et al., 1985).

Ultrapassado esse estágio, o rio transborda e as águas se espraiam sobre a planície de inundação, onde processos morfogenéticos específicos passam a ocorrer sobre a mesma, conforme o padrão de canal associado ao rio principal. A dinâmica fluvial originada pela inundação exerce uma grande importância na manutenção da diversidade de tipos de habitats associados à planície de inundação, como ambientes lânticos, lóticos e áreas de transição aquática-terrestre (Junk et al., 1989), cada qual representado por uma diversidade de estágios sucessionais relativos à evolução do sistema fluvial.

Um alto grau de heterogeneidade espaço-temporal, condicionada pelas várias formas que se comportam diferentemente entre as estações de inundação e estiagem faz dos ecossistemas de planícies de inundação um dos ambientes de maior riqueza de espécies. Os ecótonos (zonas de transição entre áreas adjacentes) e a conectividade (o grau de interação entre os ecótonos) são elementos estruturais e funcionais que resultam e contribuem para a dinâmica espaço-temporal de ecossistemas fluviais (Ward & Stanford, 1995). Estes elementos são diretamente afetados pelo regime hidrológico dos rios tanto no espaço quanto no tempo.

Recentemente, os conceitos físicos e biológicos da organização dos canais fluviais têm sido combinada dentro de uma aproximação mais holística, que interpreta sistemas lóticos como uma combinação interdependente entre as feições do modelado aquático e terrestre. Atualmente existem duas hipóteses primárias de como sistemas lóticos funcionam (Johnson et al., 1995): o conceito da continuidade dos rios (Vannote et al., 1980) e o conceito de pulso de inundação (Junk et al., 1989) e

pulso hidrológico (Neiff, 1990). O primeiro se refere principalmente às interações longitudinais nos canais; os dois últimos enfocam principalmente as interações laterais nos sistemas rio-planície de inundação.

Variações no nível da água nos sistemas rio-planície de inundação podem ser vistos como um regime de pulsos, consistindo de duas fases maiores distintas: aquática e terrestre. Este sistema de pulsos tem tido diferentes nomenclaturas, como o pulso de inundação (Junk et al., 1989) ou pulso hidrológico (Neiff, 1990), este último referindo aos pulsos de energia e matéria antecedentes, durante e posteriores ao transbordamento. A terminologia de Neiff é considerada mais apropriada por descrever o ciclo completo (Esteves, 1998).

Apesar da grande importância ecológica do regime de cheia nos sistemas fluviais e suas planícies de inundação, o comportamento hidrológico cíclico deve ser levado a mesmo termo, pois existe uma considerável interação de processos hidrológicos, geomórficos e ecológicos entre os canais principais e secundários (p. ex. rio Paraná, rio Ivinheima, rio Baía/canal Corutuba) durante as águas baixas, onde também se pode observar o potencial de abastecimento dos sistemas perenes e intermitentes (canais e lagoas) pelo escoamento subterrâneo e sub-superficial (corredores hiporréicos).

Como consequência desses processos, a paisagem é constantemente modificada, e diretamente interfere nos processos de sucessão ecológica (Esteves, 1998). Este trabalho consiste na delimitação de áreas inundáveis na planície fluvial do alto rio Paraná, baseados na identificação de sua geomorfologia, dos regimes de fluxo nos canais do sistema rio-planície fluvial e os processos de inundação e conectividade dos ambientes da planície fluvial.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

As principais feições morfológicas importantes nos processos de inundação e presentes no sistema rio-planície fluvial do alto rio Paraná, foram mapeadas através de interpretação de fotografias aéreas nas escalas 1:25.000 de 1970 e 1:50.000 de 1996, posteriormente aferidas no campo. As feições identificadas em meio analógico foram caracterizadas e apresentadas em figuras para representação dos diferentes ambientes fluviais. Foi também analisado um perfil topo-batimétrico na área núcleo do trabalho, elaborado por Comunello (2001), com vistas a identificar a topografia das feições mapeadas.

Para o levantamento dos dados fluviométricos, foram utilizados dados de níveis hidrométricos das estações de Porto São José (rio Paraná) e Ivinheima (rio Ivinheima) ambas da ANA (Agência Nacional de Águas), disponibilizados pela empresa Itaipu-Binacional. Estes dados foram utilizados para o entendimento da relação entre os níveis fluviométricos atingidos pelos rios e a área alagada obtida a partir da interpretação das imagens de satélite.

Também foram utilizadas imagens orbitais Landsat 5 e 7, referentes à órbita 223, ponto 76 e órbita 224, ponto 76 de diferentes datas. Devido à falta de material digital disponível para os eventos hidrológicos que caracterizam diferentes fases (estágios) de inundação, foram utilizadas para o estudo tanto composições em meio analógico como digitais. A seleção das bandas se deu de acordo com a disponibilidade da imagem e na maioria das cenas disponíveis, foram as bandas 3, 4 e 5 do sensor TM-Landsat. Foram também elaboradas as figuras com as imagens de satélite e inserido nas



mesmas os respectivos níveis encontrados nos rios avaliados.

O mapeamento da morfologia do sistema fluvial aliado ao perfil topobatimétrico e a interpretação das imagens e fotografias aéreas permitiram a identificação de zonas de influência dos sistemas fluviais e o seu mapeamento em primeira aproximação. Para tanto, foram levadas em consideração primeiramente a localização dos corpos (na calha do Rio Paraná ou na Planície Fluvial), e em segundo plano o tipo de ligação hidrológica (superficial ou subterrânea = conectado ou fechado) e a herança e estágio geomórfico dos corpos aquáticos (sucessão hídrica).

## 2.1 Área de Estudos

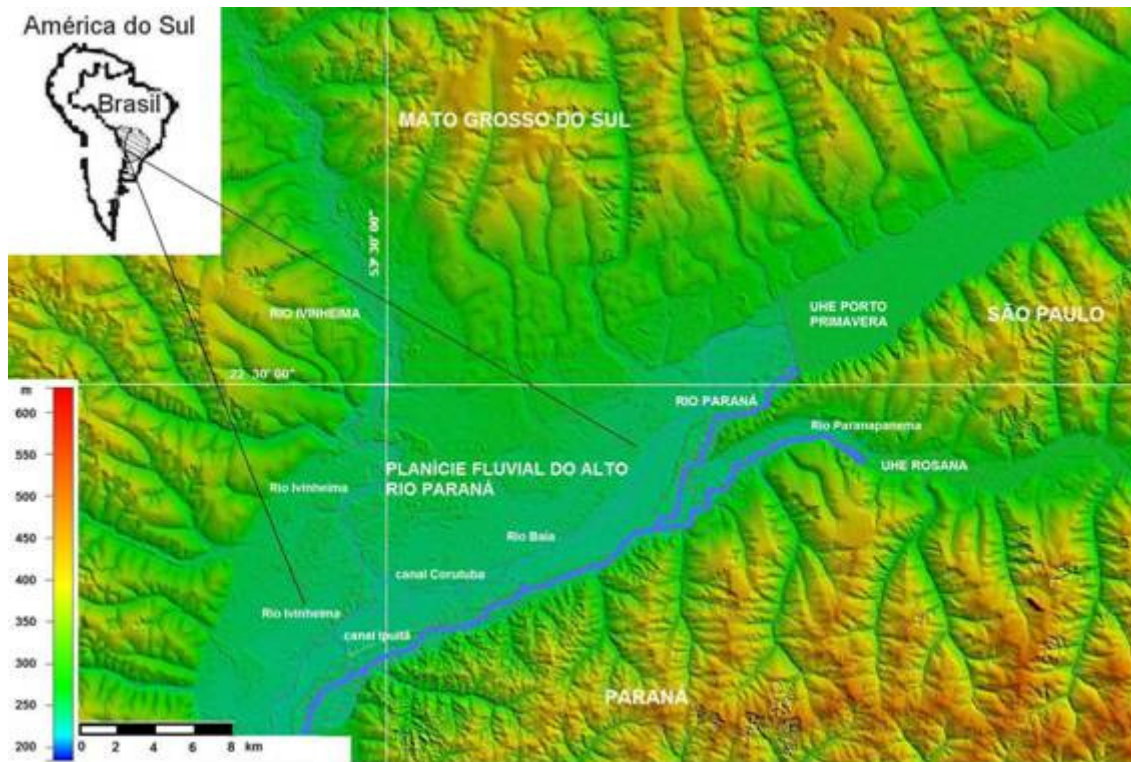
A área de estudos está localizada em um trecho do alto rio Paraná, a jusante da UHE Sérgio Mota (Porto Primavera-CESP), compreendendo a unidade geomorfológica Planície Fluvial do Rio Paraná (Figura 1).

A Planície Fluvial ou Unidade Rio Paraná (Souza Filho & Stevaux, 1997; Stevaux *et al.*, 1997) engloba a calha atual do rio Paraná e a sua planície fluvial. Constitui uma superfície plana, onde a cobertura vegetal é a principal forma de realce das formas de relevo, uma vez que as áreas altas possuem vegetação arbórea, as de

relevo intermediário são cobertas por arbustos, as áreas baixas por campos, e os baixios por formas higrófilas. As partes mais rebaixadas constituem corpos d'água, na forma de canais ativos (perenes ou intermitentes) e lagos (conectados aos canais ou não).

Na região de estudo, o rio Ivinheima é o principal afluente da margem direita. Ele adentra a planície fluvial do rio Paraná após uma inflexão à direita, acompanhando a direção da planície fluvial e sua foz se dá através de 3 canais de ligação com o rio Paraná, sendo que o primeiro está inserido na área específica de estudos.

A várzea é uma zona de inundação do canal atual, formando uma faixa que varia de 4 a 10 km de largura disposta contiguamente à margem direita do rio Paraná, possíveis de serem encobertas a partir das cheias de médias amplitudes pelo rio Paraná e parcialmente pelo rio Ivinheima. Tais amplitudes serão abordadas neste artigo mais adiante. Esta área é formada por sedimentos quaternários, na qual parte dos paleocanais é drenada perenemente pelo sistema atual de drenagem, que se desenvolve sobre um paleo-sistema fluvial anastomosado (Souza filho e Stevaux, 1997; Rocha et al., 2001).

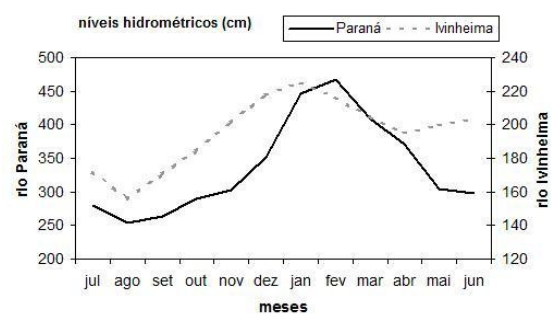


**Figura 1** Localização da área de estudos. Trecho Porto Primavera – Foz do rio Ivinheima. Recorte de imagem SRTM, Carta SF 22 y a.

A Figura 2 mostra a média mensal histórica das estações fluviométricas da área de estudo, nos rios Paraná e Ivinheima. O período de cheia coincide com a estação de verão. O trecho remanescente da várzea do rio Paraná é o último livre de barramento existente nesse rio em território brasileiro, estendendo-se por mais de 150 km a montante de Guaíra-PR. Nas últimas décadas, a crescente demanda energética no sul e sudeste brasileiro levou a uma política pouco alternativa de construção de grandes usinas hidrelétrica (UHE), com grandes barragens, sobretudo no rio Paraná e seus principais afluentes, localizados a montante das secções tomadas para estudo. Isso gerou um efeito cascata ao longo do tempo no trecho a jusante das grandes U.H.E.s.

A superfície da planície fluvial é o resultado da evolução de um sistema anastomosado que esteve ativo antes da implantação do atual padrão de canal. As feições nela existentes são resultantes deste antigo sistema - embora existam formas

reliquiaries de outro padrão mais antigo ainda, entrelaçado - e de formas associadas aos canais atuais (Souza Filho, 1993). Os canais do rio Baía, Corutuba, que funciona como um furo, e Ipitã são aqui considerados como canais secundários.



**Figura 2** Variação mensal histórica dos níveis hidrométricos nos rios Paraná (Porto São José-PR) e Ivinheima (Ivinhema-MS).

A alternância entre os períodos de inundação e recessão das águas, resulta em grandes variações no nível da água. Tais variações promovem grandes transformações nos habitats, passando de

lêntico para lóxico, para lêntico, de terrestre para aquático, para terrestre. Os habitats da planície de inundação podem ser profundamente alterados, permanecendo diferenciados durante a fase de águas baixas, e mais similares entre si durante a fase de inundação (Thomaz et al., 1997). Independentemente da interpretação geomórfica desses depósitos, os mesmos constituem importantes ambientes do ecossistema local.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Geomorfologia Fluvial e Processos de Inundação

Na calha atual do rio Paraná, sobrepõe-se ao sistema anastomosado relictivo o sistema atual, de predominância arenosa e a um nível de base aproximadamente 3 metros mais baixo. Estes ambientes apresentam formas (feições) reliquiárias em evolução e feições atuais truncadas ou sobrepostas a depósitos anteriores (Figura 3), apresentando estágios diferentes de sucessão hídrica (Ward & Stanford, 1995), no sentido do canal para uma lagoa e desta para um brejo. Nas fotografias aéreas apresentadas nesta figura são observadas 3 morfologias distintas: A primeira (Figura 3A) associada à atual dinâmica erosivo-deposicional do rio Paraná, construída a partir da deposição de barras laterais e formação de canais secundários; a segunda (Figura 3B) apresenta lagoa sem conexão com o canal ativo, produto do estágio evolutivo de abandono de um canal maior do sistema relictivo; terceira, paleocanal reativado pela drenagem atual sobre o sistema anastomosado relictivo.

Na avaliação do perfil transversal apresentado ao longo das ilhas da calha principal do rio Paraná e a planície fluvial na região da foz do rio Ivinheima foi possível observar que esta última apresenta topografia mais baixa, presença de

paleocanais mais largos, onde predominam lagoas de maior expressão (Figura 4). Já na região da margem direita do rio Paraná observa-se uma topografia mais alta onde predominam paleo-barras entre canais. Na direção das ilhas da calha atual observa-se vários canais, alguns mais profundos que na região anteriormente citada, sob controle hidrodinâmico do rio Paraná.

O rio Paraná é o grande controlador da hidrodinâmica de todo o sistema de inundação, principalmente quanto ao nível da água na sua planície. Quando em eventos de cheia intensa, pode-se observar um comportamento diferenciado dos demais canais, devido a influência do rio Paraná nos mesmos. Entretanto o rio Ivinheima tem o seu regime levemente diferenciado do rio Paraná durante a fase de vazante, como já mencionado. A Figura 5 mostra a variabilidade dos níveis de água no rio Paraná e Ivinheima nos dez dias que antecederam a aquisição das imagens orbitais. Os pulsos hidrométricos indicam qual dos dois rios influenciavam mais numa possível inundação, conforme exposto no enunciado da figura.

Quando o rio Paraná está em regime de cheia, a foz dos afluentes ficam afogadas, apesar de terem seu nível hidrométrico elevado, a velocidade de fluxo de água diminui podendo também ocorrer inversão do fluxo (Rocha, 2002). A inversão do fluxo ocorre nos canais do rio Baía, Ipitã, e raramente no Corutuba.

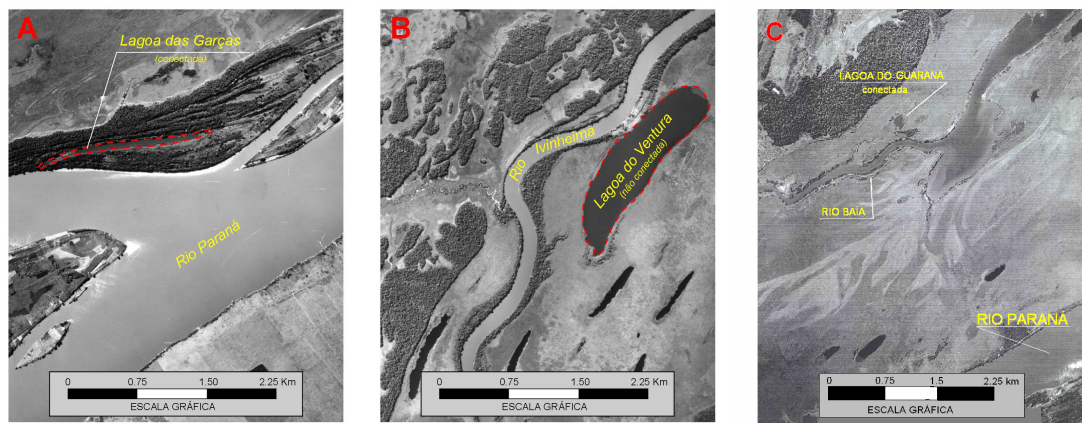
A maior ou menor intensidade desse efeito depende do relacionamento hidrométrico entre os canais que drenam a planície fluvial com o rio Paraná. Do mesmo modo, a influência na magnitude do transbordamento dos rios Paraná, Baía e Ivinheima sobre a planície fluvial. O grau de sincronização sazonal dos eventos hidrológicos entre os sistemas

fluviais e suas respectivas magnitudes, apresentará relacionamento direto com o nível de inundação e com a área afetada. Foram tomados como valores médios 350 cm para o rio Paraná e 180 cm para o rio Ivinheima, conforme observado por Rocha (2002).

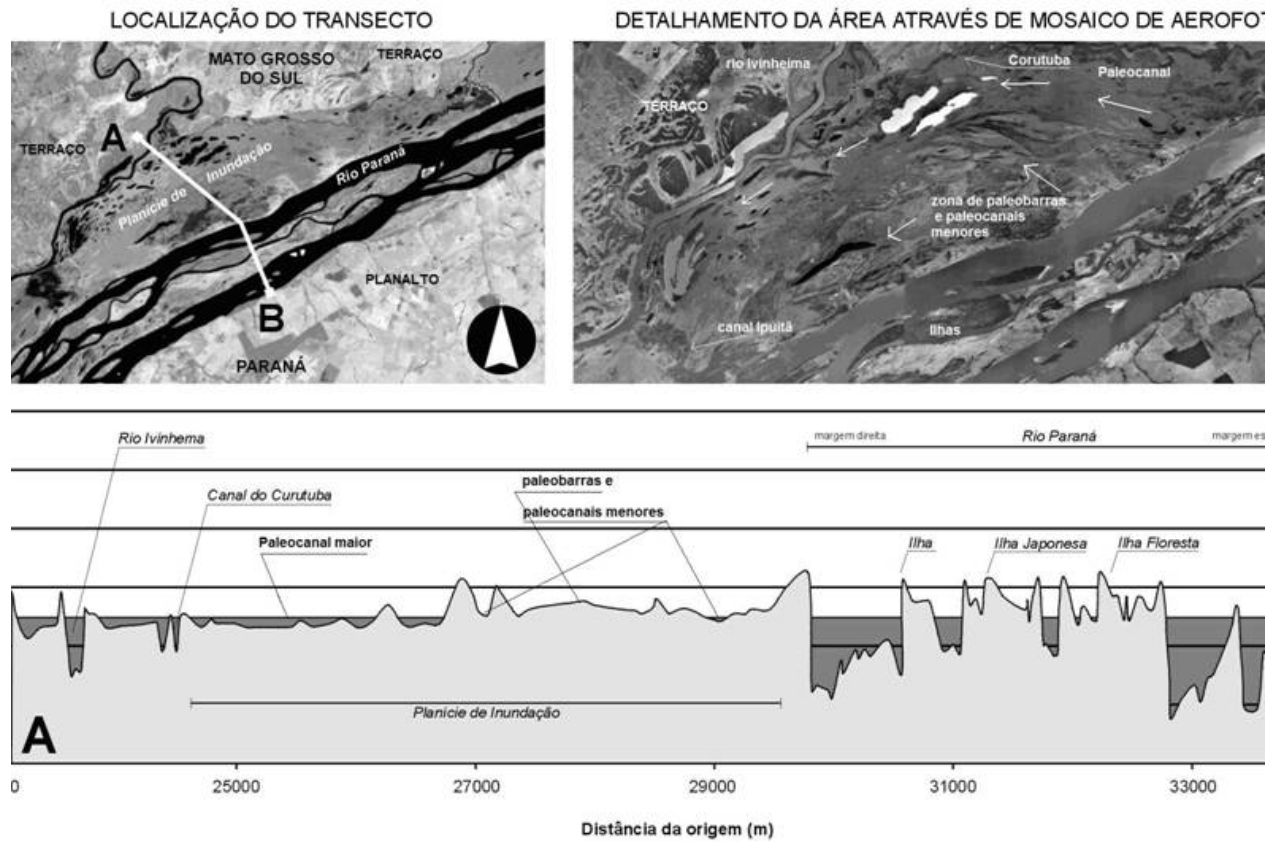
Dentre os canais secundários da margem direita (sistema anastomosado), o rio Baía/canal Corutuba sofre freqüentemente influxo do rio Paraná. Já no rio Ivinheima, tal influxo se dá com maior freqüência no período de cheia (dezembro-março). O influxo no sentido rio Ivinheima - canal Corutuba só é possível durante cheia de alta magnitude do rio Ivinheima, desde que a contribuição do rio Baía para o canal Corutuba não tenha tal proporção (Figura 6). Diferentemente, a região do canal Cortado por exemplo (canal secundário do sistema multicanal atual) tem correlação direta com o nível da água nos canais principais do rio Paraná e assim como os demais canais secundários que recortam as ilhas deste sistema, dependem exclusivamente das variações hidrométricas do rio Paraná para sofrer alagamento.

Tais interações mostram que nos ambientes aquáticos e transicionais da planície fluvial, há uma maior complexidade hidrológica para se entender a causa dos alagamentos quando comparados com os ambientes da calha principal, onde o rio Paraná atua exclusivamente. Isso influencia muito nos padrões qualitativos e quantitativos da conectividade entre os sistemas aquáticos e transicionais nessa região, assim como na sazonalidade das interações ecológicas e de evolução geomorfológica, de grande importância no entendimento funcional dos ecossistemas locais e das áreas de ecótonos.

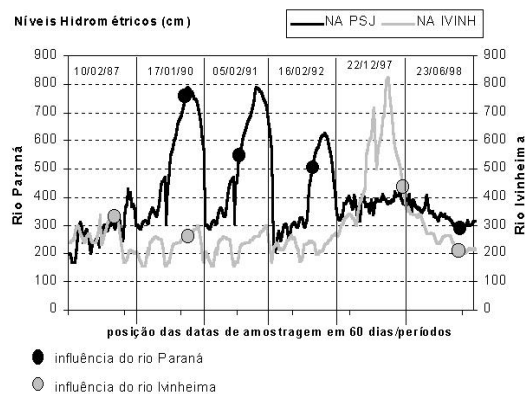
Desse modo, a flutuação dos níveis dos rios Ivinheima e Paraná, apresentados nas figuras 2, 4 e 5 em conjunto com a leitura e interpretação das imagens de satélite obtidas em diferentes momentos hidrológicos foram importantes para se entender as causas das inundações na planície fluvial, a área afetada e as diferentes magnitudes, como será discutido a seguir.



**Figura 3** - Aspectos dos corpos aquáticos na planície inundação do Alto Rio Paraná em período de águas baixas. A) Ambientes aquáticos associados à evolução da callha atual do rio Paraná. B) Ambientes aquáticos da Planície Fluvial (canal do rio Ivinheima e lagoas fechadas próximas ao canal - em destaque Lagoa do Ventura) desenvolvidos a partir da migração do canal do rio Paraná para a margem esquerda. C) Ambientes aquáticos da Planície Fluvial / canal do rio Baía e lagoa do Guaraná. Aerofotos GERCA-IBC 1970, escala original 1:25.000.



**Figura 4** - Perfil transversal topo-batimétrico do rio Paraná e detalhes das feições na planície de inundação adjacente. Fonte: adaptado de Comunello (2001).



**Figura 5** - Variação hidrométrica dos rios Ivinheima e Paraná durante a passagem do satélite cujas imagens foram avaliadas nas Figuras 6 e 7. Os círculos indicam se um ou os dois sistemas estavam acima do seu nível médio na data da aquisição da imagem.



**Figura 6** - Condições de fluxo nos canais secundários e de ligação "vaso-comunicantes".  
Fonte: Comunello (2001).

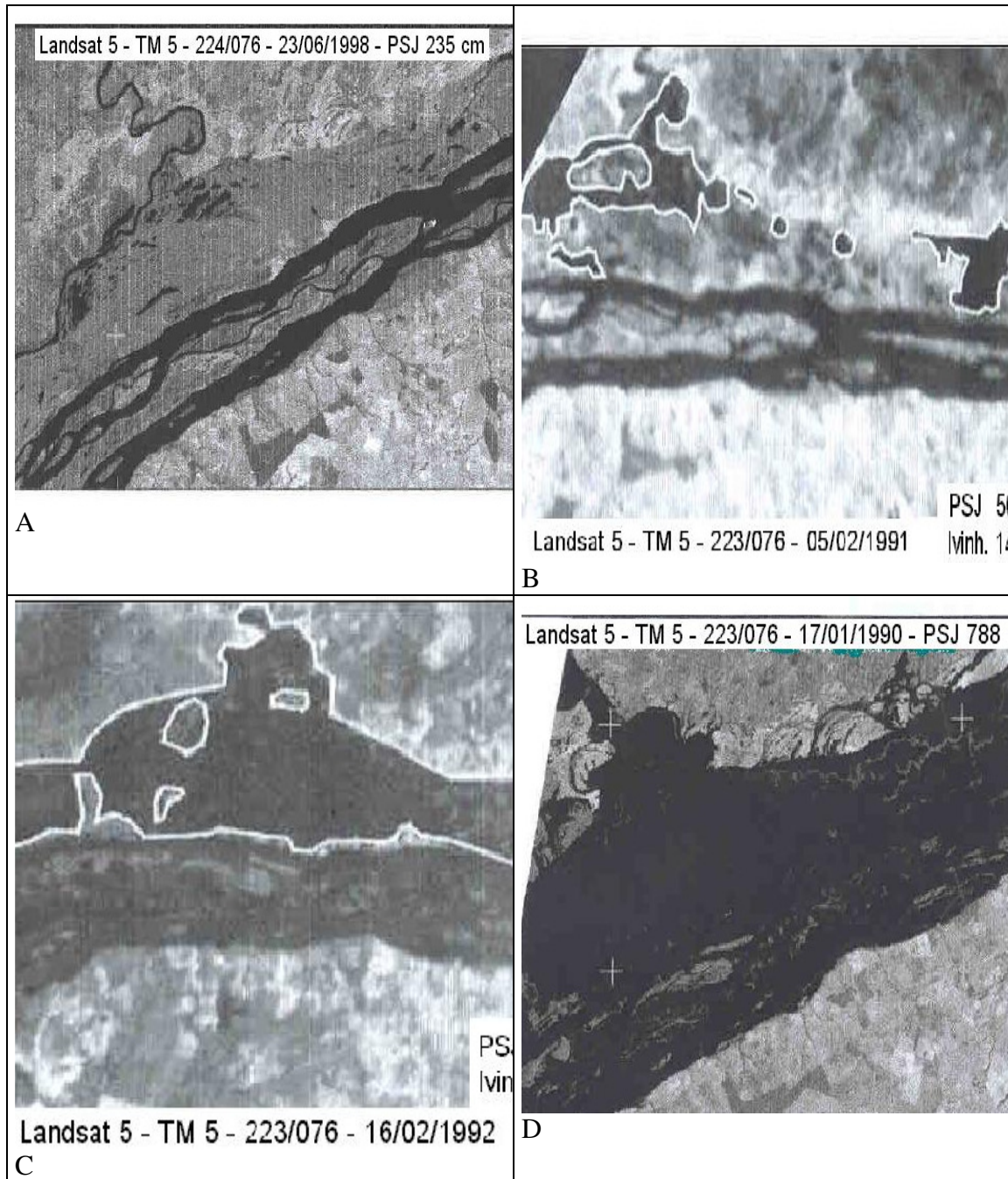
### 3.2. Influência dos pulsos hidrológicos e conectividade

Variadas condições de inundação podem se apresentar em sistemas aluviais durante um ciclo hidrodinâmico (vazante-cheia-vazante), seja ele unimodal ou bimodal. As Figuras 7 e 8 mostram as diferentes fases hidrológicas e representadas nas imagens LANDSAT, TM 5, analisadas para os rios Paraná e Ivinheima.

Considerando o pulso de cheia dos rios Paraná e Ivinheima, os reflexos de suas intensidades são representados pela área

inundada na planície fluvial. Pode-se observar que a região de contato entre o canal Corutuba e o rio Ivinheima é uma região crítica, do ponto de vista da ocorrência de inundações, pois é afetada pelas cheias dos rios Ivinheima e Paraná (Comunello, 2001). Tal área é representada por inúmeras lagoas e baixios (paleocanais) que representam os diferentes estágios de sucessão hídrica, além da drenagem pelo canal Corutuba e rio Ivinheima. Esta é a área mais baixa e por onde se iniciam os processos de inundação, tanto em cheias coincidentes entre os rios Paraná e Ivinheima, quanto em eventos isolados do rio Paraná ou do rio Ivinheima, ou ainda em chuvas intensas locais.

A Figura 7 mostra as áreas inundadas a partir dos pulsos hidrológicos exclusivos no rio Paraná. Em níveis inferiores a 460 cm, apenas os ambientes associados às barras fluviais e a paleocanais sofrem o controle do rio Paraná (Figura 7-A). As áreas alagáveis a partir de níveis superiores a 460 cm aproximadamente se restringem às áreas da calha principal, barras e canais com apenas uma ligação a jusante. Na planície fluvial à região das lagoas, nas proximidades da conexão com os rios Ivinheima e canal Corutuba. Conforme o nível do rio sobe, outras áreas começam a ser inundadas, como na região do rio Baía (Figura 7-B). Em níveis superiores a 600 cm aproximadamente, há inundação generalizada na planície fluvial, desde a região do rio Baía até a região do rio Ivinheima (Figura 7-C), porém ainda sem o transbordamento completo do rio Paraná, mas com correntes de fluxo através dos paleocanais reativados. Quando os níveis ultrapassam os 700 cm, há transbordamento sobre os diques marginais do rio Paraná e se inicia o fluxo sobre toda área inundada (Figura 7-D).



**Figura 7** - Ilustração com Imagens Landsat demonstrando a condição de **inundação** em diferentes níveis fluviométricos, provocadas exclusivamente pelo rio Paraná. PSJ se refere à estação fluviométrica de Porto São José, rio Paraná; Ivinh. à de Ivinheima, no rio Ivinheima. Ver detalhes no texto. Adaptado de Comunello (2001).

A Figura 8 mostra as áreas inundadas a partir de pulsos hidrológicos provenientes exclusivamente do rio Ivinheima. A foto da Figura 8-A mostra uma parte da região das lagoas (Lagoa dos Patos) e o rio Ivinheima na vazante, onde os dois rios estão baixos. Na Figura 8-B, pode-

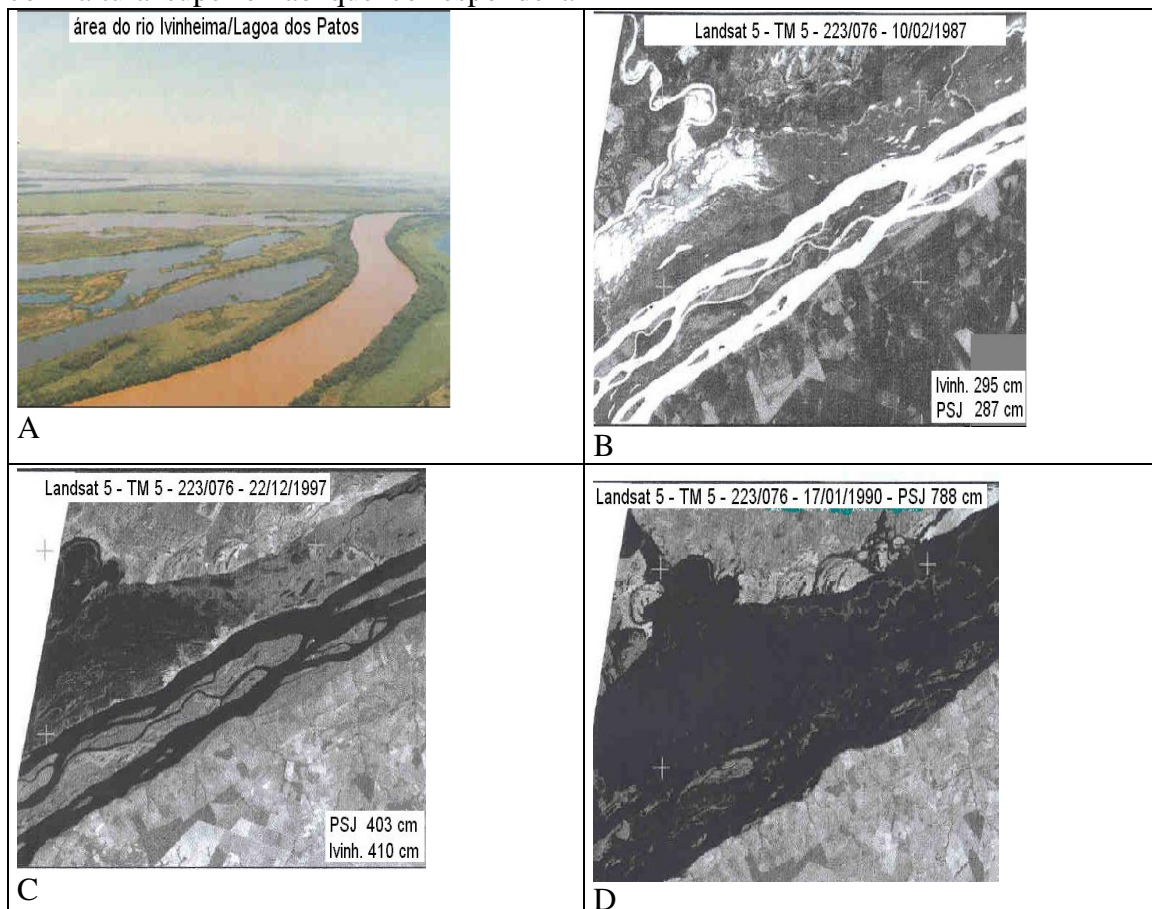
se observar uma área mais restrita, na região das lagoas e baixios, onde as inundações se iniciam em níveis fluviométricos superiores a 250 cm, aproximadamente, na régua da estação fluviométrica de Ivinheima. Quando os níveis atingem valores superiores a 400 cm, todas as áreas baixas são alagadas,

sobrando somente os diques marginais nesta região (Figura 8-C). A seqüência segue com uma cheia conjunta com o rio Paraná, com linhas de fluxo sobre a várzea (Figura 8-D).

Os rios Paraná, Baía e Ivinheima são os principais reguladores hidrológicos dos ambientes de várzea. Nesta, os corpos d'água que se mantêm com água mesmo quando os rios estão abaixo do nível médio podem ser referidos como corpos aquáticos perenes. Os que permanecem secos diante de tais situações, podem ser incorporados à zona de transição aquática-terrestre, podendo ser interpretados como intermitentes (ou temporários). Aqueles ambientes que se mantêm permanentemente emersos, só inundados em eventos extremos são algumas paleobarras e os paleodiques com altura superior ao que corresponde a

700 cm na régua linimétrica da estação de Porto São José no rio Paraná.

Existe certa variabilidade na periodicidade de ocorrência dos eventos de cheia e vazante, que geralmente são mais previsíveis em grandes rios de que em pequenos rios. Também a intensidade das variações no fluxo respondem da mesma forma para os dois sistemas. Nesta região, o período de ocorrência das cheias do rio Paraná ocorrem geralmente junto ou muito próximo da cheia do rio Ivinheima (dezembro a março). Entretanto, o rio Ivinheima pode apresentar um regime hidrológico bimodal, com um segundo evento de cheia, que geralmente ocorre entre o inverno e a primavera, que pode ter a mesma magnitude do período principal no verão.



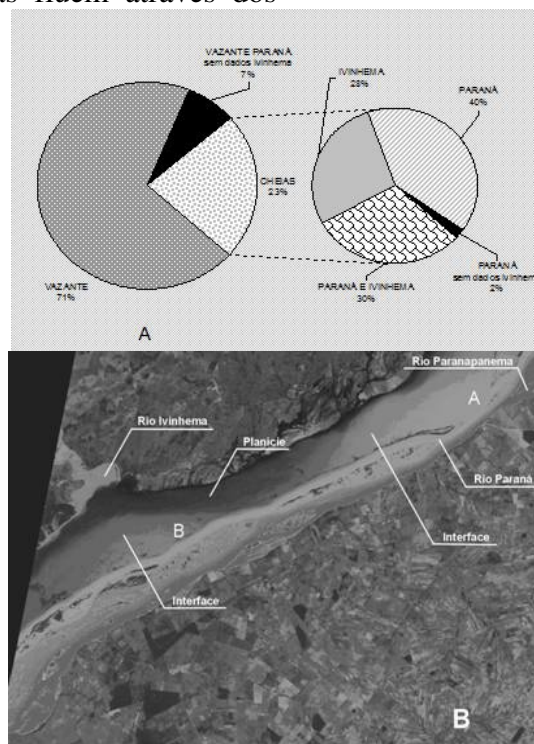
**Figura 8** - Ilustração com fotografia aérea (A) e Imagens Landsat (B, C e D) demonstrando a condição de inundação em diferentes níveis fluviométricos, provocadas exclusivamente pelo rio Ivinheima. PSJ se refere à estação fluviométrica de Porto São José, rio Paraná; Ivinh. à de Ivinheima, no rio Ivinheima. Ver detathes no texto. Adaptado de Comunello (2001).



Percebe-se então que a frequência de ocorrência das cheias nos rios Paraná e Ivinheima (Figura 9-A) pode indicar de qual ambiente fluvial os ecossistemas sofrem maior influência, e qual área é afetada. Como mencionado anteriormente (Figuras 7 e 8), os dois rios citados assumem forte controle hidrológico na dinâmica dos ecossistemas aquáticos e transicionais dessa parte da Planície Fluvial, entretanto a sazonalidade do controle pode ser diferente. Por outro lado, os processos locais, autogênicos, assumem maior eficiência durante o período de vazante. As águas dos diferentes canais do sistema podem se misturar com diferentes intensidades provenientes do transbordamento dos rios Paraná e Ivinheima, devido à interferência da topografia atual sobre o escoamento, e de processos de rompimento de dique provocados pela energia da água durante tais eventos. As águas fluem através dos

canais interligados com maiores velocidades, e sobre a várzea, por rompimentos de diques, em menores velocidades, quando em cheias de grande magnitude. Tais fatos acabam por provocar diferentes intensidades no processo de homogeneização das características físicas e químicas das águas, provenientes dos canais e da várzea inundada, e por conseguinte interferir na biota da área inundada.

Durante cheias extremas, há um deslocamento das águas do rio Paraná no sentido da várzea, que fica parcialmente misturada na porção esquerda e pouco misturada na porção direita (região dos paleocanais reativados), mais baixa, justamente onde estão presentes os canais do rio Baía e Corutuba, que drenam inúmeras lagoas e ambientes de brejos e várzeas, ricos em material orgânico e compostos húmicos (Figura 9-B).



**Figura 9-** Aspectos de Transbordamento no trecho multicanal do Alto Rio Paraná. A) Distribuição da frequência com que os rios Paraná e Ivinheima provocam inundação na "área núcleo" da planície fluvial. B) Alterações nas características físico-químicas das águas durante uma cheia de grande magnitude; A e B nesta figura indicam locais de rompimento de dique marginal e entrada das águas do rio Paraná na Planície. Fonte: Comunello (2001).

A coloração mais escura deve estar indicando maior presença de compostos húmicos, derivados dos ambientes de várzea. A coloração mais clara indica diferentes intensidades de material particulado (principalmente inorgânico) em suspensão, derivados dos processos de escoamento superficial nas vertentes e carregados para os rios Paraná e Paranapanema, os quais drenam regiões de diferentes litologias e tipos de solos a montante.

No entanto, quando os eventos não são tão intensos, torna-se mais complicado a delimitação das áreas e o entendimento dos processos geo-ecológicos conduzidos pelas inundações. Adiante tais eventos serão discutidos separadamente, considerando-se os eventos hidrológicos do rio Paraná e do rio Ivinheima.

De qualquer modo, considerando os diversos estágios dos corpos aquáticos presentes no sistema, é importante frisar que, dependendo do objetivo do estudo, maior importância pode ser dada tanto à frequência de eventos de transbordamento (altos fluxos), quanto aos de vazante (baixos fluxos). Do ponto de vista da evolução geomórfica, os eventos de cheia são responsáveis pela esculturação das formas no canal e pelos processos geomórficos que conduzem aos estágios de sucessão hídrica (e/ou evolução geomórfica). Já do ponto de vista ecológico, os eventos de cheia podem homogeneizar os ambientes e conectá-los (Thomaz et al., 1997). Os extremos mínimos, por outro lado, apresentam pouca atividade geomórfica, porém podem ser fator limitante para as espécies que necessitam da manutenção de água nos ambientes lênticos do ecossistema rio-planície de inundação, além de interferirem nas rotas de migração de várias espécies, desencadeando outros processos sucessionais.

A região das lagoas, se apresenta como a primeiramente inundável e a que mais frequentemente é inundada. Assim, a frequência dos processos geomórficos e ecológicos desencadeados pelo pulso de

cheia é maior do que nas demais áreas da região estudada.

### 3.3. Zoneamento das áreas inundáveis

Com base na frequência espaço-temporal dos processos hidrológicos e na morfologia do sistema rio-planície de inundação aqui mencionados, pode-se avaliar tal frequência para os processos ecológicos. Para tanto, deve ser considerado o grau de conexão entre os corpos d'água existentes no sistema, sejam eles ambientes fluviais (lóticos), os dos canais secundários da margem direita (sazonalmente lênticos), assim como lagoas conectadas e não conectadas aos canais (lênticos), e das áreas periodicamente alagadas (como a zona de transição aquática-terrestre descrita por Junk et al. 1989), frente às condições hidrológicas de controle (pulso hidrológico e/ou precipitação local).

Uma variedade de habitats associados a este sistema rio-planície fluvial foram anteriormente reconhecidos entre Porto Primavera e Porto 18, como integrantes das morfologias das planícies de inundação, como os brejos, os baixios, os alagadiços e as lagoas (Souza Filho, 1993), sendo os mais estudados aqueles de corpos aquáticos (Thomaz et al., 1997, Rocha, 2002). Cabe lembrar que formas que compõem uma mesma feição do relevo destes ambientes (como um paleocanal), podem ser encontradas em diferentes estágios de sucessão hidrológica e, desta forma, constituírem ambientes diferentes. Assim, o relacionamento da topografia com níveis hidrométricos é a base para o entendimento funcional dos corpos aquáticos, transicionais e terrestres neste sistema.

O relacionamento entre os níveis hidrométricos, perfil topográfico e a interpretação de imagens de satélite e

fotografias aéreas possibilitou a identificação de corpos d'água perenes (canais e lagoas) e temporários (lagoas e baixios). Porém é necessário melhor instrumentação de monitoramento hidrológico na área para se poder detalhar melhor os processos hidrodinâmicos, com a instalação de linígrafos e piezômetros distribuídos pela área, a dizer, no subsistema rio Baía, subsistema canal Corutuba e subsistema baixo rio Ivinheima. Assim se poderá inferir melhor sobre as influências nos níveis do lençol subterrâneo sobre o comportamento dos corpos aquáticos e transicionais ao longo dos eventos hidrodinâmicos sazonais.

Contudo, na análise das imagens de satélite e dos níveis hidrométricos foi possível identificar que o rio Baía tem intensa influência nos processos de alargamento quando os rios Paraná e Ivinheima não permitem o fluxo das águas pelo canal Corutuba, e devido ao afogamento deste sistema, há uma influência nos processos de inundação, aqui atribuída ao fluxo do rio Baía.

Para um melhor entendimento dos efeitos das perturbações provocadas pelos pulsos hidrológicos dos rios sobre os outros corpos aquáticos e transicionais da planície fluvial e ilhas do rio Paraná, foram mapeadas, numa primeira aproximação, 3 zonas de inundação: zona de inundação do rio Paraná - Z.I.P.; zona de inundação do rio Ivinheima - Z.I.I.; zona de inundação do rio Baía - Z.I.B.. É importante ressaltar que há sobreposição nos limites, pois algumas áreas, mais baixas, podem ser inundadas pelas águas provenientes de qualquer um dos três canais fluviais, seja o rio Paraná, o rio Ivinheima e o rio Baía. Dentre as zonas mapeadas, foram identificados cinco tipos de ambientes: dois de ambiente perenes e três de ambientes transicionais. Os ambientes perenes são compostos por canais e lagoas. Os transicionais são compostos por lagoas temporárias e brejos (Figura 9).

- Zona de Inundação do Rio Paraná, ZIP.

Canais e lagoas entre as ilhas do rio Paraná: Tais ambientes são diretamente influenciados pelas características físicas e bióticas dos canais principais do rio Paraná, e devido à diferença na intensidade das descargas fluviais não sofre influência dos ambientes da planície fluvial, a não ser durante a recessão das águas após um evento de transbordamento, ainda assim não tem sido identificado na literatura tal influência. O entendimento dos processos físicos e ecológicos devem ser interpretados de acordo com as características locais do ambiente associadas com o controle hidrodinâmico do rio Paraná. Entretanto, do ponto de vista genético, as lagoas oriundas do alargamento de paleocanais do sistema anastomosado anterior originando as ilhas, têm origem idêntica àquelas na planície fluvial, pois de modo geral se trata de um mesmo paleossistema, quando em posição topográfica similar, no entanto, quando entre as ilhas do rio Paraná são controladas pela variação hidrológica unicamente deste rio.

Ambientes da planície fluvial: A planície fluvial como um todo pode sofrer influência pelas águas do rio Paraná quando este inicia a elevação do nível hidrométrico a partir de 460 cm e normalmente o processo se inicia a partir de diques rompidos e na região das lagoas, próximo à foz do rio Ivinheima. Conforme o nível da água se eleva as demais áreas de lagoas, depõem brejos e baixios e sucessivamente até o encobrimento total da planície fluvial a partir de níveis superiores a 700 cm.

- Zona de Inundação do Rio Ivinheima, ZII.

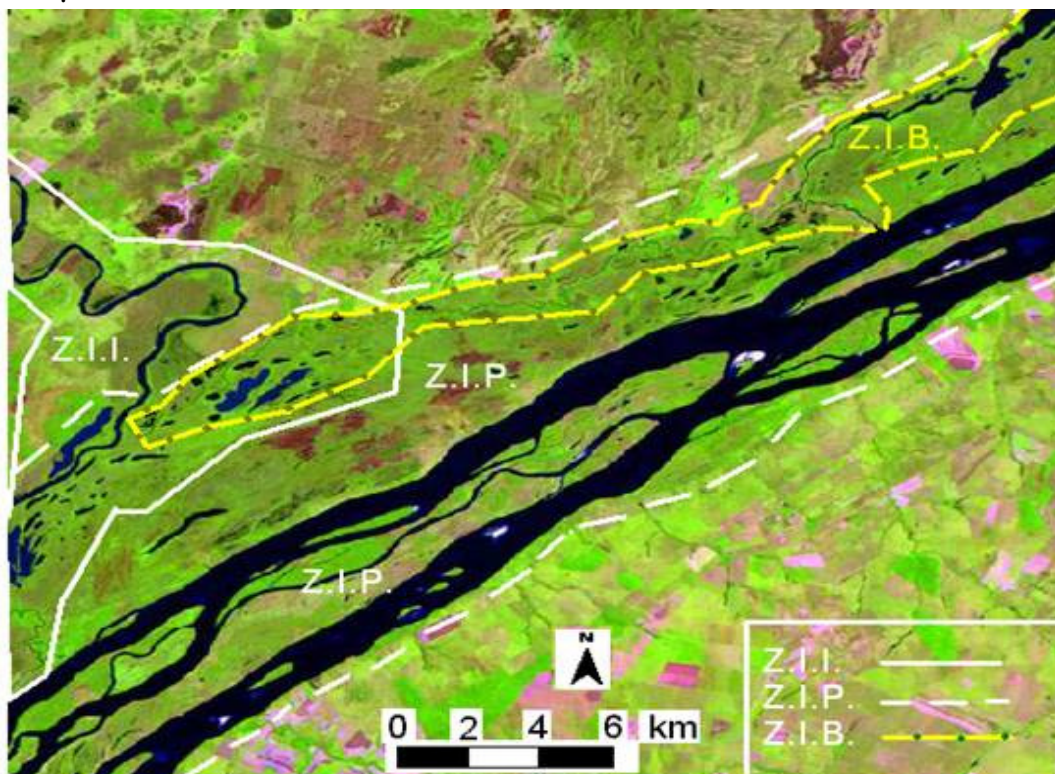
Ambientes da planície fluvial: Nesta zona, encontram-se as áreas que primeiramente são alagadas, quer seja devido a um pulso hidrológico do rio

Paraná, que seja do rio Ivinheima. No entanto, tal área tem como característica a possibilidade da bimodalidade de inundações anuais, quando as cheias dos dois rios não coincidem. Nesta área estão concentradas muitas lagoas perenes conectadas e fechadas, além de lagoas temporárias e baixios (brejos). Tal área é mais baixa em relação às demais, considerando as zonas de inundação aqui referidas, e sobrepõe-se à parte oriental da ZIP.

- Zona de Inundação do Rio Baía, ZIB.

Ambientes da planície fluvial: Em tais ambientes, há uma certa complexidade nos processos hidrodinâmicos que controlam os

ecossistemas locais. É necessária a compreensão da proveniência dos processos hidrológicos para se poder avaliar a interação com os processos locais em cada trecho deste subsistema, quer seja na região montante do rio Baía ou montante do furo ou Canal Corutuba. Nesta área são importantes os refluxos causados pela subida do nível hidrométrico do rio Paraná, as precipitações locais e o fluxo dos córregos de baixa ordem que drenam os terraços na margem direita. A entrada de água através deste sistema flui para dentro da planície através das ligações com lagoas pelo canal Corutuba



**Figura 10** - Delimitação das 3 zonas de inundação na região núcleo dos estudos. Note a sobreposição das mesmas na região das lagoas - parte mais baixa desse trecho da Planície Fluvial do Alto Rio Paraná.

Os ambientes da calha principal marginais respectivamente). Por fim, os apresentam maior conectividade (canais poucos lagos cercados por diques secundários, lagoas conectadas e lagoas das marginais e lagos em ferradura, pouco ilhas, respectivamente). Em seguida, os comuns, são menos passíveis de serem ambientes aquáticos sazonalmente lóticos e conectados.

lênticos da planície fluvial (canais, lagoas abertas e lagoas fechadas sem diques Baseando-se nos aspectos topográficos do sistema Rio Paraná-

Planície Fluvial (cartas topográficas), na análise de fotografias aéreas e imagens de satélite de diferentes períodos hidrológicos (secas, normais, margens plenas, cheias parciais, transbordamento), e a partir da correlação de dados físicos e bióticos obtidos no campo com os níveis fluviométricos (Rocha et al., 1995; Rocha e Souza Filho, 1996; Rocha, 1997; Fernandez e Souza Filho, 1995; Veríssimo, 1994; Thomaz et al., 1997; Comunello, 2001), cabe aqui apresentar uma nova aproximação quanto aos níveis fluviométricos necessários para os diferentes estágios de conectividade hidrodinâmica superficial para os ambiente da calha do rio Paraná e da Planície Fluvial, assim como das atividades geomórficas de importância nos diferentes sub-sistemas, relacionadas aos pulsos hidrológicos dos rios Paraná e Ivinheima.

### 3.5. Áreas Inundáveis e Níveis Fluviométricos

Com base na régua da estação fluviométrica de Porto São José, quatro classes de níveis de água (NA) assumem grande importância no processo de inundação na planície fluvial pelo rio Paraná (Quadro 1):

-N.A. 350 cm; a partir do qual se mantém perenes os corpos aquáticos fechados do interior das ilhas do rio Paraná, através do nível do lençol subterrâneo nestas. Abaixo deste, é possível o ressecamento de grande parte dos corpos aquáticos de todo o sistema, se sob influência do rio Paraná;

-N.A. 460 cm; cuja importância está tanto no sentido geomórfico, considerado como estágio de margens plenas (Fernandez & Souza Filho, 1995), a partir do qual as barras do rio Paraná são encobertas, apresentando recorrência de 1,09 anos, quanto no sentido da conectividade, a partir do qual pode se iniciar a entrada das águas do rio Paraná pelos canais de ligação, podendo chegar às lagoas e iniciar a

inundação da parte mais baixa da Planície Fluvial, localizada na Z.I.I.

-N.A. 600 cm; nível a partir do qual toda a planície fica encharcada/alagada, com algumas entradas por diques rompidos, porém a ZTAT ainda se mantém sem fluxo na sua maior parte, até atingir nível superior a 700 cm na régua da estação referida;

-N.A. 700 cm; nível de margens plenas naturais, cujo nível d'água atinge o topo dos diques marginais relictos na calha do rio Paraná e as partes altas da planície fluvial. A partir deste há transbordamento completo para a planície fluvial e pode haver fluxo sobre a mesma.

No rio Ivinheima (estação fluviométrica de Ivinheima-MS), os dados conhecidos até o momento permitem a identificação de 3 classes de níveis fluviométricos de importância restrita à Z.I.I. (Quadro 2):

-N.A. 215 cm; nível médio histórico do rio, suficiente para a manutenção dos corpos aquáticos perenes e transicionais com água dentro da Z.I.I., quando os níveis do rio Paraná estão próximos à sua média.

-N.A. 250 cm; nível a partir do qual se inicia a inundação da várzea da Z.I.I., mesmo com os níveis do rio Paraná abaixo dos 460 cm em Porto São José-PR. Tal inundação se dá através do transbordamento de lagoas sem diques e pela elevação do lençol freático. Tal situação é similar àquela que ocorre quando o rio Ivinheima está abaixo de 250 cm e o rio Paraná está com nível se elevando a partir dos 460 cm, descrita anteriormente.

-N.A. 400 cm; nível a partir do qual ocorre inundação generalizada na Z.I.I.; as lagoas transbordam e baixios e áreas baixas (brejos) ficam alagados. Paleocanais podem se comportar como lagoa nesta zona. Tal situação se revela similar à que ocorre quando o rio Paraná

chega aos 600 cm e o rio Ivinheima permanece abaixo de 250 cm.

É comum a ação do contra fluxo nos canais de ligação (Ipuitã e Baía), geralmente no início do pulso de cheia, dada à elevação nos níveis do rio Paraná. No entanto, em determinado estágio do pulso, um comportamento isométrico dos níveis de água nos canais se estabelece, e uma intensa contribuição do lençol freático na calha total permite que o sentido normal

do fluxo se restabeleça, com o aumento do N.A. tanto no rio Ivinheima quanto no rio Baía, a um nível altimétrico superior ao do rio Paraná. Esta situação permite que haja transbordamento local sem que haja o transbordamento no rio Paraná, e um controle local sobre os processos geológicos se estabelece regionalmente. Tal fato pode perdurar até a fase de vazante na hidrógrafa de cheia.

**Quadro 1.** Influência dos níveis fluviométricos do rio Paraná sobre as 3 zonas de inundação do sistema rio-planície fluvial.

Local	< 350 cm	> 350 cm	> 460 cm	> 600 cm	> 700 cm
<b>Z.I. Paraná</b>	É aproximadamente o nível d'água do lençol freático que pode estar abaixo do fundo da maioria dos corpos aquáticos temporários no interior das ilhas e Planície Fluvial.	Nível a partir do qual há manutenção dos corpos aquáticos da ZIP e se iniciam trocas de fluxo nos ambientes conectados.	Influência sobre os ambientes associados às barras atuais e canais secundários. Lagoas abertas podem passar a canais secundários.	Inundação parcial, possíveis depósitos de leque de rompimento de dique a partir de partes baixas das margens. Predom. das características do rio nos demais corpos aquáticos.	Transbordamento para as ilhas e planície fluvial, com fluxo sobre as superfícies. Intensificação da mobilização de formas de leito e de processos erosivos nas margens.
<b>Z.I. Ivinheima</b>	Sem influência sobre esta zona. Provável predomínio de fluxo tributário no canal Ipoitã. Processos locais e/ou dominados p/ regime do rio Ivinh., canal Corut. e/ou chuvas locais.	Possível refluxo nos canais de ligação, condicionados ao nível local. Em caso positivo, afogamento do baixo r. Ivinheima. Elevação no N.A. e diminuição das vel. fluxo.	A influência do fluxo dos canais maiores sobre os menores e lagoas se dão com maior intensidade. Início de inundação na região das lagoas (foz do Corutuba/lagoa dos Patos)	Grande influência do rio Paraná sobre os corpos aquáticos desta zona. Toda área é inundada. Em caso de cheia conjunta dos rios, pode haver manutenção do fluxo livre no Ivinheima.	Transbordamento para a planície fluvial, com fluxo sobre as superfícies. Típica mistura das características físico-químicas das águas provenientes da várzea e do rio Paraná.
<b>Z.I. Baía</b>	Influência no N.A. dos corpos aquáticos pelo lençol freático, ídem à ZIP. Provável predom. de fluxo p/ jusante na saída. Processos locais influenciados p/ chuvas locais e peq. Tributários.	Início de processos de refluxo e afogamento na parte jusante do rio. Manutenção dos corpos aquáticos tempor. na planície.	Intensificação da influência do fluxo sobre as lagoas e elevação nos níveis de água dos corpos aquáticos e do canal. O fluxo para jusante pode se restringir ao canal Corutuba.	Inundação parcial. No caso de fluxo do rio Baía para a várzea: através das partes baixas marginais e paleocanais, assim como das lagoas p/ a várzea. Intensas trocas locais.	Transbordamento para a planície fluvial, com fluxo sobre as superfícies. Típica mistura das características físico-químicas das águas provenientes da várzea e do rio Paraná

**Quadro 2.** Influência dos níveis hidrométricos do rio Ivinheima sobre a Z.I.I. (Zona de Inundação do rio Ivinheima) quando o rio Paraná não excede 350 cm.

Local	< 215 cm	>215	>250	>400
Z.I.I.	Processos locais nos amb. sem conexão.Possível ressecamento em amb. aquáticos desta zona, caso o freático abaixo muito seu nível.	Conexão com o rio Ivinh. nos ambientes abertos. Nos demais ambientes, ocorrência de processos locais.	Influência do rio Ivinheima com maior intensidade. Início de inund. na região das lagoas (saída do Corut./L. Patos)	Grande contib do rio Ivinheima nas trocas na fase de enchimento. Grande contrib. dos amb. Inund. para os canais na fase de vazante

Do ponto de vista temporal (diário, semanal, mensal ou sazonal), cabe incorporar a estes biótopos os conceitos de “limnofase” (ambiente lântico) e “potamofase” (ambiente lótico) no que diz respeito ao comportamento funcional sazonal dos subsistemas aquáticos (Neiff, 1990), porém com o devido cuidado a respeito aos ambientes reguladores (hidrometria dos canais ou pluviometria local) e com as variações hidrométricas dos canais em relação à posição topográfica dos corpos aquáticos (conectividade espaço-temporal).

Tais prerrogativas exercem grande importância na definição e delimitação das áreas mais ou menos afetadas (influenciadas) por uma determinada magnitude de pulso hidrológico no sistema, assim como dos processos ecológicos decorrentes. No entanto, um cuidado deve ser tomado quanto a proveniência do pulso – canal principal (rio Paraná) ou tributário (rio Ivinheima), ou ainda precipitação local, quando se considera o sistema de inundação do Alto Rio Paraná.

Neste sentido, é de fundamental importância o entendimento dos processos hidrológicos envolvidos nos ambientes em estudos, como a relação entre o nível da água e as velocidades de fluxo, as variações hidrométricas em uma sequência anterior e posterior ao período de amostragem (p. ex. últimos 15 dias e os 15 dias posteriores), e o sentido do fluxo no momento da

amostragem, para se compreender o relacionamento momentâneo de tais variáveis.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A geomorfologia e a hidrodinâmica assumem grande importância na estrutura e função dos ecossistemas rio-planície de inundação. Existe um alto grau de heterogeneidade espaço-temporal nos processos geomórficos e hidrodinâmicos nestes ecossistemas. Isso gera uma grande diversidade de habitats e ecótonos, cuja dinâmica fluvial originada pela inundação é responsável pelos diferentes estágios sucessionais dos ambientes aquáticos e transicionais. Com referência à alternância do regime hidrológico e à geomorfologia do sistema, a zona de transição aquática-terrestre se apresenta como ambiente terrestre no período de águas baixas, e como área inundada, no período de águas altas.

As zonas de inundação ZIP, ZII e ZIB apresentam áreas em sobreposição. Elas representam as áreas por onde os pulsos hidrológicos dos canais escoam. Parte da ZII se apresenta como a primeira área a ser inundada nesta região, quando ocorre um pulso hidrológico do rio Ivinheima, ou do rio Paraná, nos níveis acima de 250 cm e 460 cm nas estações fluviométricas dos rios Ivinheima e

Paraná respectivamente. Tal área é mais baixa, devido a maior presença de paleocanais mais largos, os quais se apresentam atualmente como lagoas e brejos.

Quanto à sazonalidade das inundações, a ZII é a mais frequentemente inundada, pois sofre os efeitos dos pulsos do rio Paraná, geralmente no verão, e do rio Ivinheima, geralmente na primavera e no verão.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES/CNPq, CNPq/CT-Hidro e à FAPESP pelo apoio financeiro; à UNESP pelo apoio logístico, ao GEMA, DAG, NUPELIA e PEA da UEM.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chorley, R.J.; Schumm, S.A.; Sugden, D.E., 1985. *Geomorphology*. Methuen, Inc., New York, 607 p.
- Christofoletti, A., 1981. *Geomorfologia Fluvial*. Edgard Blucher. São Paulo.
- Comunello, E., 2001. *Dinâmica de Inundação de Áreas Sazonalmente Alagáveis na Planície Aluvial do Alto Rio Paraná*. Dissertação de Mestrado. UEM/CBS/PEA, Maringá-PR. 47 p. inédito.
- Esteves, F.A., 1998. Considerations on the Ecology of Wetlands, With Emphasis on Brazilian Floodplain Ecosystems. In: Scarano, F.R. e A.C. Franco (eds.). *Ecophysiological Strategies of Xerophitic and Amphibious Plants in the Neotropics*. Séries Oecologia Brasiliensis, vol IV. PPGE-UFRJ. Rio de Janeiro, Brazil.
- Fernandez, O.V.Q. e Souza Filho, E.E., 1995. Efeitos do regime hidrológico sobre a evolução de um conjunto de ilhas no rio Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, ed da UFPR, Curitiba, n° 43, p161-171.
- IBGE., 1990. *Geografia do Brasil, Região Sul*. Vol. 2. Rio de Janeiro-RJ.
- Itaipu Binacional., 1994. *Boletim Informativo*. Foz do Iguaçu-PR.
- Johnson, L.J., Richardson, W.B. e Naimo, T.J., 1995. Past, Present, and Future Concepts in Large River Ecology. *BioScience*, 45. N.3., 134-141 pp.
- Junk, W.J.; Bayley, P.B. e Sparks, R.E., 1989. The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems. In: D.P. Dodge (Ed) *Proceedings of the International Large River Symposium*. Can. Spec. Public. Fish. Aquat. Sci., 106. 110-127 pp.
- Leopold, L.B., Wolman, M.G. e Miller, J.P., 1964. *Fluvial processes in geomorphology*. Freedman, San Francisco, 319 p.
- Neiff, J.J., 1990. Ideas Para la Interpretacion Ecologica del Parana. *Interciencia*, vol 15, n. 6. 424-440 pp.
- Paiva, M.P., *Grandes Represas do Brasil*. Brasília-DF. Editerra. 1982.
- Petri, S. e Fúlfaro, V.J., 1983. *Geologia da Chapada dos Parecis, Mato Grosso, Brasil*. *Rev. Brasil. Geociênc.*, n. 7.
- Poff, H.L., Allan, D., Bain, M.B., Karr, J.R., Prestegard, K.L., Richter, B.D., Sparks, R.E., e Stromberg, J.C., 1997. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. *Bioscience*, vol. 47, n. 11. P. 769-784.
- Rocha, P.C.; Fernandez, O.V.Q.; Souza Filho, E.E. 1995. *Abrangência de Enchentes Sobre a Planície Aluvial do Rio Paraná Entre Porto Primavera-MS e Porto Camargo-PR*. *Bol Resumos IV Simpósio de Geologia do Sudeste*. Águas de São Pedro-SP.
- Rocha, P.C. e Souza Filho, E.E. 1996. *Erosão Marginal em Canais Associados ao Rio Paraná, na Região de Porto Rico-PR*. *Boletim Paranaense de Geociências*, N 44. Ed. UFPR. Curitiba-PR.
- Rocha, P.C., 1997. *Aspectos Fisiográficos da Planície Aluvial do Alto Rio Paraná, Entre Porto Primavera-MS e Porto Rico-PR*. VII Encontro Sul-Mato-Gross. de Geógrafos. Três Lagoas-MS. Anais.
- Rocha, P. C. 2002; *Dinâmica dos canais no sistema rio-planície fluvial do alto rio Paraná, nas proximidades de Porto Rico-PR*. Tese de doutoramento – UEM/PEA. Maringá/PR,
- Rocha, P.C., Santos, M.L. e Souza Filho, E.E., 2001. *Alterações no regime hidrológico do alto rio Paraná como resposta ao controle de descargas efetuado por grandes barramentos a*





montante. VIII Encuentro de Geógr. de América Latina, Santiago-Chile, pp 28-39.

Souza Filho, E.E., 1993. Aspectos da Geologia e Estratigrafia dos Depósitos Sedimentares do Rio Paraná entre Porto Primavera (MS) e Guaíra (PR). Tese de Doutorado. Instituto de Geociências/USP. São Paulo-SP. Inédito.

Souza Filho, E.E. e Stevaux, J.C. 1997., Geologia e Geomorfologia do Complexo Rio Baía, Curutuba, Ivinheima. In: Vazzoler, A.E.A.M., Agostinho, A.A. and Hahn, N.S. (eds), A Planície de Inundação do Alto Rio Paraná. UEM-Nupelia, Maringá-PR.

Sparks, R. E., 1995. Need for Ecosystem Management of Large Rivers and Their Floodplains. *BioScience*, 45. N.3, 168-182.

Stevaux, J.C., 1993. O Rio Paraná: Geomorfogênese, Sedimentação e Evolução Quaternária do seu Curso Superior (região de Porto Rico-PR). Tese de Doutorado. Instituto de Geociências/ USP. São Paulo-SP. Inédito.

Stevaux, J.C., Souza Filho, E.E. e Jabur, I.C., 1997. A História Quaternária do rio Paraná em seu Alto Curso. In: Vazzoler, A.E.A.M., Agostinho, A.A. and Hahn, N.S. (eds), A Planície De Inundação Do Alto Rio Paraná. UEM-Nupelia., Maringá-PR.

Thomaz, S.M., Roberto, M.C. e Bini, L.M. 1997. Caracterização Limnológica dos Ambientes Aquáticos e Influência dos Níveis Fluviométricos. In: Vazzoler, A.E.A.M., Agostinho, A.An. e Hahn, N.S. (eds), ), A Planície De Inundação Do Alto Rio Paraná. UEM-Nupelia, Maringá-PR.

Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R. e Cushing, C.E., 1980. The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, vol.37. p. 130-137.

Veríssimo, S., 1994. Variações na Composição da Ictiofauna em Três Lagoas Sazonalmente Isoladas, na Planície de Inundação do Alto Rio Paraná, Ilha Porto Rico, PR-Brasil. São Carlos: UFSCar. 77 p. Dissertação de Mestrado. Inédito.

Ward, J.V. e Stanford, J.A., 1995. Ecological Connectivity in Alluvial River Ecosystem and Its Disruption by Flow Regulation. *Regulated Rivers: Research e Management*, vol. 11, 105-119 pp.



**FITOSSOCIOLOGIA, PRODUÇÃO MENSAL E RETENÇÃO  
HÍDRICA DA SERRAPILHEIRA EM FRAGMENTO DE MATA  
ATLÂNTICA: SÃO PEDRO DA SERRA/RJ**

**PHYTOSOCIOLOGY, MONTHLY OUTPUT AND WATER  
RETENTION OF THE LITTERFALL IN FRAGMENT OF  
ATLANTIC FOREST: SÃO PEDRO DA SERRA/RJ**

Karla Karina Santos da Costa  
Graduando em Geografia UERJ/FFP  
karinaalbano@yahoo.com.br

Gisele Silva  
Graduando em Geografia UERJ/FFP – Bolsista PIBIC/UERJ  
giseleshiva@gmail.com;

Jamile Constança Rocha Santos Soutelo Salgado  
Graduando em Geografia UERJ/FFP – Bolsista UERJ  
jamilgeo.rj@gmail.com

Ana Valéria Freire Allemão Bertolino  
Professor Adjunto do Departamento de Geografia da UERJ/FFP  
anaval@uerj.br

Ana Angélica Monteiro de Barros  
Professor Adjunto do Departamento de Ciências da UERJ/FFP  
angmb@uerj.br

**RESUMO**

Em São Pedro da Serra, distrito de Nova Friburgo/RJ, pequenos produtores rurais vêm substituindo a técnica de pousio pela agricultura convencional em razão das leis ambientais vigentes. A criação da APA de Macaé de Cima impôs restrições às práticas agrícolas tradicionais que havia na região. O objetivo deste estudo é avaliar a estrutura fitossociológica de três estádios sucessionais (Pousio I/4-7 anos, Pousio II/10 – 12 anos e Floresta 50 – 70 anos), a produção mensal de serrapilheira e sua capacidade de retenção hídrica para investigar a sustentabilidade dessa prática agrícola. A estrutura do componente arbóreo foi determinada através da delimitação de três parcelas em cada sistema, totalizando 480 m<sup>2</sup>. Em cada área foram plaqueados todos os indivíduos com DAP (diâmetro à altura do peito, ou a 1,3m do solo)  $\geq$  a 5 cm. Para quantificar a produção mensal da serrapilheira, foram colocadas cinco caixas coletoras com 0,50 m<sup>2</sup> em cada sistema (Proctor,1983). A capacidade de retenção hídrica foi realizada através da coleta de cinco amostras sazonais, em cada sistema, com um quadrado de ferro de 0,25 m<sup>2</sup> (Vallejo,1982). Os resultados demonstram a presença de sete diferentes espécies no POI e POII, com a mesma espécie dominante (*Machaerium stipitatum*), diferindo apenas na sua representatividade em cada sistema com 35% no primeiro e 69% no segundo. Em FL a família Rubiaceae apresentou o maior número de indivíduos

(54,3%). Das espécies exclusivas em cada área temos *Croton floribundus* em PO I, *Solanum Argenteum* em PO II e *Guapira opposita* em FL. Com relação a retenção hídrica, observou-se que FL apresentou maior capacidade (33,18%), seguido de POII (26,52%) e POI (20,38%) na estação outono. O comportamento se repete no inverno, com FL (38,47%), seguido de POII (36,75%) e POI (32,13%). A produção mensal de serrapilheira em FL apresentou maior média (19,77g), depois POI (14,99g) e POII (10g). Em relação a serrapilheira, pode-se observar um comportamento distinto que deve ser definido a partir da conclusão dos estudos fitossociológicos.

**Palavras-chave:** fitossociologia, serrapilheira, pousio, São Pedro da Serra, APA Macaé de Cima, Mata Atlântica

### ABSTRACT

In São Pedro da Serra, district of Nova Friburgo/RJ, local farmers have been replacing the slash-and-burn cultivation agriculture because of current environmental laws. Moreover, the establishment of the Environmental Protection Area in Macaé de Cima imposed restrictions on the traditional agriculture practices of the region. This paper aims at evaluating the phytosociological structure of three successional stages (Slash-and-burn I/4-7 years, Slash-and-burn II/10-12 years and Forest 50-70 years), the litterfall monthly production and its water holding capacity to investigate the sustainability of this agricultural practice. The structure of the arboreal component was determined by the delineation of three plots in each system, totaling 480 m<sup>2</sup>. In each area, all individuals were mapped by the DBH (diameter at breast height, or 1,3m of soil) to  $\geq 5$ cm. To quantify the monthly litterfall production, five collectors of 0,50 m<sup>2</sup> were placed in each system (Proctor, 1983). Five seasonal samples were collected so that water holding capacity was measured. And to measure the water retention capacity, seasonal five samples were collected in each system, with a square iron of 0.25 m<sup>2</sup> (Vallejo, 1982). Seven different species in the PO I and PO II with the same dominant species (*Machaerium stipitatum*) were found, varying only in their representation in each system with 35% and 69% respectively. In the forest, Rubiaceae family presented highest number of individuals (54.3%). Concerning the exclusive species of each area, there were *Croton floribundus* in PO I, *Solanum Argenteum* in PO II and *Guapira opposita* in forest. As for water retention in the fall, the forest presented the highest retention rate, being followed by POII (26,52%) and POI (20,38%). The winter season shows the system POII (48.02%) with higher retention, followed by FL (38.46%) and POI (25.59%). The monthly output, FL showed the highest rate (19.77 g), followed by POI (14.99 g) and POII (10g). Regarding litter, it can be seen a different behavior that can be further defined by the completion of phytosociological studies.

**Keywords:** phytosociology, litterfall, slash-and-burn, São Pedro da Serra, EPA Macaé de Cima, Atlantic Forest

## 1. INTRODUÇÃO

O quadro ambiental atual pode ser resultante das relações dos povos pretéritos com o meio. Assim a paisagem “natural” pode se tratar, na verdade de um sistema manejado durante séculos (Oliveira, 2002). Estudos científicos recentes (Barros *et al.*, 2006; Lima *et al.*, 2006; Oliveira, 2002) mostram a relevância do conhecimento das populações tradicionais e, ainda como estes povos vêm manejando o meio ambiente através, principalmente, de suas técnicas agrícolas. Dentre essas técnicas, encontra-se o sistema de pousio, ou agricultura itinerante, tradicional técnica agrícola que é uma herança deixada pelos índios (Adams, 2000). Hoje alguns povos ainda a utilizam como é o caso dos caiçaras do litoral sul do Rio de Janeiro (Oliveira, 1999) e pequenos agricultores de Bom Jardim, região serrana do Rio de Janeiro (Correia *et al.*, 2004). A criação de Áreas de Proteção Ambiental tem trazido impedimentos à prática do pousio na medida em que esta esbarra na legislação ambiental.

A Área de Proteção Ambiental Estadual de Macaé de Cima foi criada em 2001, e abrange vastas áreas dos municípios de Nova Friburgo e Casimiro de Abreu, totalizando 33.050 ha gerando uma série de restrições para as populações residentes de São Pedro da Serra, atingindo diretamente os agricultores que praticam o pousio há gerações. Eles sofrem restrições por parte do IBAMA desde 1993 com a criação do Decreto 750, que dispõe sobre o corte, a exploração e a supressão da vegetação primária em bioma de Mata Atlântica, mas com a criação da APA, a fiscalização se intensificou e as multas tornaram-se frequentes. Entretanto, o decreto 6.660/2008 revoga o primeiro e prevê a prática do pousio, abrindo a possibilidade de inclusão dessa prática nos planos de manejo das Áreas de Proteção Ambiental.

A agricultura itinerante ou migratória é a mais extensiva forma de agricultura existente, apresentando uma ampla distribuição geográfica a nível nacional e mundial, notadamente nas regiões tropicais (Correia *et al.*, 2004). Para Coutinho *et al.* (2004), este sistema de produção, tem como principal característica o uso do pousio como manejo visando a recuperação da qualidade do solo, parcialmente degradado após alguns anos de cultivo.

Segundo Coutinho *et al.* (2004), o pousio consiste em deixar o solo intocável durante um período de tempo que varia entre 4 a 16 anos, permitindo a regeneração da vegetação a partir das sementes existentes no solo ou trazidos pelo vento e animais. Ainda afirma que para este sistema possuir uma resposta positiva é necessário a manutenção de áreas florestadas nas propriedades, afim de que o tempo do pousio seja menor em vista do crescimento da vegetação secundária, permitindo a ciclagem de nutrientes, promovendo a recuperação do solo. (Andrade *et al.*, 2003).

Este sistema de cultivo mantém a sustentabilidade ambiental da exploração agrícola ao longo do tempo, já que os processos erosivos são minimizados (Oliveira, 1999). E para Kanashiro & Denich (1998), o pousio é positivo em relação ao aumento do estoque de nutrientes através do acúmulo de biomassa das plantas (depende da capacidade de crescimento e vitalidade).

Segundo Landi & Dubois (2004), a diminuição do tempo de pousio florestal acelera o processo de degradação dos solos cultivados, além de forçar a abertura de novas áreas em remanescentes focos de

florestas nativas. Correia *et al.* (2004), apontam que a duração do tempo de pousio tem influência na sustentabilidade ambiental e viabilidade econômica deste sistema, pois período muito curto conduz em uma degradação local acelerada, no entanto, se for muito longo, inviabiliza sua adoção por conta da elevada área demandada e ao aumento de custos referentes à limpeza do terreno. Os períodos de pousio longos ou curtos permitem não somente a regeneração gradual do solo, como o desenvolvimento da sucessão ecológica espontânea (em sua maioria de vegetação de capoeira) (Magalhães e Freitas, 2004; Oliveira, 1999).

Nesse contexto, o sistema de pousio na região contribui para a diminuição dos processos erosivos, na medida em que a região serrana é uma área extremamente acidentada apresentando encostas com altas declividades, o que não favorece a agricultura convencional. No que tange a conservação da Mata Atlântica, este tipo de manejo depende da existência de áreas florestadas, contribuindo, portanto para a existência de resquícios deste tipo de vegetação na área em questão.

O uso da fitossociologia na determinação da diversidade florística do componente arbóreo na área estudada torna-se relevante na medida em que contribui para a análise da serrapilheira. Segundo Santos *et al.* (2004) a composição vegetal apresenta direta influência nas taxas de deposição, acúmulo e decomposição da serrapilheira e a velocidade de decomposição e a liberação de nutrientes no solo. O comportamento da serrapilheira está diretamente relacionado à fenologia predominante das espécies que compõem os sistemas em estudo.

Com base no conflito existente em São Pedro da Serra - Nova Friburgo/ RJ, este trabalho tem como objetivo investigar

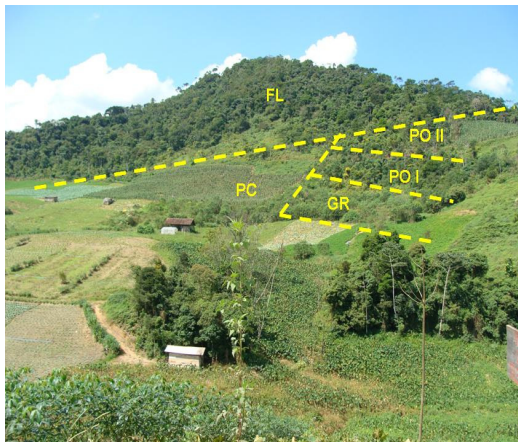
a sustentabilidade do ambiente estudado e relacionar com os resultados obtidos de estudos que estão sendo realizados sobre a produção de serrapilheira em estádios sucessionais com idades diferentes, sua capacidade de retenção hídrica comparada à estrutura fitossociológica das espécies encontradas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

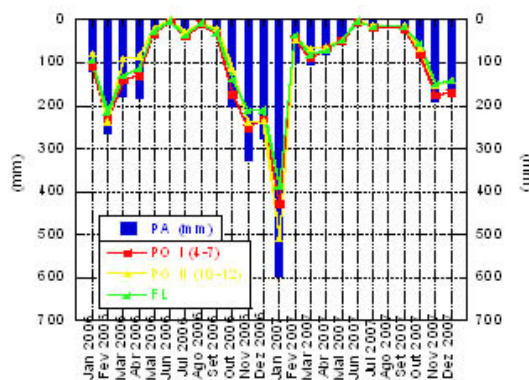
### 2.1. Área de estudo

A área de estudo está localizada em São Pedro da Serra, distrito de Nova Friburgo/RJ e conta com uma extensão territorial de aproximadamente 64,5 km<sup>2</sup>, estando aproximadamente a 700 m de altitude. Nesse cenário, observa-se ainda, montanhas da Serra do Mar, com remanescentes da floresta de Mata Atlântica (Figura 1).

A fitofisionomia original da região é caracterizada pela Floresta Ombrófila Densa Montana (Velloso *et al.* 1991), que se estende da cota de 500 até 1500 metros de altitude. O clima regional é do tipo superúmido e mesotérmico, correspondendo à designação Cfb de Köppen (Kottek *et al.*, 2006), com médias que variam entre 18°C no inverno e 24°C no verão. A média pluviométrica da área sem cobertura (P.A.) registrada na área de estudo nos anos de 2006 e 2007 foi de 1.563 mm, sendo 1.695 mm em 2006 e 1.432 mm em 2007(Figura 2).



**Figura 1-** Visão Geral da área de estudo e os diferentes estágios sucessionais: Floresta 50-70 anos (FL), Pousio de 10-12 anos (PO II), Pousio de 4-7 anos (PO I), Gramínea capim-gordura (*Melinis minutiflora*) (GR) e Plantio Convencional (PC).



**Figura 2** – Valores de precipitação em aberto acumulada (PA) e as precipitações internas acumuladas dos demais sistemas (PO I, PO II e FL)

## 2.2. Fitossociologia

A área de estudo foi inventariada quanto à composição florística através de coletas de plantas férteis e estéreis no período de outubro de 2008 e abril de 2009, segundo técnicas usuais utilizadas em levantamentos florísticos (Guedes-Bruni *et al.*, 2002). O material foi herborizado e seco a 60°C (Figura 3), para posterior identificação através de bibliografia especializada, comparações

nos herbários fluminenses (RB, GUA e HB), além de consultas aos taxonomistas especialistas. O material testemunho foi incorporado ao acervo do Herbário da Faculdade de Formação de Professores da UERJ (RFFP). A listagem florística foi organizada segundo o APG II (Souza e Lorenzi 2008) para famílias, exceto Leguminosae que foi tratada como uma única família como proposto por Polhill *et al.* (1981).

Para a análise da vegetação foram implantadas três parcelas longitudinais totalizando uma área amostral total de 480 m<sup>2</sup> em cada sistema (Pousio I/4-7 anos, Pousio II/10-12 anos e Floresta 50-70 anos). Para a demarcação das parcelas foi utilizado o método do transecto (Durigan, 2004) onde foram demarcadas duas parcelas de 50 x 4 e uma de 20 x 4 em cada sistema, visto que em pousio II não foi possível estabelecer três parcelas de 200 m<sup>2</sup> em razão da sua menor área e por isso, padronizamos esse tamanho nos outros sistemas para fins de comparação.

Nas parcelas foram analisadas espécies arbóreas com o critério de inclusão do DAP maior ou igual a 5,0 cm, medido a partir de 1,30 m do ponto de enraizamento. Os indivíduos amostrados foram plaqueados e aqueles mortos em pé, as alturas foram estimadas a partir do comprimento do podão de vara.

A caracterização dos estágios sucessionais, está sendo realizada com base na proposta de Gandolfi *et al.* (1995) onde as espécies são classificadas como pioneiras, secundárias iniciais e secundárias tardias, com base na literatura especializada e observações de campo.



**Figura 3** – Amostra desidratada – *Vernonia polyanthes* Less.



**Figura 4** – Coleta de serrapilheira sazonal com quadrado de ferro de 25 cm de lado.



**Figura 5** – Caixas coletoras de serrapilheira, segundo recomendações de Proctor (1983)

### 2.3. Serrapilheira

A fim de analisar a capacidade de retenção hídrica da serrapilheira foram realizadas coletas sazonais de cinco amostras em cada ambiente (Floresta 50-70 anos / Pousio 10-12 anos / Pousio 4-7 anos), com o auxílio de um quadrado de ferro de 0,25 m (Figura 4). As amostras secaram a 60°C e foram separadas nas frações folhas, galhos, raízes e material reprodutivo. Estas frações foram pesadas e submetidas ao teste de retenção hídrica (Vallejo, 1982). A produção mensal de serrapilheira tem sido mensurada a partir de caixas coletoras com 0,50 m de lado com o fundo de tela de polietileno, segundo as recomendações de Proctor, 1983 (Figura 5).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Estrutura da vegetação

Foram amostrados 257 indivíduos no total, sendo 164 em FL, 63 em POII e 30 em POI e este último apresenta o maior número de árvores mortas em pé apresentando 33,3%, seguido por FL (9,15%) e POII (7,94). Segundo Murcia (1995) a alta mortalidade arbórea vem sendo apontada como um processo de exclusão característico de florestas fragmentadas, devido às alterações físicas e biológicas potencializadas pelos efeitos de borda. A maior mortalidade encontrada em POI é relativa também à presença de

espécies pioneiras de ciclo de vida curto como *Vernonia polyanthes* Less. Segundo Budowski (1965), a expectativa de vida das espécies dominantes no estágio pioneiro é de 1 a 3 anos.

A maior presença de troncos múltiplos em POII (17,46%) é um importante indício da agricultura itinerante, pois muitos dos indivíduos apresentam a característica de rebrota. Durante o período de implantação da roça, as espécies são cortadas, mas são mantidos vivos e fisiologicamente atuantes, constituindo a fonte inicial de colonização do sítio (Oliveira *et. al.*, 1994). Por ocasião do abandono da roça, a rebrota é imediata.

A distribuição diamétrica (Figura 6) ocorreu de forma crescente de POI até FL respectivamente com médias de 5,41, 6,68 e 7 cm, com o maior valor de DAP sendo encontrado em FL (42,97 cm). O grande número de árvores pequenas (DAP 5-10 cm) pode ter sido favorecido pela retirada dos indivíduos do dossel, facilitando o crescimento de juvenis anteriormente estabelecidos e sugerindo que no local ocorreu alteração nos processos sucessionais internos e nos padrões estruturais (Laurance *et al.*, 1998). As árvores do dossel variaram de altura nos três sistemas, com médias de 5 m em FL, 4,5 em POII e 4 m em POI. Essas duas classes estruturais seguem o gradiente esperado. Este padrão espelha uma crescente diversidade de gerações e formas de vida, e uma crescente complexidade estrutural que ocorre ao longo do tempo e está de acordo com a classificação estrutural e funcional de florestas secundárias proposta por Clark (1996).

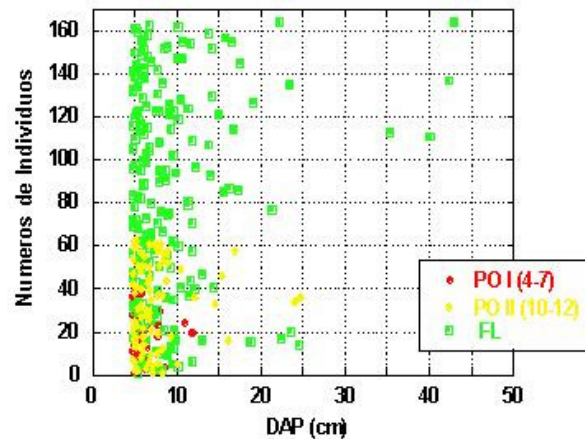


Figura 6 – Distribuição diamétrica dos indivíduos nos três sistemas.

### 3.2. Fitossociologia

Dos 113 indivíduos vivos já coletados, 80 foram identificados a nível de espécie, 21 em nível de gênero e 5 ainda indeterminadas. Do total de indivíduos, 41,6% pertencem a uma única espécie (*Machaerium stipitatum* (D.C.) Vogel) cuja predominância se encontra em POII e é ausente em FL (Tabela 1).

Tabela 1 - Total de famílias identificadas e sua distribuição pelos sistemas

Família	Nº de ind.	PO I	PO II	FL
Leguminosae	58	7	44	7
Rubiaceae	20	1	-	19
Asteraceae	9	5	4	-
Solanaceae	8	-	8	-
Euphorbiaceae	4	4	-	-
Lauraceae	2	1	-	1
Urticaceae	3	-	2	1
Melastomataceae	3	-	-	3
Nyctaginaceae	1	-	-	1
morfo-espécie 1	1	1	-	-
morfo-espécie 2	1	1	-	-



morfo-espécie 3	3	-	-	3
	113	20	58	35

Cinco famílias ocorreram com uma única espécie. As famílias com maior riqueza de espécies foram Leguminosae (4 espécies), Rubiaceae (3 espécies), Lauraceae e Solanaceae (2 espécies). Segundo Oliveira-Filho & Fontes (2000), as famílias Leguminosae, Lauraceae e Myrtaceae são as que geralmente ocorrem com os maiores números de espécies ao longo da Mata Atlântica brasileira.

O sistema que apresentou maior riqueza florística foi FL, com 10 espécies distintas, destacando-se *Psychotria sp.*, da família Rubiaceae com o maior número de indivíduos (48,57%), seguido por POII com seis e POI com quatro. Nestes dois últimos sistemas (PO II e PO I), *Machaerium stipitatum* (D.C) Vogel é a espécie que apresentou a maior representatividade com 69% dos indivíduos em PO II e 35% em POI (Figura 7).

Segundo Penha (1998), esta é uma espécie com alta capacidade de rebrota a partir de raízes gemíferas, importante mecanismo de colonização em locais onde há baixa disponibilidade de nutrientes, como é observado em áreas de posio recém abandonadas.

Em relação a espécies exclusivas em cada sistema, encontramos *Guapira opposita* (Vell.) Reitz em FL, três identificadas em nível de gênero (*Miconia sp.*, *Lauracea sp.* e *Psychotria sp.*) e uma indeterminada. O sistema PO II apresenta *Solanum argenteum* Dun e *Aureliana fasciculata* (Vell.) Sendtn, ambas da família Solanaceae e por fim em PO I, *Persea americana* Mill. e *Croton floribundus* Spreng.

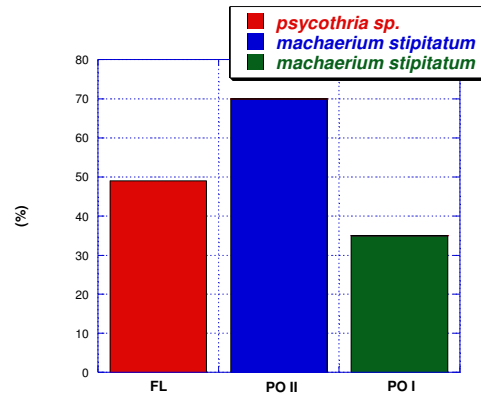


Figura 7 – Espécie com maior representatividade em cada sistema

As espécies até então identificadas apontam para a forte presença de espécies pioneiras, em todos os sistemas, estando presente apenas três secundárias iniciais, que seriam *Guapira opposita* (Vell.) Reitz em FL, *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J.F. Macbr. e *Bauhinia forficata* Link em POII e FL (Tabela 2). A espécie *Machaerium stipitatum* (D.C) Vogel é classificada na literatura como secundária inicial (Penha, 1998). Contudo, baseado em observações de campo, essa espécie pode ser apontada como pioneira, uma vez que atuou na colonização inicial na área de estudo.

Tabela 2 – Distribuição das espécies, sua ocorrência e o estágio sucessional

Espécie	Família	N. Vulgar ind.	Nº Ocorr.	E.S.
<i>Vernonia polyanthes</i>	Asteraceae	assa-peixe	9	PO I - POII
<i>Croton floribundus</i>	Euphorbiaceae	capixingui	4	PO I
<i>Persia americana</i>	Lauraceae	abacateiro	1	PO I
<i>Bauhinia forficata</i>	Leguminosae	pata-de-vaca	4	PO II - FL
<i>Solanum argenteum</i>	Solanaceae	capoeira-branca	5	PO II

<i>Cecropia peltata</i>	Urticaceae	embaúba	3	PO II - FL	PI
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	Leguminosae	pau-jacaré	3	PO II - FL	SI
<i>Aureliana fasciculata</i>	Solanaceae		3	PO II	PI
<i>Guapira opposita</i>	Nyctaginaceae	louro-branco	1	FL	SI
<i>Miconia</i> sp.	Melastomataceae	-	3	FL	-
<i>Inga</i> sp.	Leguminosae	-	1	FL	-
<i>Psycothria</i> sp.	Rubiaceae	-	17	FL	-
<i>Machaerium stipitatum</i>				PO I - PO II	PI
	Leguminosae		47		

No processo de sucessão secundária encontramos a predominância de pioneiras, o que aponta para o mesmo estágio sucessional em PO I e PO II. Em FL observa-se um incremento na riqueza florística e a presença de algumas secundárias iniciais. Este sistema apresenta valores inferiores, tanto na estrutura como na composição de um fragmento de mesma idade estudado por Oliveira (2002). Florestas em fases iniciais de regeneração apresentam geralmente elevada abundância de espécies pioneiras, que exercem função cicatrizadora, fato também observado em bordas antrópicas (Murcia, 1995) e clareiras naturais (Tabarelli & Mantovani, 1999).

### 3.3. Produção mensal e capacidade de retenção hídrica da serrapilheira

Com relação à produção mensal de serrapilheira, no período de julho a dezembro, o sistema FL atingiu maior média de deposição 19,77g. Em seguida, aparece o sistema POI com média de 14,99g e por último o sistema POII com 10g. Este comportamento pode estar relacionado às taxas de precipitação, devido ao histórico de pluviosidade da região em que ocorre um aumento das

chuvas no período do verão e uma diminuição no inverno, sendo a produção de serrapilheira influenciada por este fator. Cunha *et al.* (1993), estudando uma Floresta Estacional Decidual na região central do Rio Grande do Sul, relataram aspecto um tanto próximo, em que as maiores produções de serrapilheira ocorreram quando as precipitações foram abundantes e a temperatura estava em elevação. Assim como pela natureza dos indivíduos que compõem a flora local.

O pico de produção ocorre no mês de dezembro e o pico negativo no mês de outubro, em todos os sistemas (Figura 8, 9 e 10). A respeito do material produzido, a fração folhas foi preponderante em todas as amostras dos sistemas estudados, seguido pela fração galhos e material reprodutivo. Bray & Ghoran (1964) concluíram que, de modo geral, nas diferentes zonas macroecológicas, as serrapilheiras amostradas em diferentes florestas do mundo são compostas de 60-80% por folhas, de 115% por frutos, de 12-15% por ramos e de 1-15% por cascas de árvores.

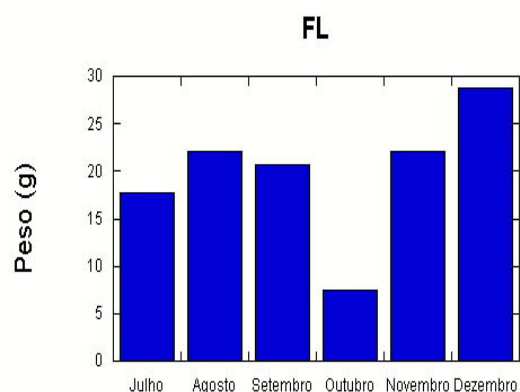
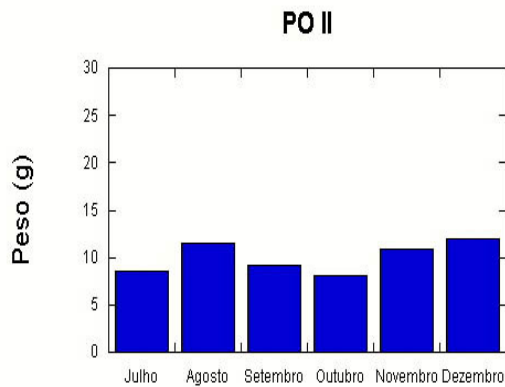
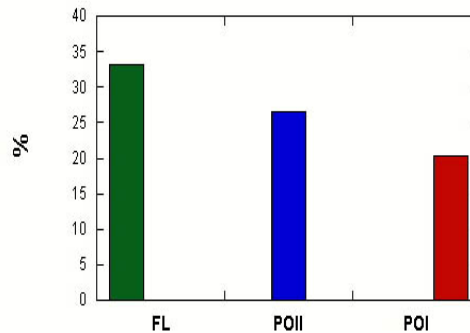


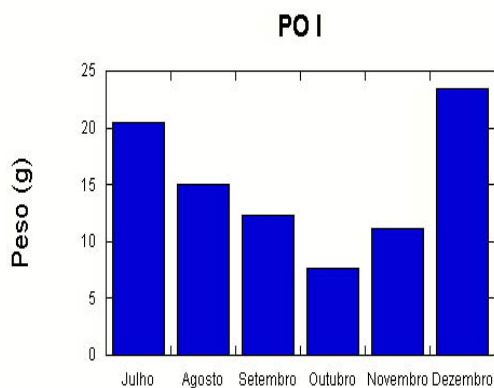
Figura 8 – Produção mensal de serrapilheira no sistema FL.



**Figura 9** – Produção mensal de serrapilheira no sistema Pousio 10-12 anos.



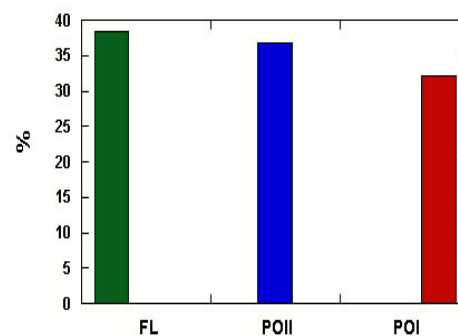
**Figura 11** – Retenção hídrica nos sistemas FL, PO II e PO I na estação outono / 2008



**Figura 10** - Produção mensal de serrapilheira no sistema Pousio 4-7 anos.

A partir dos dados obtidos sobre retenção hídrica, foi possível notar que algumas amostras chegaram a atingir o triplo do peso após passarem pelo teste de capacidade de retenção hídrica. Desse modo, o sistema que atingiu maior porcentagem em relação à capacidade de retenção hídrica, na estação outono foi FL com 33,18%. Em seguida aparece o sistema POII com 26,52% e POI com 20,38% (Figura 11). Este comportamento pode estar associado a estabilização oriunda da idade mais avançada dos diferentes estágios sucessionais.

Já ao final da estação inverno, o aporte de serrapilheira sofre declínio, no entanto não há significativa alteração em sua capacidade de retenção hídrica, respeitando inclusive a ordem de idades dos diferentes estágios. Desse modo, o sistema FL apresentou maior capacidade de retenção com 38,47%. Em seguida, aparece o sistema POII com 36,75% e POI com 32,13% (Figura 12).



**Figura 12**- Retenção hídrica nos sistemas FL, PO II e PO I na estação inverno /2008

Nesse contexto, pode-se considerar a serrapilheira como um parâmetro de avaliação da recuperação dos ambientes estudados. Em se tratando da capacidade

de retenção hídrica, esta se mostrou eficiente, sendo responsável pelo estoque de umidade no solo. E de acordo com estes resultados, os sistemas demonstram estar em alinhamento ecológico, pois seguem ordem crescente de idade de acordo com a retenção. De qualquer modo, é possível perceber a função da cobertura vegetal com extrema importância para a sustentabilidade destes ecossistemas.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da vegetação indica um gradiente em relação a estrutura. A distribuição diamétrica e a altura seguem o padrão esperado com  $POI < POII < FL$ , indicando uma regeneração estrutural nos três sistemas. Em relação à análise florística, encontra-se uma predominância de espécies pioneiras em PO I e PO II, com este último apresentando algumas poucas espécies secundárias iniciais até o presente.

Com a observação dos dados, a produção mensal da serrapilheira obteve pico negativo de produção no mês de outubro e positivo no mês de dezembro, em todos os sistemas estudados, sendo o aporte no sistema FL superior aos demais sistemas.

Com relação à capacidade de retenção hídrica, o comportamento das amostras revelou a importância da cobertura vegetal na sustentabilidade dos ecossistemas, devido à eficiência em armazenar umidade no solo, com as amostras chegando a atingir três vezes seu peso seco.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem gentilmente a SR1 e SR2 da Universidade do Estado do Rio de Janeiro pelas bolsas concedidas e a

Jeysa de Assis Barbosa pela versão em inglês do abstract.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adams, Cristina. 2000. As roças e o manejo da Mata Atlântica pelos Caiçaras: Uma revisão. *Revista Interciência*, VOL. 25 N° 3. P. 143

Andrade, A.G.; Mendes, C.A.R.; Mahler, C.F.; Lumbreiras, J.F.; Santos, F.A.; Potocarreiro, H.; Carvalho, G.F. 2003. Aspectos da perda de solos: a agricultura migratória e a convencional. In: *Seminário sobre Agricultura Migratória na Região Serrana do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Série documentos Embrapa Agrobiologia,

Barros, A.L.; Lima, L.G.; Costa, A.R.; Bertolino, A.V.F.A.; Bertolino, L.C. 2006. Propriedades físicas e químicas em diferentes manejos na região serrana/RJ sob bioma de Mata Atlântica. In: *XVI REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA*, Anais.... Aracaju: 2006. CD-ROM.

Bray, J. R.; Gorhan, E. 1964. Litter production in forests of the world. *Advances in Ecological Research*, v. 2, p. 101-157.

BRASIL. Decreto Federal nº 750 de 10 de fevereiro de 1993. Dispõe sobre o corte, a exploração de vegetação primária ou nos estágios avançados e médios de regeneração da Mata Atlântica, e dá outras providências. Disponível em: <lei.adv.Br/750-93.http>. Acessado: em nov. / 05

BRASIL. Decreto Federal nº 6660 de 21 de novembro de 2008. Regulamenta os dispositivos da Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica. Disponível em <planalto.gov.br/ccivil\_03/\_ato2007-2010/2008/decreto/d6660.htm>. Acessado em março / 09.

Budowski, G. 1965. Distribution of tropical American Rain Forest trees in the light of successional process. *Turrialba* 15: 40-45.

Clark, D.B. 1996. Abolishing virginity. *Journal of Tropical Ecology* 12:435-439

- Coutinho, H.L.C.; Aboim, M.C.R.; Benites, V.M.; Rosado, A.S.; Barbosa, J.C.; Ribeiro, E.; Portocarrero, H.; Santos, F.A; Andrade, A.G. 2004. Dinâmica da diversidade microbiana e da qualidade do solo em um sistema de agricultura migratória na Região Serrana Fluminense. In: Campello, E.F.C. Seminário sobre agricultura migratória na região serrana do Rio de Janeiro. Seropédica: EMBRAPA - Agrobiologia., p. 49-61.
- Correia, M.E.F.; Reis, L.L.; Campello, E.F.C.; Franco, A. 2004. Populações da macrofauna do solo em agricultura itinerante na Região da Mata Atlântica,RJ. 62-75 p. In: Campello. E.F.C. Seminário sobre agricultura migratória na região serrana do Rio de Janeiro. Seropédica: EMBRAPA-Agrobiologia., p. 86.
- Cunha, G. C.; Grendene, L. A.; Durlo, M. A.; Bressan, D. A. 1993. Dinâmica nutricional em floresta estacional decidual com ênfase aos minerais provenientes da deposição da serapilheira. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.3, n.1, p.19-39
- Durigan, G. 2004. Métodos para análise de vegetação arbórea. In: CULLEN-Jr., L.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PADUA, C. (eds.). Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre. Ed. UFPR, Fundação O Boticário de Proteção à Natureza. Série Pesquisas (88). Pp. 455-471.
- Gandolfi, S.; Leitão-Filho, H. F.; Bezerra, C. L. F. 1995. Levantamento florístico e caráter sucessional das espécies arbustivo-arbóreas de uma floresta mesófila semidecídua no município de Guarulhos, SP. *Revista Brasileira de Biologia*, v.55, p.753-767.
- Guedes-Bruni, R.R.; Morin, M.P.; Lima, H.C. & Sylvestre, L.S. 2002. Inventário florístico. In: Sylvestre, L.S. & Rosa, M.M.T. (eds.) Manual Metodológico para Estudos Botânicos na Mata Atlântica. EDUR, Seropédica. p. 24-50.
- Kanashiro, M.; Denich, M. 1998. Possibilidade de utilização e manejo adequado de áreas alteradas e abandonadas na Amazônia Brasileira. Brasília: MCT/CNPq, (Estudos dos impactos humanos nas florestas e áreas inundadas nos trópicos), 157p
- Kottek, M.; Grieser, J.; Beck, C.; Rudolf, B. & Rubel, F. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15: 259-263.
- Landi, M. P. M.; Dubois, J. C. 2004. Aspectos Sócio-Econômicos da agricultura Migratória na Comunidade Rural de Barra Alegre-Bom Jardim/RJ. 19-27 pp. In: CAMPELLO, E. F. C. (ed.). Seminário sobre Agricultura Migratória na Região Serrana do Rio de Janeiro. Seropédica: EMBRAPA-Agrobiologia., 86p
- Laurance, W. F. 1998. Effects of forest fragmentation on recruitment patterns in Amazonian tree communities. *Conservation Biology*, v.12, p.460-464.
- Lima, L.G.; Barros, A.L.R.; Bertolino, A.V.F.A; Bertolino, L.C. 2006. Degradação ambiental dos solos: manejos diferentes em bioma de Mata Atlântica na Região Serrana/RJ. In: VI SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, Anais... Goiânia: 2006.
- Magalhães, L. M. S.; Freitas, W. K. de. Fragmentos Florestais em pequenas Propriedades Rurais: Base para o seu Manejo e Conservação. 2004. 28-35 In: Campello, E.F.C. Seminário sobre agricultura migratória na região serrana do Rio de Janeiro. Seropédica: EMBRAPA - Agrobiologia, 2004. p. 86.
- Murcia, C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, v.10, p.58-6.
- Oliveira-Filho, A. T.; Fontes, M. A. L. 2000. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in southeastern Brazil and influence of climate. *Biotropica*, v.32, p.793-810.
- Oliveira, R. R. 2002. Ação antrópica e resultantes sobre a estrutura e composição da Mata Atlântica na Ilha Grande, RJ. *Rodriguésia* 53 (82): 33-58.
- Oliveira, Rogério Ribeiro de. 1999. O Rastro do Homem na Floresta: sustentabilidade e funcionamento da Mata Atlântica sob manejo caçara. (Dissertação) Rio de Janeiro: IGEO / UFRJ.
- Penha, A. S. 1998. Propagação vegetativa de espécies arbóreas a partir de raízes gemíferas: representatividade na estrutura fitossociológica e descrição dos padrões de rebrota de uma comunidade florestal, Campinas, São Paulo. MSc. Thesis; Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brazil. 188p.

- Poggiani, F.; Monteiro Júnior, E. S. 1992. Deposição de folheda e retorno de nutrientes ao solo numa floresta estacional semidecídua, em Piracicaba (estado de São Paulo). In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6, Campos do Jordão. Anais ... Campos do Jordão: 1990. p. 596-602.
- Polhill, R.M.; Raven, P.H. & Stirton, C.H. 1981. *Evolution and systematics of the Leguminosae*. In: Polhill, R.M. & Raven, P.H. (eds) *Advances in legume systematics, part 1*. Kew: Royal Botanical Garden. p. 1-26.
- Santos, C.G., Martins, F.R., Tamashiro, J.Y. (orgs.) 2004. Composição vegetal e o acúmulo de serrapilheira em um fragmento do Cerrado. Relatórios de Disciplina NC211. PPG Ecologia, UNICAMP
- Souza, V. C. & Lorenzi, H. 2008. *Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II*. Nova Odessa: Instituto Plantarum., 640 p.
- Tabarelli, M.; Mantovani, W. 1999. Clareiras naturais e a riqueza de espécies pioneiras em uma Floresta Atlântica Montana. *Revista Brasileira de Botânica*, v.20, p.57-66.
- Vallejo, L. R. 1982. A influencia do "litter" na distribuição das águas pluviais,. (revisão em maio/2005) VIII,29,7cm (Instituto de Geociências UFRJ, M.Sc., Programa de Pós Graduação em Geografia, 1982). 88 p.
- Velloso, H.P.; Ragel Filho, A.L.R.; Lima, J.C.A.. 1991. Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro, IBGE. 124 p.