



Universidade Estadual de Goiás  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas  
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais do Cerrado

PEDRO PAULINO BORGES

**SÉRIE HISTÓRICA DE USO E COBERTURA DO SOLO E DETERMINANTES  
AMBIENTAIS LOCAIS E DE PAISAGEM NA CONCENTRAÇÃO DA CLOROFILA-  
A EM RIACHOS DE UMA BACIA DO CERRADO**

Anápolis

2015

PEDRO PAULINO BORGES

**SÉRIE HISTÓRICA DE USO E COBERTURA DO SOLO E DETERMINANTES  
AMBIENTAIS LOCAIS E DE PAISAGEM NA CONCENTRAÇÃO DA CLOROFILA-  
A EM RIACHOS DE UMA BACIA DO CERRADO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação  
*Stricto Sensu* em Recursos Naturais do Cerrado da  
Universidade Estadual de Goiás para a obtenção do título de  
Mestre em Recursos Naturais do Cerrado.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Nabout.

Anápolis

2015

Borges, Pedro Paulino.

Série histórica de uso e cobertura do solo e determinantes ambientais locais e de paisagem na concentração da clorofila-*a* em riachos de uma bacia do Cerrado / Pedro Paulino Borges. - 2015.

67 f. il.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Nabout.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Goiás. Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas. Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais do Cerrado, 2015.

Bibliografia.

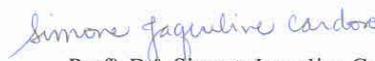
1. Cerrado. 2. Condutividade. 3. Conservação. 4. Fitoplâncton. 5. Geoprocessamento. 6. Variáveis de paisagem. I. Título.

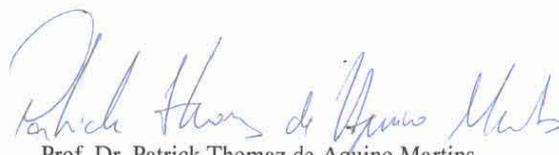
PEDRO PAULINO BORGES

SÉRIE HISTÓRICA DE USO E COBERTURA DO SOLO E  
DETERMINANTES AMBIENTAIS LOCAIS E DE PAISAGEM  
NA CONCENTRAÇÃO DA CLOROFILA-A EM RIACHOS DE  
UMA BACIA DO CERRADO

Dissertação defendida no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos  
Naturais do Cerrado da Universidade Estadual de Goiás,  
para a obtenção do grau de Mestre, aprovada em 24 de fevereiro de 2015, pela  
Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:

  
Prof. Dr. João Carlos Nabout  
Presidente da Banca  
Universidade Estadual de Goiás

  
Prof.ª Dr.ª Simone Jaqueline Cardoso  
Membro externo  
Universidade Federal de Juiz de Fora

  
Prof. Dr. Patrick Thomaz de Aquino Martins  
Membro interno  
Universidade Estadual de Goiás

## **Agradecimentos**

Mais uma etapa cumprida e que sem dúvidas foi muito importante, acredito que me ajudou a crescer enquanto pessoa e academicamente. Com o mestrado aprendi várias coisas, através da dissertação e das disciplinas, principalmente geoprocessamento e estatística aprendi a ter mais paciência, como disse Murphy, se uma coisa pode dar errado, dará. Tenho aprendido a lidar melhor com as críticas. Tive a confirmação de que eu não sei praticamente nada, talvez uma ínfima parte de um grãozinho de areia da ilha do conhecimento e ainda tenho muito o que aprender. Aprendi também durante esses dois anos a ter mais confiança em mim mesmo, parte dessa confiança veio da confiança de outras pessoas no meu trabalho, o que foi muito importante para que eu acreditasse na minha capacidade. Outra confirmação é a de que não fazemos nada sozinhos, todos precisamos da ajuda de alguém. Posso dizer sem sombras de dúvidas que essa dissertação não foi feita somente por mim, ela foi feita com a ajuda de várias pessoas, instituições e órgãos de fomento que de alguma forma contribuíram para que ela fosse escrita. Portanto, agradeço a todos que foram importantes e se esqueci de alguém, peço desculpas.

À Universidade Estadual de Goiás que me proporcionou formação de qualidade através do Mestrado em Recursos Naturais do Cerrado. Os professores do mestrado que foram importantes para a minha formação, em especial aqueles que tive mais contato durante as disciplinas. Agradeço também os professores que sempre se empenharam para trazer palestrantes para o RENAC, graças ao ciclo de palestras tive a oportunidade de conhecer excelentes profissionais, que sem dúvidas enriqueceu muito a minha formação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo auxílio financeiro (2036/2013), e também pela concessão da bolsa de mestrado, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (473730/2013-8) e a Fundação de Amparo a Pesquisa no Estado de Goiás (FAPEG), pelo financiamento do projeto de pesquisa.

O meu orientador, João Carlos Nabout pela paciência que teve durante os quatro anos que me orientou, especialmente durante o mestrado. Aprendi muito desde a iniciação científica até o término do mestrado e agradeço pela oportunidade de participar de projetos de pesquisa, de eventos acadêmicos, artigos e por conhecer excelentes profissionais via laboratório de pesquisa, que sem dúvida foram muito importantes para o meu crescimento

acadêmico. Agradeço por sempre estar presente e disposto a ajudar, tudo que eu aprendi academicamente até hoje devo muito a você. Saiba que eu serei sempre grato por todas as oportunidades me foram dadas e que me fizeram crescer enquanto pessoa e profissional.

À minha família pelo apoio e incentivo, que mesmo sem entender muito bem o que eu faço no mestrado, pois acham que vida de pós-graduando é muito fácil, não temos um emprego e ainda por cima ganhamos dinheiro para estudar (não sabem de nada, inocentes. Rrsrsrs), torcem para que tudo dê certo e confiam que algum dia esse esforço trará frutos. Agradeço principalmente a minha mãe Divina e minha irmã Ana Paula que sempre me incentivaram e estavam dispostas a me ajudar de alguma maneira.

À Karine por todos esses anos de convivência, desde a graduação até o término do mestrado, por sempre ter me ajudado quando precisei, seja em alguma análise, leitura de trabalhos para ajudar a melhorar o texto, dúvidas, etc. Sempre foi muito competente e uma ótima companheira de trabalho durante as disciplinas. Agradeço também pela amizade ao longo da graduação e do mestrado, pela paciência e por suportar meus desesperos e meu “otimismo” (rsrs) durante esse tempo em que fomos amigos de laboratório e irmãos de orientação.

Às pessoas que participaram das coletas do projeto, o Fabrício que foi muito importante nessa etapa da dissertação e sempre foi muito atencioso. Fiz as coletas com o auxílio do seu projeto de pesquisa, agradeço por ter me ajudado com transporte, hospedagem, alimentação. Ao Hugo e a Jane por sempre estarem dispostos a ajudar em alguma coisa. Agradeço também a Dianne, Marlúcia, Fagner, Luzia, Milton e Adriano que também participaram das coletas. À UEG de Porangatu por ter oferecido estrutura para guardar os equipamentos, material coletado e também espaço para a filtragem das amostras de água. Às inúmeras conversas no campo com o pessoal, e claro, não poderia esquecer da “incrível” baguete (pão com cenoura, presunto, mussarela, entre outros ingredientes) que o Fabrício tanto gosta e foi nosso almoço em praticamente todos os dias de coleta, o cardápio variou bastante, em alguns dias o pão tinha gergelim em outros não (rsrsrs). E também as conversas pós-campo, durante o jantar, lanche ou na estrada, principalmente com o Fabrício, Jane, Luciana e Hugo.

Às pessoas do laboratório (Karine, Letícia, João, Fabrício, Luciana, Meirielle, Hasley, Dianne, Marcos, Anna Carolina, Hugo, Ana Paula, Lorrane, Barbbara) pelos momentos compartilhados, em especial a Karine e a Letícia que estavam presentes em todos os

momentos bons, ruins e desesperadores, sofremos e rimos bastante juntos durante esses dois anos de convivência.

O Patrick pelo apoio na obtenção dos dados de paisagem, pela ajuda e paciência durante essa etapa. Por ter me ajudado via e-mail ou skype, por ter me recebido em Minaçú e ter disponibilizado sua casa, seu tempo, incluindo final de semana para me ajudar a obter os dados.

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) pela disponibilização das imagens de alta resolução de forma gratuita.

Os meus amigos por sempre terem contribuído de forma direta ou indireta, agradeço o Bruno, Eduardo, Rogério, Karine, Letícia, Danielle, Thais, Hugo e Hasley.

À Camilla por acreditar que daria certo, pelo incentivo, paciência e compreensão durante todo o mestrado.

À Nina que sempre estava calma e disposta a ajudar no que fosse necessário durante o mestrado.

Os colegas de mestrado, que compartilharam momentos bons e desesperadores, inclusive um momento desesperador que durou umas sete horas ou mais, que foi a prova de estatística (rsrs).

Por último, não menos importante, agradeço a banca por aceitar o convite, por gastar o seu tempo com a leitura e também pelo tempo perdido durante a viagem até Anápolis para contribuir com a melhoria da dissertação.

Obrigado a todos!

## **Epígrafe**

"Se cheguei até aqui foi porque me apoiei no ombro dos gigantes" (Isaac Newton).

## Sumário

Resumo .....	X
Abstract .....	XI
Lista de figuras .....	XII
Lista de tabelas .....	XIII
Lista de abreviaturas .....	XVI
Lista de símbolos .....	XVII
Introdução geral .....	18
Referências .....	21
Objetivos .....	24
<b>Manuscrito 01- Uso e cobertura do solo por meio de uma série histórica na bacia do rio Santa Teresa em Goiás .....</b>	<b>25</b>
Resumo .....	25
Abstract .....	25
Introdução .....	26
Materiais e Métodos .....	28
Área de estudo .....	28
Obtenção das imagens .....	28
Processamento das imagens .....	29
Análise de dados .....	30
Resultados .....	31
Discussão .....	36
Mudanças na cobertura e uso do solo .....	36

Relevo .....	38
Implicações das mudanças na cobertura do solo e conservação da bacia .....	38
Conclusão .....	40
Agradecimentos .....	41
Referências .....	41
<b>Manuscrito 02- Influência relativa de efeitos ambientais diretos e indiretos na concentração da clorofila-<i>a</i> em riachos do Cerrado .....</b>	<b>45</b>
Resumo .....	45
Abstract .....	45
Introdução .....	46
Materiais e Métodos .....	47
Coleta de dados .....	47
Clorofila- <i>a</i> .....	48
Variáveis locais .....	49
Variáveis morfométricas e sombreamento .....	49
Variáveis de paisagem .....	49
Análise de dados .....	50
Resultados .....	52
Discussão .....	57
Conclusão .....	61
Agradecimentos .....	62
Referências .....	62
Considerações finais .....	67

## Resumo

O uso desordenado do solo é uma das principais causas de perdas da biodiversidade. A conversão da vegetação afeta não somente os ambientes terrestres, mas também os ecossistemas aquáticos. O monitoramento de ambientes tais como riachos, pode ser feito utilizando a variável clorofila-*a* que é uma boa representante das algas e cianobactérias. O objetivo geral da dissertação foi avaliar as mudanças na cobertura vegetal e uso do solo ao longo de 28 anos e verificar quais os determinantes ambientais locais e/ou de paisagem afetam a concentração de clorofila-*a* de forma direta e indiretamente em riachos na bacia do rio Santa Teresa. Para a análise da cobertura e uso do solo por meio de uma série histórica na bacia foram obtidas imagens de satélite, estas foram processadas usando o programa ENVI 4.7 e ArcGIS 10.0. Para verificar quais os determinantes da concentração da clorofila-*a* foram obtidas variáveis ambientais locais e amostras de água para a obtenção da clorofila-*a* em 30 unidades amostrais. Além disso, dados de paisagem foram obtidos para cada sub-bacia. Por meio da análise de sensoriamento remoto foi possível verificar que a cobertura do solo tem mudado ao longo do tempo, de 1985 até 2013 houve uma redução de 17,22% da vegetação natural, além disso, áreas de pastagem, solo exposto e queimada tem aumentado ao longo do tempo. Os valores da concentração de clorofila-*a*, nutrientes, pH, oxigênio dissolvido e condutividade indicam que os riachos amostrados são oligotróficos. Os principais determinantes da concentração de clorofila-*a* foram os fatores locais, dentre eles a condutividade foi a variável mais importante, além disso, houve pouco efeito da paisagem. Entretanto, apesar do baixo efeito da paisagem, a cobertura do solo influenciou os ambientes aquáticos de forma indireta via outras variáveis, tais como condutividade, pH e turbidez. A análise da cobertura e uso do solo nas sub-bacias demonstrou que os ambientes ainda estão bastante conservados. Cerca de 99,66% das sub-bacias tem a cobertura predominante representada por remanescente, o principal uso é destinado às pastagens. O trabalho foi o primeiro a caracterizar a cobertura e o uso do solo e avaliar os determinantes da produtividade primária na região amostrada. Entretanto, destacamos que é necessário a contínua avaliação da paisagem e de estudos utilizando a clorofila-*a* para avaliar os impactos nos riachos, pois apesar de ocorrer de forma lenta, a cobertura do solo tem mudado ao longo do tempo.

**Palavras-Chave:** Cerrado; Condutividade; Conservação; Fitoplâncton; Geoprocessamento; Variáveis de paisagem.

## Abstract

The unplanned land use is a main cause of biodiversity loss, the conversion of vegetation affects not only the terrestrial environments, but also aquatic ecosystems. The monitoring environments such as streams can be done using the variable chlorophyll-*a* which is a good representative of algae and cyanobacteria. The general aim of this work was to evaluate the changes in vegetation cover and land use over 28 years and see which site environmental determinants and/or landscape that affect the concentration of chlorophyll-*a* directly and indirectly in streams in the river basin Santa Teresa. For the analysis of land cover and use through a historical series in the basin, the satellite images were obtained, these were processed using ENVI 4.7 and ArcGIS 10.0. To check which determine the concentration of chlorophyll-*a* were collected site environmental variables and water samples to obtain the chlorophyll-*a* in 30 sample units. In addition, landscape data were obtained for each sub-basin. Through remote sensing analysis we found that the soil cover has changed over the time, from 1985 until 2013 there was a reduction of 17.22% of the natural vegetation, in addition, grazing areas, bare soil and burned has increased over the time. The values of the concentration of chlorophyll-*a*, nutrients, pH, dissolved oxygen and conductivity indicates that the sampled streams are oligotrophic. The main determinants of the concentration of chlorophyll-*a* was sites factors, among them the conductivity was the most important variable, furthermore there was little effect of the landscape, however, despite the low landscape effect, the soil cover affects aquatic environments indirectly through other variables, such as conductivity, pH and turbidity. The analysis of coverage and land use in the sub-basins demonstrated that the environments are still quite preserved. About 99.66% of the sub-basins is the predominant coverage represented by remaining, the main use is intended for grazing. The work was the first to characterize the vegetation cover and land use and evaluate the determinants of primary productivity in the survey area. However, we emphasize that the ongoing assessment of landscape and studies using chlorophyll-*a* to assess the impacts on streams, because although occur slowly, the land cover has changed over the time.

**Keywords:** Cerrado; Conductivity; Conservation; Geoprocessing; Landscape variables; Phytoplankton.

## Lista de figuras

<b>Manuscrito 01- Uso e cobertura do solo por meio de uma série histórica na bacia do rio Santa Teresa em Goiás</b> .....	25
Figura 1- Mapa da bacia do rio Santa Teresa .....	28
Figura 2- Mapa de cobertura e uso do solo com as classes adotadas na bacia do rio Santa Teresa no ano de 1985 .....	32
Figura 3- Mapa de cobertura e uso do solo com as classes adotadas na bacia do rio Santa Teresa no ano de 1997.....	33
Figura 4- Mapa de cobertura e uso do solo com as classes adotadas na bacia do rio Santa Teresa no ano de 2013 .....	34
Figura 5- Mapa de declividade e hipsométrico da bacia do rio Santa Teresa em Goiás .....	35
<b>Manuscrito 02- Influência relativa de efeitos ambientais diretos e indiretos na concentração da clorofila-<i>a</i> em riachos do Cerrado</b> .....	45
Figura 1- Mapa da área de estudo com os pontos de coleta na região norte de Goiás .....	48
Figura 2- Análise de componentes principais das variáveis ambientais dos riachos analisados. Chl.a- Clorofila- <i>a</i> , PT- Fósforo Total, NT- Nitrogênio Total, CD- Condutividade, OD- Oxigênio Dissolvido, pH- Potencial Hidrogeniônico, Tp-Temperatura da água, Tu- Turbidez, STD- Sólidos Totais Dissolvidos, Tr- Transparência, Fl- Fluxo, So- Sombreamento, La- Largura, Al-Altitude .....	54
Figura 3- Dados de uso e cobertura do solo nas 30 sub-bacias à montante dos pontos de coleta .....	55
Figura 4- Efeitos diretos e indiretos de variáveis locais e de paisagem na concentração da clorofila- <i>a</i> .....	57

## Lista de tabelas

<b>Manuscrito 01- Uso e cobertura do solo por meio de uma série histórica na bacia do rio Santa Teresa em Goiás</b> .....	25
Tabela 1- Tabela exemplo de como organizar os dados para o cálculo do coeficiente de associação de Yule .....	31
Tabela 2- Valores em Km <sup>2</sup> e em porcentagem da cobertura e uso do solo nos três anos analisados para a bacia do rio Santa Teresa em Goiás .....	31
Tabela 3- Valores do coeficiente de associação de Yule para os dados de cobertura e uso do solo .....	35
<b>Manuscrito 02- Influência relativa de efeitos ambientais diretos e indiretos na concentração da clorofila-<i>a</i> em riachos do Cerrado</b> .....	45
Tabela 1- Descritores estatísticos das variáveis locais e de paisagem dos riachos amostrados .....	53
Tabela 2- Importância dos componentes locais e de paisagem na concentração de clorofila <i>a</i> . [a]- local, [b]- Compartilhado, [c]- Paisagem e [d]- Resíduo .....	56
Tabela 3- Importância isolada dos componentes ambientais locais na concentração da clorofila- <i>a</i> obtidos através da regressão múltipla .....	56

## Lista de abreviaturas

### **Manuscrito 01- Uso e cobertura do solo por meio de uma série histórica na bacia do rio Santa Teresa em Goiás**

APPs- Áreas de Preservação Permanente

ArcGIS- Software para análise e processamento de imagens

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ENVI- *Environment for Visualizing Images*

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

R- Software para análise estatística

RMS- *Root Mean Square*

SIG- Sistema de Informação Geográfica

SRA- Superfície Regional de Aplanamento

SRTM- *Shuttle Radar Topography Mission*

USGS- *United States Geological Survey*

WGS- *World Geodetic System*

### **Manuscrito 02- Influência relativa de efeitos ambientais diretos e indiretos na concentração da clorofila-*a* em riachos do Cerrado**

ACP- Análise de Componentes Principais

Al- Altitude

[a]- Variação explicada pelo componente local

[a+b]- Variação compartilhada com o componente local e o compartilhado

[a+b+c]- Variação explicada pelo componente local, paisagem e compartilhado

*b*- Coeficiente angular

[b]- Variação compartilhada com o componente local e de paisagem

[c]- Variação explicada pelo componente de paisagem

[c+b]- Variação compartilhada com o componente de paisagem e o compartilhado

°C- Temperatura em graus Celsius

CD- Condutividade

Chl.a- Clorofila-*a*

[d]- Variação residual

Cm- Centímetro

ENVI- *Environment for Visualizing Images*

Fl- Fluxo

Km<sup>2</sup>- Quilômetros quadrados

La- Largura

m- Metros

mg/L- Miligramas por litro

MMA- Ministério do Meio Ambiente

NT- Nitrogênio Total

NTU- *Nephelometric Turbidity Unit*

OD- Oxigênio Dissolvido

*P* - Nível de significância

pH- Potencial Hidrogeniônico

PT- Fósforo Total

So- Sombreamento

SRTM- *Shuttle Radar Topography Mission*

STD- Sólidos Totais Dissolvidos

Tp- Temperatura da água

Tr- Transparência

Tu- Turbidez

$\mu\text{g/L}$ - Microgramas por litro

$\mu\text{m}$ - Micrômetro

$\mu\text{s/cm}$ - MicroSiemens/cm

**Lista de símbolos****Manuscrito 01- Uso e cobertura do solo por meio de uma série histórica na bacia do rio Santa Teresa em Goiás**

%- Porcentagem

\*- Valores significativos

**Manuscrito 02- Influência relativa de efeitos ambientais diretos e indiretos na concentração da clorofila-*a* em riachos do Cerrado**

⇒ - Efeito direto

⇨ - Efeito indireto

%- Porcentagem

\*- Valores significativos

## Introdução geral

Nas últimas décadas tem crescido a magnitude de impacto ambiental devido principalmente as rápidas mudanças que ocorrem na paisagem em todo o planeta (FOLEY et al. 2005; LEADLEY, 2010). Essas mudanças são reflexo principalmente do crescimento desordenado da população humana que cada vez mais necessita de espaço e de recursos para a sua sobrevivência (PINN et al. 2014). Alguns cientistas acreditam que pode estar ocorrendo a sexta grande extinção em massa de espécies (BARNOSKY et al. 2011) e uma das causas das perdas de biodiversidade é a fragmentação de habitat, ocasionada principalmente pelo uso desordenado do solo (REID et al. 2005). Além disso, a perda da vegetação tem feito com que mais carbono seja lançado na atmosfera intensificando outros problemas graves, tais como as mudanças climáticas globais (LAL, 2004; WISE et al. 2009).

Para o Cerrado, o cenário não tem sido diferente. As mudanças da cobertura do solo tem ocorrido de maneira muito intensa neste bioma brasileiro (BRANNSTROM et al. 2008). Ao longo das últimas décadas o Cerrado já perdeu mais da metade da sua área de vegetação natural (KLINK; MACHADO, 2005; MARRIS, 2005), e apesar da intensa degradação ambiental, as mudanças na paisagem ainda continuam aceleradas, principalmente devido à expansão de áreas agrícolas e pastagem que acarretam grandes impactos nos ecossistemas (KLINK; MACHADO, 2005).

Os impactos ambientais das mudanças na cobertura do solo afetam não somente os ambientes terrestres e sua biota, mas também os ambientes aquáticos (FOLEY et al. 2005). Ambos os ecossistemas, aquático e terrestre estão conectados (MIRANDA et al. 2014), desse modo, as alterações antrópicas que ocorrem ao redor das bacias hidrográficas podem afetar os ambientes aquáticos, ocasionar a sua degradação e levar a perda de qualidade ambiental (FOLEY et al. 2005). Neste contexto, a variável clorofila-*a* pode ser utilizada como indicadora de qualidade ambiental (FIGUEROA-NIEVES et al. 2006; BOYER et al. 2009).

A clorofila-*a* é um pigmento fotossintetizante que é encontrado em todos os seres que realizam fotossíntese, dentre eles tem-se o fitoplâncton que envolve tanto seres eucarióticos, quanto procarióticos, como as cianobactérias (GREGOR; MARSÁLEK, 2004; LEE, 2008; KILROY et al. 2013). Esses organismos são bons indicadores de qualidade ambiental, pois são sensíveis às mudanças que ocorrem no meio aquático e respondem de forma rápida com

alterações na sua densidade e composição, uma vez que apresentam um curto período de vida (LEE, 2008).

A estimativa da produtividade primária por meio da clorofila-*a* é uma importante medida em estudos limnológicos, pois sua obtenção é fácil se comparada à identificação das algas e cianobactérias presentes no ambiente (BOYER et al. 2009) e apresenta um menor custo associado (MOULTON et al. 2009; CARNEIRO et al. 2014). Além disso, ocorre de forma rápida, o que facilita a sua utilização em estudos de monitoramento ambiental em ambientes aquáticos (KASPRZAK et al. 2008), como por exemplo, riachos (DODDS et al. 1998).

Os estudos relacionados à produtividade primária em riachos em um contexto global abordam diferentes aspectos. Os pesquisadores tem buscado avaliar a influência de sedimentos e temperatura na produtividade primária (IZAGIRRE et al. 2009; GUDMUNSDOTTUR et al. 2011), impactos ambientais causados pela agricultura e por efluentes (SILVA et al. 2000; FIGUEROA-NIEVES et al. 2006), distribuição espacial (MOULTON et al. 2009), produtividade primária por meio de análises visuais e concentração de clorofila-*a* (KILROY et al. 2013), entre outros.

A abordagem de monitoramento ambiental para verificar impactos nos ecossistemas com base na concentração de clorofila-*a* tem sido amplamente utilizada em ambientes aquáticos como um substituto para a comunidade de algas. Destaca-se estudos voltados para impactos em estuários (BOYER et al. 2009), reservatórios (IZYDORCZYK et al. 2009; CARNEIRO et al. 2014), rios (BOWES et al. 2012), lagos (KASPRZAK et al. 2008), oceanos (DEMARQ, 2009) e riachos (DODDS et al. 1998).

Estudos que tem por objetivo avaliar os determinantes da concentração da biomassa dos produtores primários de ambientes tais como riachos requer o uso de diferentes escalas e não somente as dos locais amostrados, pois muitas vezes há conectividade entre a paisagem e as variáveis dos riachos (MIRANDA et al. 2014; URREA-CLOS et al. 2014). Espera-se que as variáveis em escala de paisagem exerça efeitos nos organismos aquáticos. Alguns autores destacam que a cobertura do solo em escala de bacia tem um papel importante na estruturação das comunidades aquáticas já que promove mudanças nas características locais que podem afetar a biota dos ecossistemas (FERRAREZE, 2012; MIRANDA et al. 2014; URREA-CLOS et al. 2014).

Portanto, o objetivo geral desta dissertação foi avaliar as mudanças na cobertura e uso do solo ao longo de 28 anos e verificar quais os determinantes ambientais locais e/ou de paisagem afetam a concentração de clorofila-*a* de forma direta e indireta em riachos na bacia do rio Santa Teresa. Esperamos que esse trabalho possa contribuir para o aumento do conhecimento a respeito da cobertura e uso do solo, e dos determinantes da concentração da clorofila-*a* em riachos da bacia do rio Santa Teresa que carece de estudos científicos e, com isso, contribuir para o aumento do conhecimento científico e dar suporte para a tomada de decisão de gestores ambientais de bacias hidrográficas.

## Referências

- BARNOSKY, A.D.; MATZKE, N.; TOMIYA, S.; WOGAN, G.O.U.; SWARTZ, B.; QUENTAL, T.B.; MARSHALL, C.; MCGUIRE, J.L.; LINDSEY, E.L.; MAGUIRE, K.C.; MERSEY, B.; FERRER, E.A. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived?. **Science**, v. 471, p. 51-57. 2011.
- BRANNSTROM, C.; JEPSON, W.; FILIPPI, A.M.; REDO, D.; XU, Z.; GANESH, S. 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. 2008.
- BOYER, J.N.; KELBLE, C.R.; ORTNER, P.B.; RUDNICK, D.T. Phytoplankton bloom status: Chlorophyll-a biomass as an indicator of water quality condition in the southern estuaries of Florida, USA. **Ecological indicators**, v. 98, p. 56- 67. 2009.
- BOWES, M.J.; GOZZARD, E.; JOHNSON, A.C.; SCARLETT, P.M.; ROBERTS, C.; READ, D.S.; ARMSTRONG, L.K.; HARMAN, S.A.; WICKHAM, H.D. Spatial and temporal changes in chlorophyll-a concentrations in the River Thames basin, UK: Are phosphorus concentrations beginning to limit phytoplankton biomass? **Science of the Total Environment**, v. 426, p. 45-55. 2012.
- CARNEIRO, F.M.; NABOUT, J.C.; VIEIRA, L.C.G.; ROLAND, F.; BINI, L.M. Determinants of chlorophyll-a concentration in tropical reservoirs. **Hydrobiologia**, v. 740, p. 89-99. 2014.
- DODDS, W.K.; JONES, J.R.; WELCH, E.B. Suggested classification of stream trophic state: distributions of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen, and phosphorus. **Water Research**, v. 32, p. 1455-1462. 1998.
- DEMARQ, H. Trends in primary production, sea surface temperature and wind in upwelling systems (1998–2007). **Progress in Oceanography**, v. 83, p. 376-385. 2009.
- FERRAREZE, M. The effect of the land use on phytoplankton assemblages of a Cerrado stream (Brazil). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 24, n. 43-51. 2012.
- FIGUEROA-NIEVES, D.; ROYER, T.V.; DAVID, M.B. Controls on chlorophyll-*a* in nutrient-rich agricultural streams in Illinois, USA. **Hydrobiologia**, v. 568, p. 287-298. 2006.
- FOLEY, J.A.; DEFRIES, R.; ASNER, G.P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S.R.; CHAPIN, F.S.; COE, M.T.; DAILY, G.C.; GIBBS, H.K.; HELKOWSKI, J.H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E.A.; KUCHARIK, C.J.; MONFREDA, C.; PATZ, J.A.; PRENTICE, I.C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P.K. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, p. 570-574. 2005.
- GREGOR, J.; MARSALEK, B. Freshwater phytoplankton quantification by chlorophyll a: a comparative study of in vitro, in vivo and in situ methods. **Water Research**, v. 38, p. 517-522. 2004.
- GUDMUNDSDOTTIR, R.; GISLASON, G.M.; PALSSON, S.; OLAFSSON, J.S.; SCHOMACKER, A.; FRIBERG, N.; WOODWARD, G.; HANNESDOTTIR, E.R.; MOSS, B. Effects of temperature regime on primary producers in Icelandic geothermal streams. **Aquatic Botany**, v. 95, p. 278-286. 2011.

IZAGIRRE, O.; SERRA, A.; GUASCH, H.; ELOSEGI, A. Effects of sediment deposition on periphytic biomass, photosynthetic activity and algal community structure. **Science of the Total Environment**, v. 407, p. 5694-5700. 2009.

IZYDORCZYK, K.; CARPENTIER, C.; MRÓWCZYNSKI, J.; WAGENVOORT, A.; JURCZAK, T.; TARCZYNSKA, M. Establishment of an Alert Level Framework for cyanobacteria in drinking water resources by using the Algae Online Analyser for monitoring cyanobacterial chlorophyll a. **Water Research**, v. 43, p. 989-996. 2009.

KASPRZAK, P.; PADISÁK, J.; KOSCHEL, R.; KRIENITZ, L.; GERVAIS, F. Chlorophyll a concentration across a trophic gradient of lakes: An estimator of phytoplankton biomass? **Limnologica**, v. 38, p. 327-338. 2008.

KILROY, C.; BOOKER, D.J.; DRUMMOND, L.; WECH, J.A.; SNELDER, T.H. Estimating periphyton standing crop in streams: a comparison of chlorophyll a sampling and visual assessments. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, v. 47, n. 2, p. 208-224. 2013.

KLINK, C.A.; MACHADO, R.B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 707-713. 2005.

LAL, R. Soil Carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, v. 304, n. 11, p. 1623-1627. 2004.

LEADLEY, P.; PEREIRA, H.M.; ALKEMADE, R.; FERNANDEZ-MANJARRÉS, J.F.; PROENÇA, V.; SCHARLEMANN, J.P.W.; WALPOLE, M.J. **Biodiversity Scenarios: Projections of 21st century change in biodiversity and associated ecosystem services**. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. Technical Series no. 50. 2010. 132 p.

LEE, R.E. 2008. **Phycology**. Cambridge university press. 547p.

MARRIS, E. Conservation in Brazil: the forgotten ecosystem. **Nature**, v. 147, p. 944-945. 2005.

MIRANDA, L.E.; ANDREWS, C.S.; KROGER, R. Connectedness of land use, nutrients, primary production, and fish assemblages in oxbow lakes. **Aquatic Sciences**, v. 76, n. 41-50. 2014.

MOULTON, T.P.; SOUZA, M.L.; WALTER, T.L.; KRSULOVIC, A.M. Patterns of periphyton chlorophyll and dry mass in a neotropical stream: a cheap and rapid analysis using a hand-held fluorometer. **Marine and Freshwater Research**, v. 60, p. 224-233. 2009.

PINN, S.L.; JENKINS, C.N.; ABELL, R.; BROOKS, T.M.; GITTLEMAN, J.L.; JOPPA, L.N.; RAVEN, P.H.; ROBERTS, C.M.; SEXTON, J.O. The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. **Science**, v. 344, n. 6187, p. 987-997. 2014.

REID, W.V.; MOONEY, H.A.; CROPPER, A.; CAPISTRANO, D.; CARPENTER, S.R.; CHOPRA, K.; DASGUPTA, P.; DIETZ, T.; DURAIAPPAH, A.K.; HASSAN, R.; KASPERSON, R.; LEEMANS, R.; MAY, R.M.; McMICHAEL, T.; PINGALI, P.; SAMPER, C.; SHOLES, R.; WATSON, R.T.; ZAKRI, A.H.; SHIDONG, Z.; ASH, N.J.; BENNETT, E.; KUMAR, P.; LEE, M.J.; RAUDSEPP-HEARNE, C.; SIMONS, H.; THONELL, J.; ZUREK, M.B. **Ecosystems and Human Well-being: A Report of the Millennium Ecosystem Assessment**. Island Press, Washington, DC. 2005. 137p.

SILVA, E.I.L.; SHIMIZU, A.; MATSUNAMI, H. Salt pollution in a Japanese stream and its effects on water chemistry and epilithic algal chlorophyll-*a*. **Hydrobiologia**, v. 437, p. 139-148. 2000.

URREA-CLOS, G.; GARCÍA-BERTHOU, E.; SABATER, S. Factors explaining the patterns of benthic chlorophyll-*a* distribution in a large agricultural Iberian basin (Guadiana river). **Ecological Indicators**, v. 36, p. 463-469. 2014.

WISE, M.; CALVIN, K.; THOMSON, A.; CLARKE, L.; BOND-LAMBERTY, B.; SANDS, R.; SMITH, S.J.; JANETOS, A.; EDMONDS, J. Implications of limiting CO<sub>2</sub> concentrations for land use and energy. **Science**, v. 324, p. 1183-1186. 2009.

## Objetivos

A dissertação foi dividida em dois manuscritos. O primeiro foi intitulado “**Uso e cobertura do solo por meio de uma série histórica na bacia do rio Santa Teresa em Goiás**”. Teve como objetivo geral fazer uma avaliação da cobertura e uso do solo na bacia do rio Santa Teresa por meio de uma série histórica de 28 anos. Além disso, i) determinar a hipsometria e a declividade da bacia hidrográfica, ii) avaliar a porcentagem de vegetação remanescente, pastagem, queimada, solo exposto e água e iii) apontar as principais mudanças na cobertura do solo ao longo dos anos, além de destacar as implicações das mudanças e a necessidade de conservação da bacia. Esse manuscrito será enviado para a revista *Árvore*. As citações e referências foram formatadas de acordo com as normas da revista.

O segundo manuscrito foi intitulado “**Influência relativa de efeitos ambientais diretos e indiretos na concentração da clorofila-*a* em riachos do Cerrado**”. Teve como objetivo geral determinar a importância relativa dos componentes ambientais locais e de paisagem e verificar os efeitos diretos e indiretos dessas variáveis na concentração da clorofila-*a* em riachos da bacia do rio Santa Teresa. Além disso, i) caracterizar limnologicamente os ambientes aquáticos estudados; ii) quantificar as informações de uso e cobertura do solo as margens destes ambientes e iii) identificar quais variáveis exercem maior influência na concentração da clorofila-*a*. Esse manuscrito será enviado para a revista *Natureza & Conservação*. As citações e referências foram formatadas de acordo com as normas da revista.

## Uso e cobertura do solo por meio de uma série histórica na bacia do rio Santa Teresa em Goiás

Pedro Paulino Borges<sup>1\*</sup>, Anamaria Achtschin Ferreira<sup>1</sup>, Patrick Thomaz de Aquino Martins<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Goiás – UEG, Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas - UnUCET. BR 153, n° 3.105, CEP 75132-903. Anápolis, Goiás, Brasil.

\*E-mail: borgespep@gmail.com

### Resumo

As atividades humanas em todo o planeta afetam os recursos naturais. O uso e ocupação do solo de forma desordenada leva a degradação ambiental e perda de recursos. Esse cenário tem sido observado para o Cerrado. A vegetação do bioma tem sido intensamente convertida ao longo do tempo para diversos fins. O trabalho teve como objetivo avaliar o uso e cobertura do solo através de uma série histórica de 28 anos na bacia do rio Santa Teresa em Goiás. Foram obtidas imagens dos satélites Landsat 5 e 8 para os anos de 1985, 1997 e 2013. As imagens foram processadas usando o programa ENVI 4.7 e ArcGIS 10.0. Foi possível verificar que a cobertura do solo tem mudado ao longo do tempo. De 1985 até 2013 houve uma redução de 17,22% da vegetação natural. A vegetação tem sido convertida principalmente em áreas de pastagem para a criação de gado. Além disso, áreas com solo exposto também tem aumentado, reflexo principalmente das atividades agropecuárias. A bacia do rio Santa Teresa tem uma grande área de vegetação remanescente de Cerrado (70,37% da área da bacia em 2013). Entretanto, apesar das mudanças ocorrerem de forma lenta, ressaltamos a necessidade de esforços da comunidade científica para inventariar os recursos naturais, pois a bacia carece de estudos científicos, e com isso, buscar maneiras de conservar o que resta antes que seja degradado.

**Palavras-chave:** Cerrado; Conservação; Geoprocessamento.

### Abstract

Human activities on the planet affect natural resources. The use and occupation of the soil in a disorganized way leads to environmental degradation and loss of resources, this scenario has been observed for the Cerrado. The vegetation biome has been extensively converted over time for various purposes. The study aimed to evaluate the use of land through a story set 28 years in Santa Teresa river basin in Goiás. Satellite images Landsat 5 and 8 for the years 1985, 1997 and 2013 were obtained. Images were processed using ENVI 4.7 and ArcGIS 10.0. We observed that the soil cover has changed over the time, from 1985 until 2013 there was a reduction of 17.22% of the natural vegetation. The vegetation has been converted mainly grazing areas for cattle breeding. In addition, areas with exposed soil has also increased, mainly reflecting the livestock activities. The basin of the river Santa Teresa also has a large remaining green area (70.37% of the basin area in 2013). However, despite the changes occur slowly, we emphasize the need for efforts of the scientific community to

inventory the natural resources because the basin lacks scientific studies and thus find ways to conserve what is left before it is degraded.

**Keywords:** Cerrado; Conservation; Geoprocessing.

## **Introdução**

As atividades humanas desenvolvidas com grande intensidade em todo o planeta terra afetam os recursos naturais de forma negativa, o que ocasiona a sua diminuição (FOLEY et al. 2005; LIU et al. 2011). Tal fato ocorre devido principalmente às alterações ambientais da paisagem ao redor das bacias hidrográficas, que leva a degradação ambiental e diminuição do número de espécies (LEADLEY et al. 2010). Desse modo, é necessária a contínua avaliação da cobertura e uso do solo para compreender a evolução da conversão da vegetação natural ao longo do tempo e como os recursos naturais são afetados. Tal processo de degradação ambiental pode ser observado através de estudos de séries temporais (PINHEIRO; DURINGAN, 2009).

O Brasil é um país com elevada diversidade de recursos naturais e é considerado megadiverso (RODRIGUES, 2005). Além disso, possui dois biomas como *hotspots* (Cerrado e a Mata Atlântica), que são áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade (MYERS et al. 2000). Realizar pesquisas nas bacias hidrográficas brasileiras é muito importante para o conhecimento e manutenção da sua elevada diversidade (AGOSTINHO et al. 2005), e também para a manutenção dos recursos hídricos (TUCCI et al. 2001), pois a água doce está cada vez mais escassa, principalmente por causa das atividades humanas, que muitas vezes, a torna imprópria para o consumo (SILVA et al. 2006; TUCCI et al. 2001).

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro com uma extensão de mais ou menos 2.000 milhões de km<sup>2</sup> (OLIVEIRA; MARQUIS, 2002; MASCARENHAS, 2009). O bioma tem sido intensamente degradado ao longo dos anos, devido às intensas atividades antrópicas, principalmente as relacionadas à pecuária extensiva e a agricultura mecanizada (OLIVEIRA; MARQUIS, 2002; PINHEIRO; DURIGAN, 2009). O uso desordenado do solo para fins que transformam a paisagem trás serias consequências para as bacias hidrográficas do Cerrado, já que diminui os seus recursos naturais.

Bacia hidrográfica pode ser definida como uma unidade de gestão de uma determinada paisagem em uma área geográfica qualquer, que compreende a área drenada pelo corpo de água que é o mais importante e também pelos seus tributários (PIRES et al. 2002). Destaca-se

ainda pelo fato de ser a unidade na qual se tem as melhores maneiras de realizar estudos relacionados ao uso da água e dos fluxos de matéria e energia do ambiente (PIRES et al. 2002). Além disso, estudos de qualidade de água, consideram alterações da cobertura do solo em um contexto de bacia, uma vez que é a unidade territorial mais indicada para a gestão dos corpos hídricos (REIS; FILHO, 2006).

Com o avanço de técnicas de geoprocessamento com o uso de ferramentas computacionais, é possível realizar um monitoramento efetivo e dizer qual é a cobertura e o uso do solo nas bacias hidrográficas dos biomas (MASCARENHAS et al. 2009). Nos últimos anos, os estudos de uso e cobertura do solo por meio de sensoriamento remoto tem sido facilitado pelo fato de cada vez mais estar surgindo softwares que podem ser usados para o mapeamento dos recursos naturais (BRITO; PRUDENTE, 2005). Ferramentas de geoprocessamento tais como Sistema de Informação Geográfica (SIG), podem ser usadas para auxiliar no manejo e recuperação dos ambientes em escala de bacia (REIS; FILHO, 2006).

Estudos de séries históricas associados às ferramentas computacionais, permitem observar o quão rápido são as mudanças na cobertura do solo e quais as suas implicações para o ambiente em termos de perda de recursos e desse modo, pode-se buscar maneiras de minimizar os impactos, pois a partir da detecção das mudanças na cobertura pelo mapeamento é gerado conhecimento para a proposição de políticas públicas de um determinado local (BRITO; PRUDENTE, 2005). Nesse sentido, o conhecimento de aspectos físicos é muito importante para a tomada de decisões, uma vez que a obtenção de mapas de uso e cobertura da terra auxiliam na conservação dos recursos naturais (ARAUJO-FILHO et al. 2007). Assim, caracterizar a cobertura e o uso do solo na bacia hidrográfica por meio de uma série histórica é de grande relevância para aumentar o conhecimento científico sobre o bioma e desse modo auxiliar na conservação dos remanescentes do Cerrado em Goiás.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a cobertura e uso do solo por meio de uma série histórica de 28 anos, com análises de imagens de satélite dos anos de 1985, 1997 e 2013 na bacia do rio Santa Teresa. Especificamente, buscou-se, i) determinar a hipsometria e a declividade da bacia hidrográfica, ii) avaliar a porcentagem de vegetação remanescente, pastagem, queimada, solo exposto e água e iii) apontar as principais mudanças na cobertura e uso do solo ao longo dos anos, além de destacar as suas implicações e a necessidade de conservação da bacia.

## Materiais e Métodos

### Área de estudo

A área de estudo encontra-se na região norte do estado de Goiás, na bacia do rio Santa Teresa (Figura 1). O rio Santa Teresa nasce em Goiás e é o principal corpo de água dentro da bacia. Destaca-se ainda por ser um dos principais afluentes do rio Tocantins (LATRUBESSE; CARVALHO, 2006; FERREIRA; TORKASKI, 2007). A área da bacia em Goiás é de aproximadamente 6.153,12 km<sup>2</sup>. A presença antrópica nessa bacia é pequena, uma vez que envolve poucos municípios que apresentam baixa demografia (IBGE, 2012).

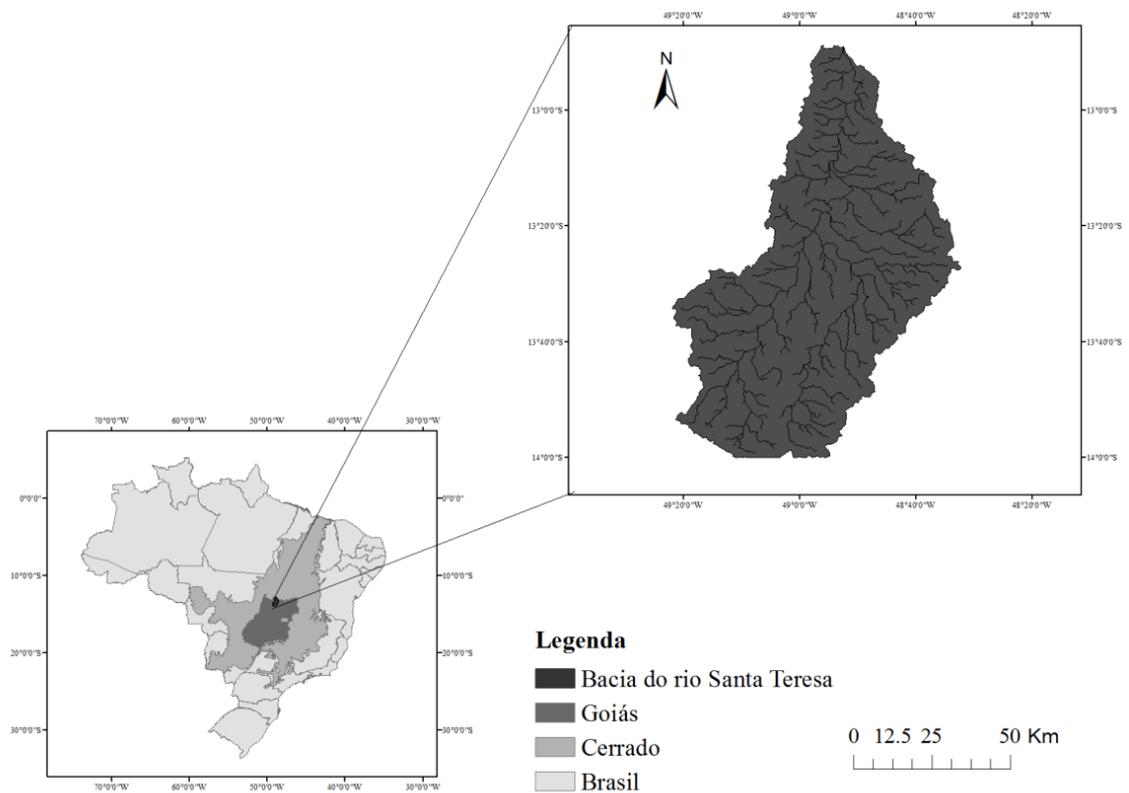


Figura 1- Mapa da bacia do rio Santa Teresa.

### Obtenção das imagens

Foram utilizadas imagens de 30m de resolução espacial dos satélites Landsat 5 e 8 disponíveis para os anos de 1985, 1997 e 2013. Para cada um dos anos selecionados foram obtidas duas cenas da órbita 222, pontos 69 e 70, para o reconhecimento da área da bacia de

drenagem. As imagens do Landsat 5 foram obtidas através do site do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) (Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>, acesso em março de 2014), e as do Landsat 8, foram obtidas do site do USGS (*United States Geological Survey*) (Disponível em: [www. http://earthexplorer.usgs.gov/](http://earthexplorer.usgs.gov/), acesso em março de 2014).

O período de imageamento das imagens compreendeu os meses de julho a setembro. Esse intervalo foi escolhido com o objetivo de obter imagens com menor quantidade de nuvens, uma vez que essa época compreende o período de seca no bioma Cerrado. Além disso, foi priorizada a obtenção das imagens de mesma data e hora, desse modo, o intervalo de dois meses permitiu a obtenção de todas as cenas necessárias.

Para a obtenção da drenagem da bacia, do mapa hipsométrico e declividade, foram obtidas imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), a partir do site do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>, acesso em: Abril de 2014) (MIRANDA, 2005).

### **Processamento das imagens**

Para a análise da cobertura e uso do solo na bacia foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5 do satélite Landsat 5 e as bandas 4, 5 e 6 do satélite Landsat 8. O datum utilizado em todas as etapas foi o WGS 1984. Foram feitas as correções geométricas utilizando como base a composição do Landsat 8, pois a mesma já é disponibilizada ortorretificada. Nessa etapa de correção das imagens, foi considerado um RMS (*Root Mean Square*)  $<0,05$ , o método utilizado foi o polinomial, a equação foi a de 1º grau e o método de amostragem foi o do vizinho mais próximo.

Após a correção das imagens, foi necessário obter os limites da bacia hidrográfica para posteriormente usar como máscara e fazer o recorte da área de interesse nas imagens do Landsat. A delimitação da bacia foi feita utilizando duas imagens SRTM, as quais foram mosaicadas no programa ENVI 4.7. Após o mosaico, foi aferida a drenagem, e por fim, foi obtido o limite da bacia do rio Santa Teresa em formato *shapefile* (SOBRINHO et al. 2010). Esses procedimentos foram realizados no ArcGIS 10.0 (ESRI, 2012). Após a delimitação da bacia, o *shapefile* foi usado como máscara para a realização do recorte nas imagens Landsat que foram georreferenciadas. Após a delimitação realizou-se a classificação do recorte da bacia nas imagens Landsat.

Foram definidas seis classes de identificação a saber: remanescente de Cerrado, água, solo exposto, queimada, pastagem e não classificado. As classes área urbana e agricultura não foram incluídas, uma vez que na bacia existem apenas alguns pequenos municípios e a agricultura é de subsistência, portanto a inclusão dessas duas classes causaria confusão na identificação das demais.

A classificação utilizada foi a supervisionada, o método foi o *maximum likelihood* (RICHARDS; JIA, 1986) e foi considerado um valor de Kappa quase perfeito, acima de 0,81 (LANDIS; KOCH, 1977). Essas etapas foram realizadas no ENVI 4.7. Depois da classificação, foi realizada a edição dos polígonos que haviam sido classificados de forma errada, o procedimento foi feito no ArcGIS (ESRI, 2012). Em seguida, as subdivisões foram incluídas em uma única classe, no final foram obtidos os valores em Km<sup>2</sup> das seguintes classes: vegetação remanescente, água, queimada, solo exposto, pastagem e não classificado.

Para obter a hipsometria e a declividade da bacia utilizou-se as imagens SRTM. Após a obtenção dos valores de altitude e declividade foi calculada a porcentagem de cada intervalo das classes na bacia. A interpretação do resultado da declividade foi baseada nas classes definidas pela EMBRAPA (plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado, montanhoso e forte montanhoso) (EMBRAPA, 1979).

### **Análise de dados**

Para verificar a relação entre a cobertura e os usos do solo nos anos de 1985 e 2013, utilizou-se o coeficiente de associação de Yule. Esse coeficiente varia de -1 a +1, valores negativos indicam uma relação inversa, ou seja, na medida em que os valores de uma variável aumentam os da outra diminuem, enquanto que valores positivos indicam que há uma associação positiva entre ambas as variáveis (VIEIRA, 1980). Os dados foram organizados de acordo com o exemplo da Tabela 1, o cálculo do coeficiente foi obtido através da fórmula 01 e sua significância foi testada através das fórmulas 02 e 03

Tabela 1- Tabela exemplo de como organizar os dados para o cálculo do coeficiente de associação de Yule.

Uso e cobertura do solo		
Ano	Pastagem	Remanescente
1985	n11	n12
2013	n21	n22

Fonte: Adaptado de VIEIRA, 1980

$$\text{Fórmula 01- } Y = \frac{n11 \times n22 - n12 \times n21}{n11 \times n22 + n12 \times n21}$$

$$\text{Fórmula 02- } sY = \frac{1-Y^2}{2} \times \text{raiz}\left(\frac{1}{n11} + \frac{1}{n12} + \frac{1}{n21} + \frac{1}{n22}\right)$$

$$\text{Fórmula 03- } Y \pm t \times s$$

Onde,

Y= Coeficiente de Yule

s= Desvio padrão

t= Valor tabelado de t a um nível de confiança de 5%

## Resultados

A cobertura do solo na bacia do rio Santa Teresa tem sido alterada ao longo dos anos como mostra a Tabela 2. No ano de 1985 havia maior porcentagem de área de vegetação preservada, entretanto, esta tem sido convertida ao longo do tempo para diversos usos.

Tabela2- Valores em Km<sup>2</sup> e em porcentagem (%) da cobertura e uso do solo nos três anos analisados para a bacia do rio Santa Teresa em Goiás.

Anos	1985		1997		2013	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Classes						
Água	11,98	0,19	14,65	0,24	86,16	1,40
Solo exposto	128,98	2,09	232,77	3,78	272,6	4,43
Queimada	201,97	3,28	290,77	4,72	308	5
Pastagem	421,71	6,84	897,84	14,57	1141	18,54
Remanescente de vegetação	5398,43	87,59	4726,31	76,70	4330	70,37
Não classificado	0,38	0,0062	0	0	15,61	0,25

No ano de 1985 ainda havia bastante vegetação remanescente (87,59% da área da bacia) e pouca degradação ambiental (Figura 2). A segunda classe com maior representatividade foi pastagem, seguida de queimada e solo exposto. Nesse ano foi detectado uma pequena quantidade de água e algumas áreas com presença de nuvens.

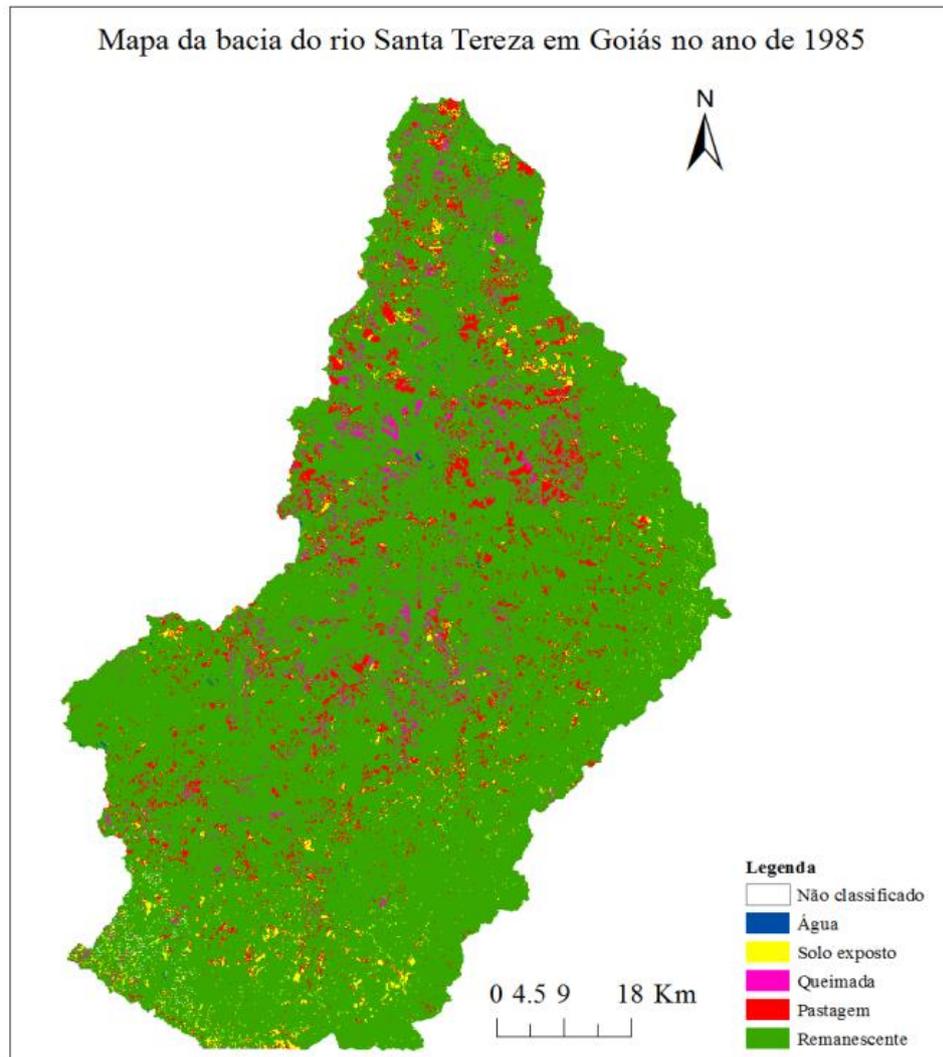


Figura 2- Mapa de cobertura e uso do solo com as classes adotadas na bacia do rio Santa Teresa no ano de 1985.

Em 1997, já se percebe mudanças na cobertura do solo na bacia hidrográfica (Figura 3), quando comparado com o ano de 1985. De 1985 à 1997, houve uma diminuição de 10,89% da vegetação remanescente e um aumento de 7,73% da quantidade de área destinada a pastagem, locais com solo exposto (1,69%), maior incidência de queimada e foi detectada uma maior quantidade de água na bacia hidrográfica.

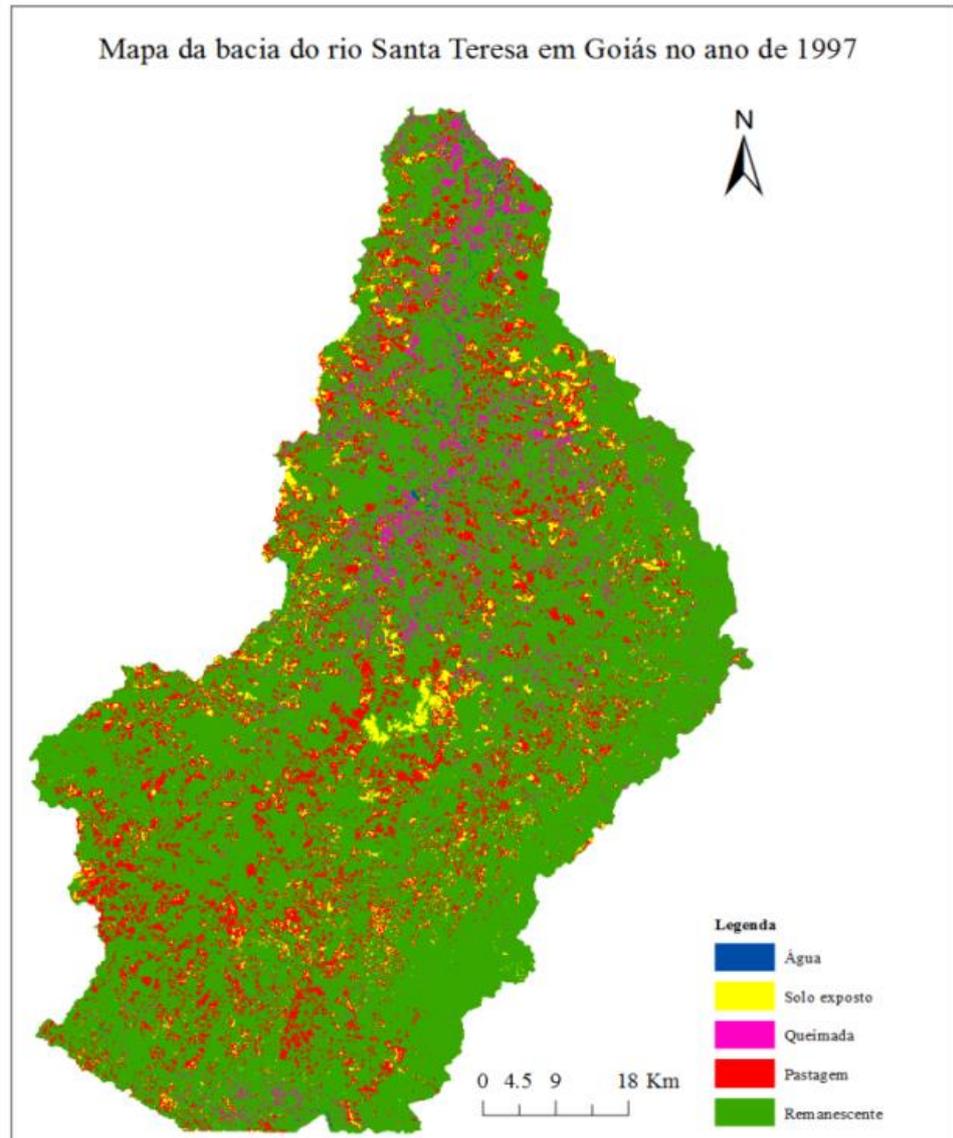


Figura 3- Mapa de cobertura e uso do solo com as classes adotadas na bacia do rio Santa Teresa no ano de 1997.

Em 2013, houve mudanças bem visíveis na cobertura do solo na região em relação aos anos de 1985 e 1997. Houve diminuição considerável da vegetação natural (17,22%) e aumento da degradação ambiental. Foi nítido, principalmente, o aumento de área destinada a pastagem e solo exposto. Foi observado também uma maior incidência de queimadas e notou-se um aumento na quantidade de água detectada (Ver Figura 4 e Tabela 1).

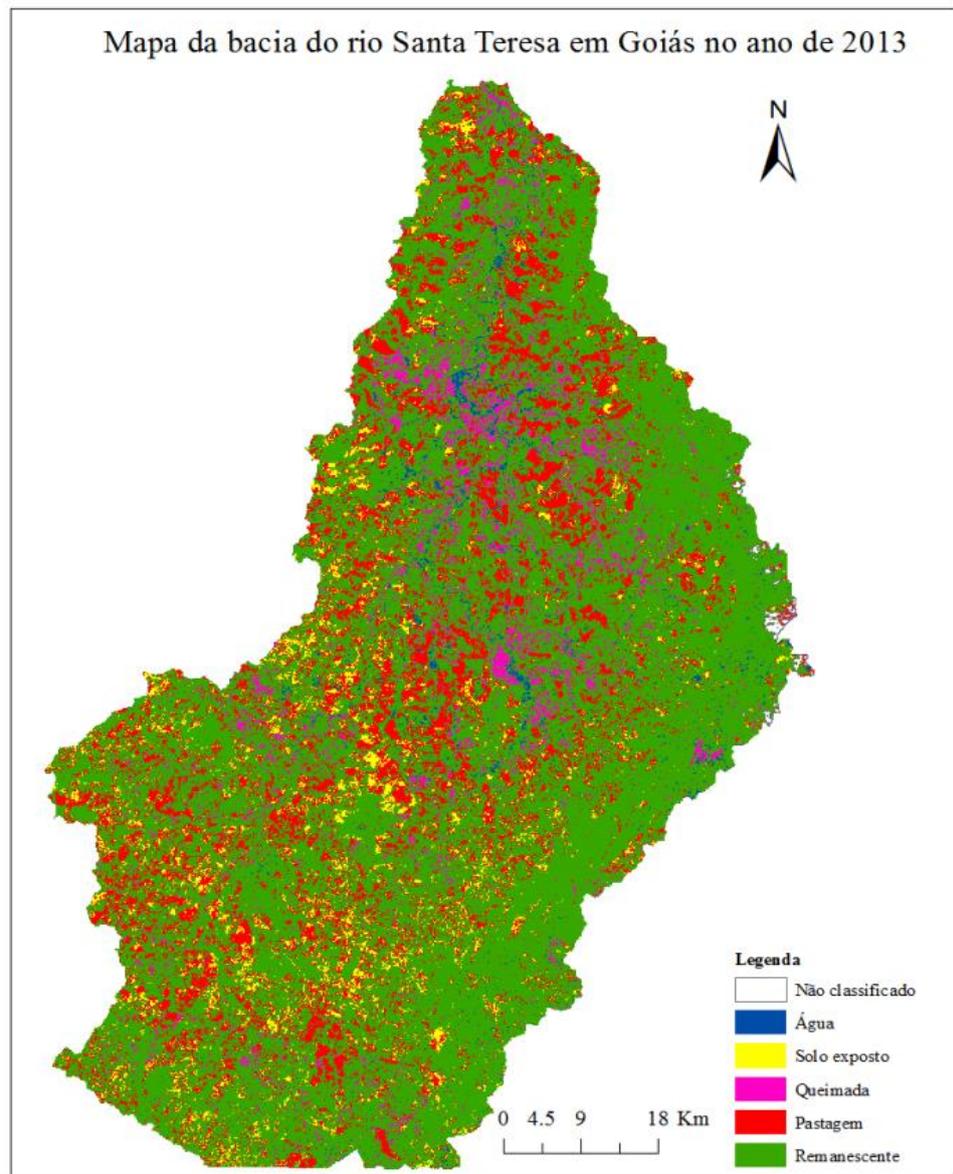


Figura 4- Mapa de cobertura e uso do solo com as classes adotadas na bacia do rio Santa Teresa no ano de 2013.

O coeficiente de Yule (Tabela 3) mostrou que com o aumento das áreas de pastagem, solo exposto, queimada e água, diminui-se a quantidade de remanescente. Além disso, houve uma associação positiva de pastagem com solo exposto, queimada e água.

Tabela 3- Valores do coeficiente de associação de Yule para os dados de cobertura e uso do solo.

	Remanescente	Pastagem	Solo exposto	Queimada	Água
Remanescente	1				
Pastagem	-0.54*	1			
Solo exposto	-0.45*	0.09*	1		
Queimada	-0.31*	0.33*	0.16*	1	
Água	-0.79*	0.45*	0.54*	0.64*	1

\* Associação significativa

Com relação à hipsometria da bacia do rio Santa Teresa, foram definidas sete classes de altitudes (Figura 5). A menor altitude foi 270m, enquanto que a maior altitude foi 970m. A maior parte da bacia se encontra em baixas altitudes, entre 337-378m de altitude (32%), seguido de 379-429m (21%) e 430-495m (12%). Para a declividade, o menor valor foi zero, enquanto que o maior foi 39,16%. A maior parte da bacia se encontra em relevo plano (62%) (Figura 5), seguido de suave ondulado (28%), ondulado (6%) e a classe menos representativa foi o forte ondulado (2%). Na área da bacia não há relevo do tipo montanhoso e forte montanhoso.

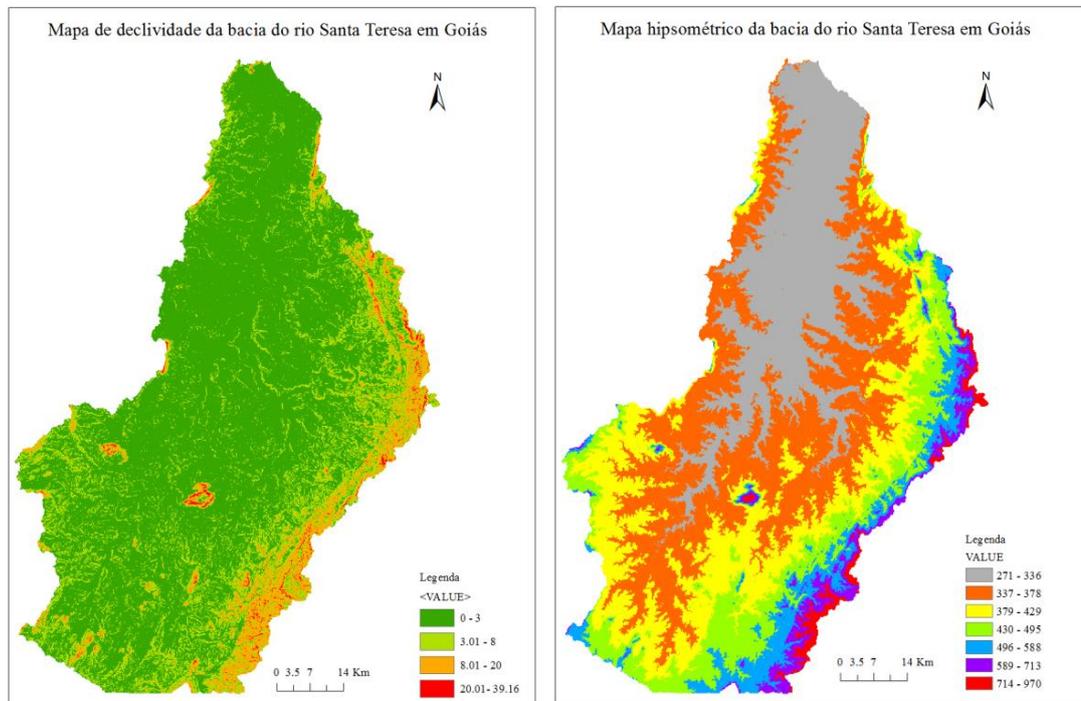


Figura 5- Mapa de declividade e hipsométrico da bacia do rio Santa Teresa em Goiás.

## **Discussão**

### **Mudanças na cobertura e uso do solo**

Nas últimas três décadas a vegetação de Cerrado tem sido intensamente convertida, principalmente em áreas de pastagem e agricultura (KLINK; MACHADO, 2005), sendo que a classe de uso mais freqüente para o Cerrado como um todo são as pastagens (KLINK; MACHADO, 2005; SANO et al. 2008). Goiás é o único estado que tem todo o território inserido na área core do Cerrado (CARVALHO et al. 2009) e a conversão de sua vegetação tem sido intensa, atualmente restam apenas algumas áreas preservadas, principalmente na região nordeste e em menor parte, no norte do Estado (CARVALHO et al. 2008; SANO et al. 2008; CARVALHO et al. 2009).

Mais de 44% do Cerrado em Goiás tem o uso destinado às pastagens (CARVALHO et al. 2008; CARVALHO et al. 2009). Esse uso também foi o mais comum na bacia analisada que apresenta intensa atividade agropecuária. De fato, como mostrado por outros mapeamentos em Goiás, o uso do solo na região oeste e em parte do norte de Goiás, onde se encontra a bacia é predominantemente destinado as atividades agropecuárias, sem predomínio de monoculturas (CARVALHO et al. 2008; SANO et al. 2008; CARVALHO et al. 2009).

Goiás tem grande contribuição na produção de gado e comercialização de carne e leite para outros Estados (SEPLAN, 2011). Ele está entre os Estados com maior produção em termos de cabeças de gado e essa demanda tem crescido cada vez mais. No ano 2000 haviam 18.399,222 cabeças de gado, em 2010 esse número já aumentou para 21.347,881 (SEPLAN, 2011), esse aumento do rebanho justifica o aumento da área destinada para pastagens ao longo do tempo.

No bioma Cerrado há queimadas frequentes que afetam a vegetação (MISTRY et al. 2005), e são causadas tanto por causas naturais, quanto antrópicas (RIBEIRO et al. 2011). É um evento comum e quando ocorre de forma natural é importante para várias espécies de plantas, uma vez que auxilia na floração e reprodução (MIRANDA et al. 2002; MISTRY et al. 2005). Além disso, ajuda na fixação de alguns nutrientes e também no controle de espécies exóticas invasoras que não são adaptadas ao fogo (MISTRY et al. 2005).

Goiás é um dos estados que mais tem queimadas no País (TANSEY et al. 2004). Além das queimadas naturais, geralmente o fogo é utilizado pelos fazendeiros para a limpeza do pasto (TANSEY et al. 2004; MARRIS, 2005). Isto explica, em parte, áreas de incêndios estarem associadas com áreas de pastagem, como pode ser visto nos mapas de cobertura e uso do solo e através do coeficiente de Yule. O aumento da quantidade de área queimada por exemplo, é explicado principalmente pelo aumento das pastagens ao longo do tempo.

A atividade agropecuária na região da bacia também é responsável pela degradação dos solos, pois muitas vezes há retirada de vegetação remanescente para criação do gado. Além disso, as queimadas para a limpeza do pasto podem contribuir para o processo de deterioração dos solos já que altera o seu micro-clima (MIRANDA et al. 2002). Esses fatores, associados também ao pisoteio do gado podem levar a erosão dos solos (CARVALHO et al. 2009; WANTZEN, 2012), com isso, os solos ficam menos protegidos e durante épocas de chuva ocorre menos penetração de água ocasionando processos de perda da qualidade dos mesmos (CARVALHO et al. 2009). O aumento na quantidade de área de solo exposto, provavelmente foi devido ao fato de áreas de pastagens e queimadas terem aumentado ao longo do tempo.

A diminuição da vegetação remanescente de Cerrado na bacia é explicada principalmente pelo aumento de área de pastagem para a criação do gado. Esse padrão de aumento de pastagens que foi visto para a bacia, tem se intensificado ao longo do tempo no Cerrado como um todo (KLINK; MACHADO, 2005; SANO et al. 2008). Além disso, destaca-se ainda que na região de estudo ocorre retirada de madeira para a construção, queima produção de carvão, fabricação de papel e madeira em tora para a venda (IBGE, 2012).

Apesar de ter sido observado um aumento da quantidade de área para a classe água, isso não significa que esse recurso tenha aumentado ao longo do tempo. Ao contrário, com a degradação ambiental, espera-se que haja diminuição do recurso em determinados lugares (TUCCI et al. 2001; FOLEY et al. 2005; LIMA; SILVA, 2005). Esse aumento observado se dá pela maior visibilidade desses corpos hídricos, pois a retirada da vegetação remanescente, principalmente no entorno dos ambientes aquáticos faz com que seja possível detectar na imagem de satélite. Em 1995 era mais difícil a detecção já que a vegetação era mais preservada, com formação de galerias e intensas matas ciliares, portanto algumas partes dos corpos hídricos de maior e os de menor ordem não apareciam nas imagens e não foram contabilizados dentro da sua classe.

## **Relevo**

A maior parte da bacia tem relevo plano, o que é comum no Cerrado, já que grande parte do bioma se encontra em terras planas (CARVALHO et al. 2008). A bacia analisada está situada em uma superfície regional de aplanamento (SRA) IV, que se caracteriza por apresentar um relevo plano e de baixas altitudes. As SRAs são determinadas predominantemente por processos evolutivos de Etchplanação (LATRUBESSE et al. 2005), portanto os valores de altitudes e declividades encontrados para a bacia são reflexo da evolução geológica da região.

Apesar de ter havido mudanças na cobertura e uso do solo, a bacia do rio Santa Teresa atualmente ainda apresenta elevada porcentagem de Cerrado. Essa bacia se encontra parcialmente dentro da bacia do alto Tocantins que em Goiás abrange parte do norte e o nordeste do Estado (LATRUBESSE; CARVALHO, 2006; FERREIRA; TORKASKI, 2007), locais que possuem as maiores áreas de vegetação de Cerrado preservada (CARVALHO et al. 2008; SANO et al. 2008; CARVALHO et al. 2009). Alguns autores destacam que a topografia é um dos principais fatores que influencia no uso do solo (VELDKAMP; LAMBIN, 2001; CARVALHO et al. 2008). Regiões mais preservadas em Goiás geralmente se encontram em locais onde há relevos acidentados (CARVALHO et al. 2008; CARVALHO et al. 2009).

Entretanto, para a região de estudo a topografia não é o único determinante, uma vez que grande parte da bacia se encontra em relevo plano. Além do relevo, outros fatores podem contribuir para a existência de Cerrado bem preservado, como por exemplo, a distância de grandes Cidades com elevado consumo (SANO et al. 2008). Ressalta-se também a importância da demografia do local e das proximidades (VELDKAMP; LAMBIN, 2001; SANO et al. 2008), pois a bacia possui poucas Cidades e com baixa densidade populacional (IBGE, 2012). Além disso, outro fator que pode contribuir é o baixo poder aquisitivo para investir em grandes monoculturas (VELDKAMP; LAMBIN, 2001).

## **Implicações das mudanças na cobertura do solo e conservação da bacia**

O uso inadequado do solo pode levar a diversas consequências, tais como perdas de serviços que os ambientes naturais nos prestam (FOLEY et al. 2005). Com a modificação da paisagem, tem-se perda de recursos hídricos (TUCCI et al. 2001; LIMA; FOLEY et al. 2005;

SILVA, 2005), florestais, modificação da qualidade do ar e do clima regional, além disso, ocorre uma maior probabilidade de infecções de doenças (FOLEY et al. 2005) entre outros problemas que o uso desordenado do solo ocasiona de forma direta e indiretamente.

O fogo ocasionado por causas antrópicas, e não por causas naturais, quando se torna mais frequente no Cerrado, pode trazer prejuízos para as plantas em recuperação que estão produzindo brotos (MIRANDA; SATO, 2005). Acarreta problemas para plantas em crescimento e em reprodução, tanto vegetativa, quanto sexual, e afeta a densidade e composição de plantas de algumas fitofissionomias (HOFFMANN; MOREIRA, 2002). Além disso, ocasiona a morte de diversas espécies de animais, principalmente os que não conseguem se esconder ou aqueles com locomoção lenta (FRIZZO et al. 2011).

Os solos da região são predominantemente latossolos, o uso inadequado desse tipo de solo pode causar impactos no ambiente, uma vez que são muito suscetíveis a erosão (REATTO et al. 2008). É necessário cautela com relação à exploração do solo na bacia, pois a retirada da vegetação faz com que partes mais baixas da topografia sejam afetadas (WANTZEN, 2012), pois são locais de acúmulo dos sedimentos, o que prejudica os ambientes aquáticos (LAL, 2002; FERREIRA; TORKASKI, 2007). Desse modo, destaca-se a necessidade de preservação, principalmente de áreas de relevo ondulado e forte ondulado. É importante também que ocorra a manutenção das zonas úmidas na bacia, pois elas retêm carbono e as ações de uso do solo de maneira inadequado na bacia, leva a diminuição do carbono armazenado no ambiente (LAL, 2002; WANTZEN, 2012).

A região do Cerrado contém uma grande oferta de recursos hídricos, o bioma é de grande importância, pois auxilia na formação de diversas bacias hidrográficas brasileiras, uma vez que abriga inúmeras áreas de nascentes (LIMA; SILVA, 2005). Através da drenagem obtida por este estudo, é possível perceber que a região da bacia do rio Santa Teresa em Goiás apresenta áreas de diversas nascentes e contribui para a formação de grandes rios brasileiros, como por exemplo, o rio Tocantins.

Entretanto, como pode ser visto no ano de 2013, os corpos hídricos da região estão cada vez mais desprotegidos, com a retirada da mata ripária principalmente para a criação de pastagem e madeira para diversos usos. De acordo com o código florestal, esses locais são áreas de preservação permanente (APPs), portanto não poderiam ser desmatados (BRASIL, 2012). O uso inadequado do solo é um dos principais determinantes da qualidade de água de uma bacia (TUCCI et al. 2001; FOLEY et al. 2005) e uma vez que apenas uma pequena parte

da água doce no planeta está conservada (SILVA et al. 2006), ressalta-se a necessidade de melhor fiscalização para a conservação dos recursos naturais, principalmente os hídricos da região em questão.

Por fim, destaca-se que é necessário a proposição de estratégias de conservação para essa bacia do Cerrado goiano, uma vez que a região em questão é um dos poucos lugares que ainda tem os recursos naturais preservados. Entretanto, apesar de ocorrer de forma lenta, a cobertura do solo tem mudado. Conseqüentemente, essas mudanças levam a perda de biodiversidade (BUTCHART et al. 2010), portanto, é necessário manter os recursos naturais da bacia, pois eles nos prestam diversos serviços ecossistêmicos (FOLEY et al. 2005). Apontamos ainda a necessidade de avaliar continuamente a cobertura e o uso do solo, uma vez que as mudanças na paisagem são uma das principais ameaças à conservação da biodiversidade dos ecossistemas mundiais (LEADLEY, 2010). Como a bacia do rio Santa Teresa ainda é pouco estudada, ressaltamos que é preciso esforços da comunidade científica para inventariar os seus recursos naturais antes que sejam degradados.

## **Conclusão**

Este trabalho avaliou a cobertura e o uso do solo na bacia do rio Santa Teresa, norte de Goiás, em uma série histórica de 28 anos. Foi possível perceber que, apesar das mudanças na bacia ocorrerem de forma lenta ao longo do tempo, tem havido conversão da cobertura do solo principalmente para áreas de pastagem. O norte de Goiás, juntamente com o nordeste são os locais que ainda tem amplas áreas de remanescentes de Cerrado no Estado e que ainda estão preservadas. As áreas mais preservadas da bacia estão geralmente associadas a locais de elevada altitude e de relevo acidentado.

A retirada da vegetação remanescente ao longo do período estudado em locais próximos aos corpos hídricos, tem deixado o solo desprotegido o que pode ocasionar perda de qualidade dos mesmos. Destaca-se ainda a necessidade de maior fiscalização das áreas de APPs relacionadas aos corpos aquáticos, visto que tem havido desmatamentos nesses locais. Além disso, dado os problemas que o uso inadequado do fogo ocasiona, é necessário medidas de conscientização e de contenção do fogo causado por causas antrópicas na bacia.

O presente trabalho foi o primeiro a fazer a caracterização da cobertura, uso do solo e do relevo da bacia, porém são necessários posteriores estudos que continuem a avaliação da

cobertura do solo ao longo dos anos, pois áreas de pastagem e solo exposto tem crescido em detrimento de remanescentes de Cerrado. Destacamos que é necessário que a comunidade científica volte seus esforços de pesquisa para a região, já que ela carece de estudos científicos, para com isso, buscar medidas de conservação dos recursos naturais da bacia.

### **Agradecimentos**

PPB agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado. PTAM e AAF são parcialmente financiados pelo PROBIP/UEG. JCN é parcialmente financiado pelo CNPq (processo 309700/2013-2).

### **Referências**

AGOSTINHO, A.A.; THOMAZ, S.M.; GOMES, L.C. Conservação da biodiversidade em águas continentais do Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 70-18, jul. 2005.

ARAÚJO-FILHO, M.C.; MENESES, P.R.; SANO, E.E. Sistema de classificação de uso e cobertura da terra com base na análise de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.59, n. 02, p. 171-179. 2007.

BRASIL. **Novo código florestal lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Lei nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. 2012.

BRITO, J.L.S.; PRUDENTE, T.D. Temporal analyses of land use and vegetation cover in Uberlândia-MG (BRAZIL), using satellity ETM<sup>+</sup>/LANDSAT 7 images. **Sociedade & Natureza**, v. 17, n. 32, p. 37-46. 2005.

BUTCHART, S.H.M.; WALPOLE, M.; COLLEN, B.; STRIEN, A.V.; SCHARLEMANN, J.P.W.; ALMOND, R.E.A.; BAILLIE, J.E.M.; BOMHARD, B.; BROWN, C.; BRUNO, J.; CARPENTER, K.E.; CARR, G.M.; CHANSON, J.; CHENERY, A.M.; CSIRKE, J.; DAVIDSON, N.C.; DENTENER, F.; FOSTER, M.; GALLI, A.; GALLOWAY, J.N.; GENOVESI, P.; GREGORY, R.D.; HOCKINGS, M.; KAPOV, V.; LAMARQUE, J.F.; LEVERINGTON, F.; LOH, J.; MCGEOCH, M.A.; MCRAE, L.; MINASYAN, A.; MORCILLO, M.H.; OLDFIELD, T.E.E.; PAULY, D.; QUADER, S.; REVENGA, C.; SAUER, J.R.; SKOLNIK, B.; SPEAR, D.; STANWELL-SMITH, D.; STUART, S.N.; SYMES, A.; TIERNEY, M.; TYRRELL, T.D.; VIÉ, J.C.; WATSON, R. Global Biodiversity: Indicators of recent declines. **Science**, v. 328, p. 1164-1168. 2010.

CARVALHO, T.M.; FERREIRA, M.E.; BAYER, M. Análise integrada do uso da terra e geomorfologia do Bioma Cerrado: Um estudo de caso para Goiás. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.01, n. 01, p. 62-72. 2008.

CARVALHO, F.M.V.; JÚNIOR, P.M.; FERREIRA, L.G. The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. **Biological Conservation**, v. 142, p.1392–1403. 2009.

EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ)**. Súmula da 10<sup>a</sup> Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro.1979. 83p.

ESRI. **ArcGIS Desktop**: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute. 2012.

FERREIRA, E.A.B.; TOKARSKI, D, J. **Bacia hidrográfica do alto Tocantins: Retrato e reflexões**. 2007. 102 p.

FOLEY, J.A.; DEFRIES, R.; ASNER, G.P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S.R.; CHAPIN, F.S.; COE, M.T.; DAILY, G.C.; GIBBS, H.K.; HELKOWSKI, J.H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E.A.; KUCHARIK, C.J.; MONFREDA, C.; PATZ, J.A.; PRENTICE, C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P.K. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, p. 570-574. 2005.

FRIZZO, T.L.; BONIZÁRIO, C.; BORGES, M.P.; HERALDO, L. Revisão dos efeitos do fogo sobre a fauna de formações savânicas do Brasil. **Oecologia Australis**, v. 15, n. 02, p. 365-379. 2011.

HOFFMANN, W.A.; MOREIRA, A.G. 2002. The role of fire in population dynamics of woody plants .In: OLIVEIRA, P.S.; MARQUIS, R.J. **The Cerrados of Brazil Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**. Columbia University Press, New York, p. 159-177.

IBGE, 2012. **Informação sobre os municípios brasileiros**, disponível em:<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=52&search=goias>, acesso em: 20/07/2014.

KLINK, C.A.; MACHADO, R.B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 707-713. 2005.

LAL, R. Soil Carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, v. 304, n. 11, p. 1623-1627. 2004.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, p. 159-174. 1977.

LATRUBESSE, E.M.; CARVALHO, T.M.; STEVAUX, J.C. **Mapa geomorfológico do Estado de Goiás: Relatório final**. Goiânia. 2005. 73p.

LATRUBESSE, E.M.; CARVALHO, T.M. **Geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Goiânia. 2006. 127p.

LEADLEY, P.; PEREIRA, H.M.; ALKEMADE, R.; FERNANDEZ-MANJARRÉS, J.F.; PROENÇA, V.; SCHARLEMANN, J.P.W.; WALPOLE, M.J. **Biodiversity Scenarios: Projections of 21st century change in biodiversity and associated ecosystem services**. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. Technical Series no. 50.2010. 132 p.

- LIMA, J.E.F.W.; SILVA, E.M. .2005. Estimativa da produção hídrica superficial do Cerrado brasileiro. *In: SCARIOT, A.; SOUZA-SILVA, J.C.; FELFILI, J.M (org). **Cerrado: Ecologia, biodiversidade e conservação***. Brasília, Ministério do meio ambiente, p. 61-72.
- LIU, X.; ZHANG, L.; HONG, S. Global biodiversity research during 1900–2009: a bibliometric analysis. *Biodiversity Conservation*, v. 20, p. 807–826. 2011.
- MASCARENHAS, L.M.A.; FERREIRA, M.E.; FERREIRA, L.G. Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: Análise da cobertura vegetal remanescente na bacia do rio Araguaia. *Sociedade & Natureza*, v. 21, n. 1, p. 5-18. 2009.
- MIRANDA, E.E. **Brasil em Relevô**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: Abril de 2014.
- MIRANDA, H.S.; BUSTAMANTE, M.M.C.; MIRANDA, A.C. 2002. The fire factor. *In: OLIVEIRA, P.S.; MARQUIS, R.J. **The Cerrados of Brazil Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna***. Columbia University Press, New York, p. 51-68.
- MIRANDA, H.S.; SATO, M.N. 2005. Efeitos do fogo na vegetação lenhosa do Cerrado. *In: SCARIOT, A.; SOUZA-SILVA, J.C.; FELFILI, J.M (org). **Cerrado: Ecologia, biodiversidade e conservação***. Brasília, Ministério do meio ambiente, p. 93-105.
- MISTRY, J.; BERARDI, A.; ANDRADE, V.; KRAHÔ, T.; KRAHÔ, P.; LEONARDOS, O. Indigenous fire management in the cerrado of Brasil: The case of the Krahô of Tocantins. *Human Ecology*, v. 33, n. 3, p. 365-386. 2005.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, p. 553-558. 2000.
- OLIVEIRA, P.S.; MARQUIS, R.J. 2002. **The Cerrados of Brazil Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**. Columbia University Press, New York, 373 p
- PINHEIRO, E.S.; DURIGAN, G. Dinâmica espaço-temporal (1962-2006) das fitofisionomias em unidade de conservação do Cerrado no sudeste no Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 32, n. 3, p. 441-454. 2009.
- PIRES, J.S.R.; SANTOS, J.E.; DEL PRETTE, M.E. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. *In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A.F.M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações***, Ilhéus-BA: Editus, 2002, p. 17-35.
- REIS, J.T.; FILHO, W.P. Influência do uso e ocupação da terra no ecossistema aquático da sub-bacia hidrográfica do arroio cadena, em Santa Maria, RS. *Ciência e Natura*, v. 28, n. 1, p. 75-90. 2006.
- RICHARDS, J.A.; JIA, X. **Remote sensing digital image analysis**. Springer.1986. 438p.
- RIBEIRO, S.C.; FEHRMANN, L.; SOARES, C.P.B.; JACOVINE, L.A.G.; KLEINN, C.; GASPAR, R.O. Above and below ground biomass in a Brazilian Cerrado. *Forest Ecology and Management*, v. 262, p. 491-499. 2011.
- RODRIGUES, M.T. The conservation of Brazilian reptile: Challenges for a megadiverse country. *Conservation Biology*, v. 19, n. 3, p. 659-664. 2005.

SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.S.; FERREIRA, L.G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 153-156. 2008.

SEPLAN. **Goiás em dados**. 2011. 106p.

SILVA, B.A.W.; AZEVEDO, M.M.; MATOS, J.S. Gestão ambiental de bacias hidrográficas urbanas. **Revista VeraCidade**, n. 1, p. 1-7. 2006.

SOBRINHO, T.A.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B.; AYRES, F.M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola Jaboticabal**, v. 30, n.1, p.46-57. 2010.

REATTO, A.; CORREIA, J.R.; SPERA, S.T.; MARTINS, E.S. 2008. Solos do BiomaCerrado: Aspectos pedológicos. *In*: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F (org). **Cerrado ecologia e flora**. Brasília, Embrapa, p. 109-149.

TANSEY, K.; GRÉGOIRE, J.M.; STROPPIANA, D.; SOUSA, A.; SILVA, J.; PEREIRA, J.M.C.; BOSCHETTI, L.; MAGGI, M.; BRIVIO, P.A.; FRASER, R.; FLASSE, S.; ERSHOV, D.; BINAGHI, E.; GRAETZ, D.; PEDUZZI, P. Vegetation burning in the year 2000: Global burned área estimates from SPOT VEGETATION data. **Journal of Geophysical Research**, v. 109, p. 1-22. 2004.

TUCCI, C.E.M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O.M.C. **Gestão da água no Brasil**. Brasília: Unesco, 2001. 156 p.

VELDKAMP, A.; LAMBIN, E.F. Predicting land-use change. **Agriculture, Ecosystems and Environmental**, n. 85, p. 1-6. 2001.

VIEIRA, S. 1980. **Introdução à bioestatística**. Editora campus, 3º edição, 188p.

WANTZEN, K.M.; COUTO, E.G.; MUND, E.E.; AMORIM, R.S.S.;SIQUEIRA, A.; TIELBÖRGER, K.; SEIFAN, M. Soil carbon stocks in stream-valley-ecosystems in the Brazilian Cerrado agroscape. **Agriculture, Ecosystems and Environmental**, v. 151, p. 70-79. 2012.

## **Influência relativa de efeitos ambientais diretos e indiretos na concentração da clorofila-*a* em riachos do Cerrado**

Pedro Paulino Borges<sup>1</sup>, Fabrício Barreto Teresa<sup>1</sup>, Patrick Thomaz de Aquino Martins<sup>1</sup>, João Carlos Nabout<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Goiás – UEG, Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas - UnUCET. BR 153, nº 3.105, CEP 75132-903. Anápolis, Goiás, Brasil

\*E-mail: joao.nabout@ueg.br

### **Resumo**

A clorofila-*a* é uma boa representante do fitoplâncton e pode ser utilizada como indicadora de degradação ambiental em riachos. O objetivo deste trabalho foi determinar a importância relativa dos componentes ambientais locais e de paisagem e verificar os efeitos diretos e indiretos dessas variáveis na concentração da clorofila-*a* em riachos do Cerrado. Foram amostradas variáveis ambientais locais em 30 riachos na bacia do rio Santa Teresa em Goiás, além disso, foram obtidos dados de paisagem em cada sub-bacia. Os valores da clorofila-*a*, nutrientes, pH e oxigênio dissolvido sugerem que os riachos são oligotróficos. A região está conservada, ainda há bastante remanescente de Cerrado nas sub-bacias, o principal uso é destinado para as pastagens. As variáveis mais importantes que influenciaram a concentração de clorofila-*a* foram as locais, dentre elas, a que teve maior importância foi a condutividade. A análise de caminhos demonstrou que todas as variáveis utilizadas na análise influenciaram mais de forma direta do que indiretamente a concentração de clorofila-*a*. Diretamente a condutividade foi a variável mais importante, seguida de turbidez, enquanto que de forma indireta, remanescente via condutividade e remanescente via pH foram as mais importantes. Este estudo demonstrou que a região de estudo ainda é bastante preservada, deste modo, as variáveis locais foram as mais importantes, pois houve pouco efeito da paisagem nos ambientes aquáticos analisados.

**Palavras-chave:** Condutividade; Fitoplâncton; Variáveis de paisagem.

### **Abstract**

Chlorophyll-*a* is a good representative of phytoplankton and can be used as an indicator of environmental degradation in streams. The aimed this work was to determine the relative importance of environmental site components and landscape and verify the direct and indirect effects of these variables in the concentration of chlorophyll-*a* in the Cerrado streams. Site environmental variables were sampled in 30 streams in the river basin Santa Teresa in Goiás, also landscape data were obtained in each sub-basin. The values of chlorophyll-*a*, nutrients, pH and dissolved oxygen suggest that the streams are oligotrophic. The region is conserved, there is still enough remaining Cerrado in the sub-basins, the main use is intended for the pastures. The most important variables influencing the concentration of chlorophyll-*a* were site, among them, which was more important was the conductivity. The path analysis showed that all variables used in the analysis influenced more directly than indirectly. Directly conductivity was the most important variable, followed by turbidity, while indirectly

was remaining through conductivity and remaining through pH were the most important. The study showed that the study area is still preserved, which probably made the site variables were the most important, because there was little effect of the landscape in aquatic environments analyzed.

**Keywords:** Conductivity; Phytoplankton; Landscape variables.

## **Introdução**

A clorofila-*a* é um pigmento fotossintetizante que é encontrado em todos os seres que realizam fotossíntese, dentre eles tem-se o fitoplâncton que envolve tanto seres eucarióticos quanto as cianobactérias (Gregor & Marsálek 2004; Lee 2008; Kilroy et al. 2013). Esses organismos são bons indicadores de qualidade ambiental, pois são sensíveis as mudanças que ocorrem no meio e respondem de forma rápida já que apresentam um curto período de vida (Lee 2008). A clorofila-*a* é uma boa representante da biomassa fitoplanctônica (Sharifi & Ghafari 2005; Boyer et al. 2009; Carneiro et al. 2014) e pode ser utilizada como indicadora de degradação ambiental (Figuerola-Nieves et al. 2006; Boyer et al. 2009; Carneiro et al. 2014) em ambientes continentais tais como riachos (Dodds et al. 1998).

A concentração da clorofila-*a* é influenciada por diversos fatores que atuam de forma direta e também indireta, quando exercem influência sobre outras variáveis do ambiente e com isso afeta a sua concentração (Urea-Clos et al. 2014; Halstead et al. 2014; Miranda et al. 2014; Scott et al. 2014). Dentre os determinantes da clorofila-*a*, destacam-se os fatores locais, que são as características em uma pequena escala de espaço, como por exemplo, as variáveis limnológicas de um habitat ou micro-habitat específico (Dodds et al. 2002; Urea-Clos et al. 2014) e os fatores em escala de paisagem, em uma escala mais ampla, como por exemplo o uso e a cobertura dos solos (Urea-Clos et al. 2014; Foley et al. 2005).

Variáveis locais tais como nitrogênio, fósforo, incidência de luz e velocidade da água, são importantes determinantes das comunidades de algas (Sabater et al. 2000; Dodds et al. 2002; Bechmam et al. 2005; Sharifi & Ghafari 2005; Boyer et al. 2009; Vasco et al. 2011; Carneiro et al. 2014; Miranda et al. 2014) e podem exercer efeito direto ocasionando um aumento ou diminuição da clorofila-*a*. Além disso, podem também exercer efeitos indiretos, como por exemplo, o aumento do fluxo da água leva a um aumento de partículas, tornando o ambiente mais turbido e espera-se uma diminuição da produtividade primária de forma indireta (Halstead et al. 2014; Miranda et al. 2014; Scott et al. 2014).

Além das variáveis locais, as variáveis de paisagem também podem exercer influência indireta sobre a produtividade (Urea-Clos et al. 2014; Miranda et al. 2014). Os efeitos sobre a clorofila-*a* podem ser ocasionados pelas alterações na cobertura do solo em um contexto de bacia, pois com a perda da vegetação ocorre um aumento da carga de sedimentos para os ecossistemas aquáticos causando assoreamento em períodos de chuva e acarretar um aumento dos sólidos totais e da turbidez, e desse modo, diminuição da produtividade primária (Liu et al. 2008; Izagirre et al. 2009; Mascarenhas et al. 2009). Ademais, quando os solos que perdem a vegetação natural estão próximos a áreas agrícolas, os pesticidas utilizados nas lavouras podem ser levados ao ambiente aquático e promoverem enriquecimento da água com nutrientes, conseqüentemente espera-se um aumento da concentração da clorofila-*a* de forma indireta através do uso do solo via nutrientes (Bechmann et al. 2005; Urea-Clos et al. 2014; Halstead et al. 2014; Miranda et al. 2014).

Apesar do Cerrado apresentar um rico potencial hídrico, uma vez que abriga nascentes da maioria das bacias hidrográficas do Brasil (Wantzen et al. 2006), as pesquisas voltadas para ambientes aquáticos tem recebido pouca atenção da comunidade científica se comparado aos estudos em ambientes terrestres (Borges et al. 2015). Uma vez que a conversão da vegetação natural para áreas de pastagem e agricultura ocorre de forma bem rápida no bioma (Marris 2005), é fundamental a caracterização de ambientes aquáticos, tais como riachos, pois a compreensão dos fatores que afetam de forma direta e também indiretamente esses ambientes auxilia na sua manutenção (Caliman et al. 2010). Além disso, riachos são excelentes ecossistemas para se testar quais são os determinantes (locais e/ou paisagem) da concentração da clorofila-*a* e verificar quais afetam de forma direta e indireta, pois para esses ambientes há uma conexão com os ecossistemas terrestres (Miranda et al. 2014).

O objetivo geral desse trabalho foi determinar a importância relativa dos componentes ambientais locais e de paisagem e verificar os efeitos diretos e indiretos dessas variáveis na concentração da clorofila-*a* em 30 riachos do Cerrado. Além disso, i- caracterizar limnologicamente os ambientes aquáticos estudados; ii- quantificar as informações de uso e cobertura de solo as margens destes ambientes e iii- identificar quais variáveis exercem maior influência na concentração da clorofila-*a*.

## **Materiais e Métodos**

### **Coleta de dados**

As coletas foram realizadas em áreas de Cerrado, na bacia do rio Santa Teresa no norte de Goiás entre os meses de agosto e setembro de 2013. A área da bacia no Estado é de aproximadamente 6.153,12 km<sup>2</sup>. No total foram amostrados 30 riachos de cabeceiras (Figura 1), em cada um deles, dentro de um trecho de 80 metros foi selecionado um ambiente com maior quantidade de água e foram mensuradas as variáveis ambientais, além disso, foram coletadas amostras de água para a obtenção da clorofila-*a* e nutrientes.

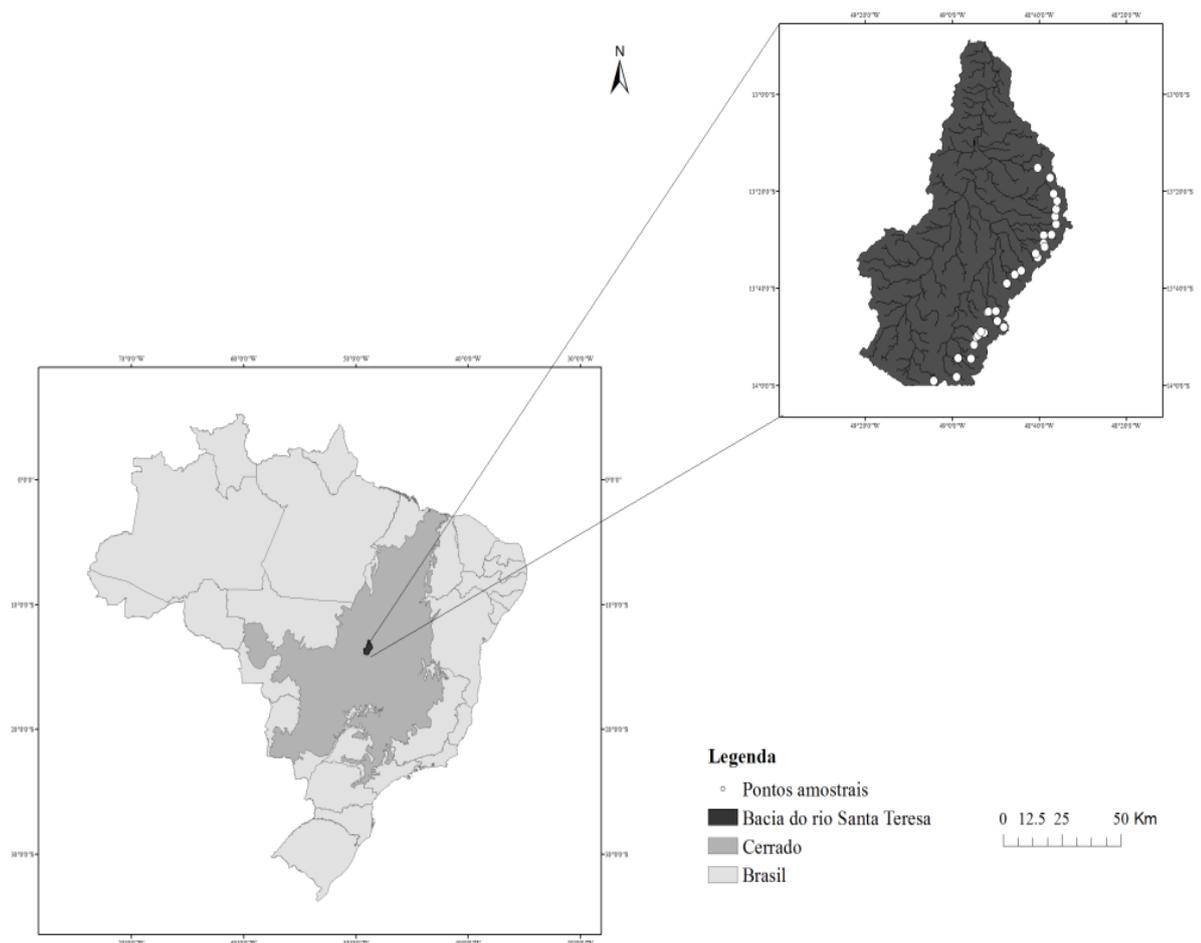


Figura 1- Mapa da área de estudo com os pontos de coleta na região norte de Goiás.

### Clorofila-*a*

Para a análise das concentrações de clorofila-*a* foram obtidos cinco litros de água em cada ponto de coleta. As amostras foram transportadas resfriadas até o laboratório em caixa de isopor com gelo e estocadas na geladeira até a filtragem. Posteriormente, foram filtradas em filtro de fibra de vidro Whatman, GF/C com 47 mm de diâmetro e poro de 0,45 µm. Para a obtenção da clorofila-*a* foi filtrada a maior quantidade de água possível, após a filtragem, o

filtro foi armazenado em papel alumínio, estocado no escuro e foi mantido congelado no refrigerador até o processamento das amostras (Inag 2009). As análises quantitativas da clorofila-*a* foram realizadas por uma empresa privada de consultoria ambiental de acordo com a metodologia de Golterman et al. (1978).

### **Variáveis locais**

Além da variável resposta (clorofila-*a*), no momento das coletas também foram amostradas variáveis físico-químicas. Em cada micro-habitat foram obtidos: pH (Potencial Hidrogeniônico), condutividade, oxigênio dissolvido, temperatura da água, sólidos totais dissolvidos e turbidez. Todas essas variáveis foram obtidas no campo por meio de sensores da marca digimed. Além disso, foram coletadas amostras de 500 mL de água para análise de nitrogênio total e fósforo total. As amostras para análise dos nutrientes foram coletadas e armazenadas em frascos de polietileno, transportadas em caixa de isopor com gelo e congeladas para posterior análise conforme a metodologia do Standard Methods (Apha 1995). Para cada local também foi obtido o fluxo da água com o uso do fluxômetro (Mechanical flowmeters, model 2030 series).

### **Variáveis morfométricas e sombreamento**

As variáveis morfométricas de cada riacho foram compostas por área e profundidade, obtidas através de medições em campo. Para a área utilizou-se a fita métrica, enquanto que para a profundidade, o profundímetro. Além disso, em cada riacho foram tiradas fotos da cobertura florestal para verificar a porcentagem de sombreamento. Posteriormente, essas fotos foram classificadas de forma supervisionada através do método de máxima verossimilhança no programa ENVI 4.7. Foram utilizadas duas classes (sombra e luz), a partir da classificação das imagens, os dados foram convertidos em percentual de sombreamento.

### **Variáveis de paisagem**

As variáveis de paisagem utilizadas no trabalho foram variáveis de cobertura, uso do solo e área das micro-bacias, obtidas por geoprocessamento nas micro-bacias à montante dos

pontos de coleta. As imagens utilizadas foram as do satélite Rapideye, com 5m de resolução espacial. Foram obtidas de forma gratuita através do Ministério do Meio Ambiente (MMA) (Disponível em: <http://www.geocatalogomma.com.br/faq.jhtml#load=8>, acesso em: 26/06/2014).

As imagens utilizadas são referentes aos anos de 2011, 2012 e 2013, elas já vem pré-processadas, são ortorretificadas, portanto não é necessário fazer o georreferenciamento. A drenagem foi obtida através de imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), a partir do site do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>, acesso em: Abril de 2014) (Miranda 2005). Para cada local, a partir de um *shape* de ponto inserido na drenagem foi obtida a área da micro-bacia à montante de cada ponto de coleta, que posteriormente foi utilizada como máscara para fazer o recorte nas imagens de alta resolução.

Após o recorte, foi aplicado contraste nas imagens e realizada a segmentação utilizando um limiar de similaridade de 95% e tamanho da área referente a 60 pixels. Após a segmentação, foi feita a classificação supervisionada através do método de bhattacharya e utilizou-se um limiar de aceitação de 95%. As classes utilizadas foram remanescente, pastagem, solo exposto, água e área urbana. Após a classificação foi feita a pós-classificação, que é a edição dos polígonos que foram classificadas de forma errada, posteriormente foram obtidos os dados em Km<sup>2</sup> de cada classe de uso e cobertura do solo.

### **Análise de dados**

O Conjunto de variáveis ambientais locais foram sintetizadas por meio de uma Análise de Componentes Principais (ACP) que é uma análise de ordenação multivariada. Esta foi utilizada com o intuito de resumir as informações em dois principais eixos e ordenar os riachos de acordo com as suas características ambientais (Legendre & Legendre 1998; Brodziak-Dopierala et al. 2010). Além disso, as variáveis ambientais locais não colineares que foram mais correlacionadas com os dois primeiros componentes principais foram utilizadas como preditoras na regressão múltipla parcial.

A importância relativa dos componentes locais e de paisagem foi investigada por meio de uma regressão múltipla parcial. Em seguida a importância de cada preditor foi obtida por meio de uma partição da variância. Essa análise particionou a variância em quatro

componentes. Os componentes da regressão múltipla foram: [a] variação explicada somente pelos fatores locais; [b] variação compartilhada com local e paisagem; [c] variação explicada somente pelos fatores de paisagem e [d] variação residual (Legendre & Legendre 1998; Urrea-Closet al. 2014). As variáveis utilizadas na regressão múltipla parcial foram a clorofila-*a* (variável resposta) e as variáveis locais e de paisagem (ambas preditoras). As variáveis ambientais locais foram condutividade, largura, temperatura, pH, turbidez e sombreamento, enquanto que as variáveis de paisagem foram representadas por remanescente e área da sub-bacia.

Após fazer a regressão múltipla parcial, foi feita a análise do resíduo, foi calculado um I de Moran utilizando 10 classes de distância para verificar a presença de autocorrelação espacial, ou seja, para verificar se há dependência espacial entre as unidades amostrais, pois tal dependência aumenta as chances de cometer o erro do tipo I (Bocard & Legendre 2002; Diniz-Filho & Bini 2005). Além disso, foi feito o teste de Shapiro-Wilk para verificar se o resíduo apresenta distribuição normal.

Para verificar os efeitos diretos e indiretos de variáveis locais e de paisagem sobre a concentração de clorofila-*a* realizou-se uma análise de caminhos, que é uma extensão da regressão, essa análise testa os efeitos diretos e indiretos de variáveis preditoras sobre a variável resposta (Legendre & Legendre 1998; Moreira et al. 2009). O pacote utilizado na análise foi o agricolae (Mendiburu 2014). No modelo proposto as variáveis preditoras foram representadas pelas variáveis ambientais locais selecionadas através da ACP (condutividade, largura, temperatura, pH, turbidez e sombreamento) e pela variável de paisagem, representada pela porcentagem de vegetação remanescente de Cerrado, enquanto que a variável resposta foi a concentração de clorofila-*a*.

Os dados limnológicos, morfométricos e clorofila-*a* utilizados nas análises foram padronizados através dos escores de Z (valor-média/desvio padrão). Para os dados de paisagem utilizou-se o arcoseno da raiz. Para a análise de componentes principais, regressão múltipla parcial e análise de caminhos, utilizou-se o programa R (R Core Team 2012). O I de Moran foi calculado no programa SAM (Rangel et al. 2010). A área das micro-bacias foram obtidas no ArcGIS (Esri 2012), enquanto que a obtenção da porcentagem de cobertura e uso do solo, classificação e pós-classificação foram realizadas utilizando o software SPRING (Camara et al. 1996).

## Resultados

A concentração média de clorofila-*a* nos riachos foi baixa (1,37 µg/l), o maior valor foi de 2,95 µg/l no riacho 19 e o menor foi de 0,30 µg/l no riacho 07 (Tabela 1). Os valores médios para nitrogênio total e fósforo total também foram baixos. Os ambientes apresentaram pouco fluxo de água, o pH médio indica que estão próximos da neutralidade, além disso, são rasos, transparentes e em média tem elevada porcentagem de sombreamento.

A maioria das variáveis apresentou baixo coeficiente de variação (<50%), o que indica que os valores variam pouco em torno da média ao longo dos 30 riachos amostrados. As variáveis locais que apresentaram menor coeficiente de variação foram temperatura da água, altitude e sólidos totais dissolvidos. Enquanto que fluxo, fósforo total, turbidez e condutividade foram as que apresentaram valores mais elevados. Para as variáveis de paisagem, solo exposto, água e área urbana foram as que menos variaram, enquanto que área da bacia e pastagem foram as que tiveram maior variação (ver Tabela 1).

Tabela 1- Descritores estatísticos das variáveis locais e de paisagem dos riachos amostrados.

<b>Variáveis locais</b>	Média	Mínimo	Máximo	Coeficiente de variação (%)
Altitude (m)	482,17	403	559	8,21
Clorofila- <i>a</i> (µg/L)	1,37	0,30	2,95	45,21
Condutividade (µs/cm)	147,58	45,5	343	51,43
Fluxo (rotações por minuto)	36,77	0	398	217,05
Fósforo Total (ug/L)	5,23	0,70	15,27	85,68
Largura	3,15	1,44	6,08	37,92
Nitrogênio Total (ug/L)	0,41	0,12	0,70	31,77
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	5,84	4,06	7,35	16,68
pH	6,85	5,05	8,01	10,39
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	259,94	192,1	298	10,10
Sombreamento (%)	62,61	22,58	95,48	36,50
Temperatura da Água (°C)	25,97	22	29,2	8,56
Transparência/profundidade (cm)	16,02	7,41	31,87	38,11
Turbidez (NTU)	28,40	10,9	88,7	76,58
<b>Variáveis de paisagem</b>				
Pastagem (%)	18,59	0,39	57,77	73,87
Remanescente (%)	81,16	41,81	99,45	17,03
Água (%)	0,02	0	0,26	2,32
Solo exposto (%)	0,20	0	1,31	1,37
Área urbana (%)	0,01	0	0,41	5,17
Área da bacia (Km <sup>2</sup> )	16,39	0,13	49,56	76,50

O primeiro eixo da ACP explicou 22% da variabilidade dos dados e o segundo eixo 15% (Figura 2). Através da dispersão dos pontos nos dois eixos foi possível perceber que a maioria dos riachos são semelhantes em relação às variáveis analisadas. Os riachos que mais se diferiram foram os riachos de número 29, 28, 24, 15 e o 06 que foram ordenados mais

distantes dos demais. Os riachos 29 e 28 estão mais associados com nitrogênio, fósforo, sombreamento e turbidez. Enquanto que o 24, com as variáveis oxigênio dissolvido, clorofila-*a* e temperatura. Já o riacho 06 esteve mais associado com altitude, largura, transparência e pH, o 15 com condutividade e sólidos totais dissolvidos. Os seis riachos que tiveram maior porcentagem de pastagem na sub-bacia foram mais relacionados com largura, transparência, pH, temperatura e oxigênio dissolvido.

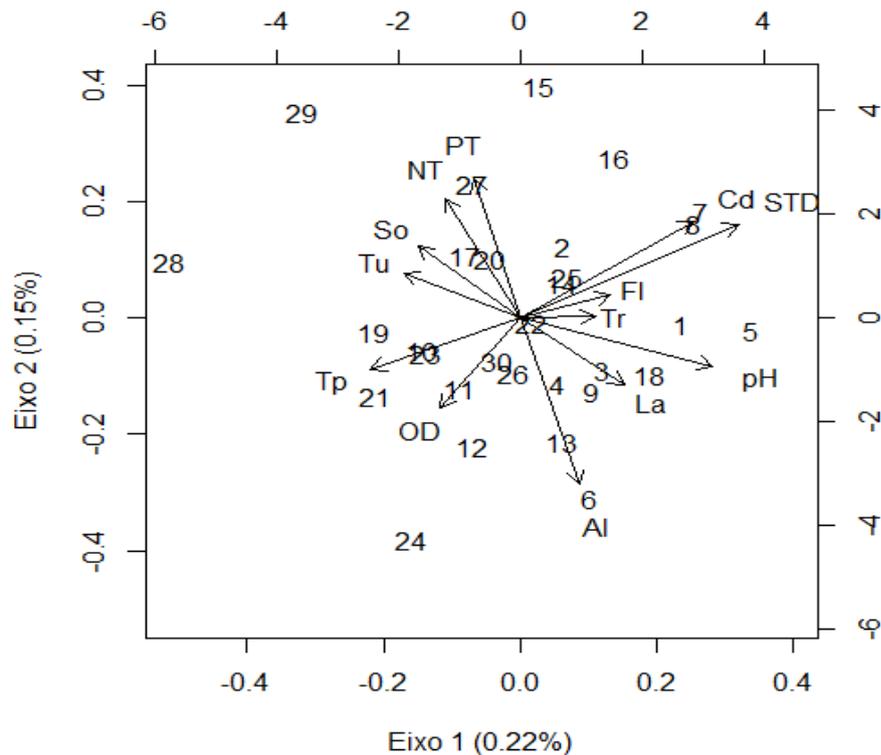


Figura 2- Análise de componentes principais das variáveis ambientais dos riachos analisados. Chl.a- Clorofila-*a*, PT- Fósforo Total, NT- Nitrogênio Total, CD- Condutividade, OD- Oxigênio Dissolvido, pH- Potencial Hidrogeniônico, Tp-Temperatura da água, Tu- Turbidez, STD- Sólidos Totais Dissolvidos, Tr- Transparência, FI- Fluxo, So- Sombreamento, La-Largura, Al-Altitude.

Com relação aos dados de paisagem, foi possível notar que as sub-bacias ainda estão bastante conservadas, a cobertura predominante foi de remanescente de Cerrado, seguido do uso para pastagem (Figura 3). Houve baixa predominância de solo exposto, área urbana e água, além disso, não foi detectado áreas de agricultura nas sub-bacias analisadas.

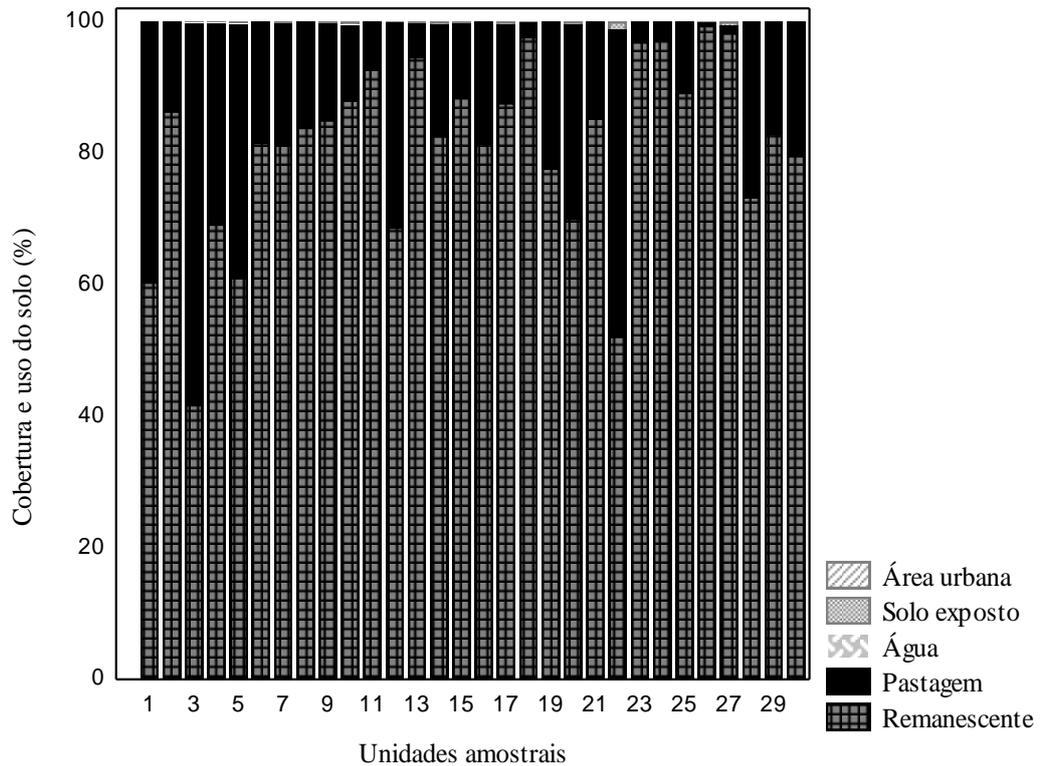


Figura 3- Dados de uso e cobertura do solo nas 30 sub-bacias à montante dos pontos de coleta.

Entre o conjunto de variáveis amostradas, as locais foram as que tiveram maior importância para explicar a concentração de clorofila-*a* (Tabela 2), enquanto que as variáveis de paisagem não explicaram. Além disso, a importância do efeito compartilhado entre variáveis locais e paisagem foi baixo. A análise do resíduo da regressão mostrou ausência de dependência espacial (I Moran na primeira classe -0,06;  $P=0,55$ ) e ele apresentou distribuição normal ( $S-W=0,97$ ;  $P=0,72$ ).

Tabela 2- Importância dos componentes locais e de paisagem na concentração de clorofila-*a*. [a]- local, [b]- Compartilhado, [c]- Paisagem e [d]- Resíduo.

<b>Partição</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>P</b>
[a+b]	0,38	
[b+c]	0,02	
[a+b+c]	0,44	
<b>Fração individual</b>		
[a]	0,27	<b>0,04*</b>
[b]	-0,04	
[c]	0,003	0,36
[d]	0,77	

\* Valores significativos

Dentre o conjunto de variáveis locais, a que apresentou maior importância e a única que explicou significativamente a variação nas concentrações de clorofila-*a* ( $R^2 = 0,16$ ;  $P = 0,02$ ) foi a condutividade (Tabela 3). O coeficiente angular mostra que a medida que a condutividade aumenta, diminui-se a concentração de clorofila-*a* nos riachos amostrados.

Tabela 3- Importância isolada dos componentes ambientais locais na concentração da clorofila-*a* obtidos através da regressão múltipla.

<b>Variáveis</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>P</b>	<b>Coefficiente angular (b)</b>
<b>pH</b>	0,05	0,13	0,292295
<b>Condutividade</b>	0,16	<b>0,02*</b>	<b>-0,005935</b>
<b>Largura</b>	-0,03	0,7	-0,112952
<b>Temperatura</b>	0,04	0,14	-0,099453
<b>Turbidez</b>	0,05	0,12	0,012177
<b>Sombreamento</b>	-0,02	0,60	0,000379

\* Valores significativos

Em relação a análise de caminhos, todas as variáveis utilizadas (incluindo local e paisagem) tiveram maior influência na concentração de clorofila-*a* de forma direta do que indiretamente (Figura 4). As variáveis mais importantes para o efeito direto foram a condutividade, seguida de turbidez. Enquanto que indiretamente a mais importante foi remanescente via condutividade, seguida de remanescente via pH.

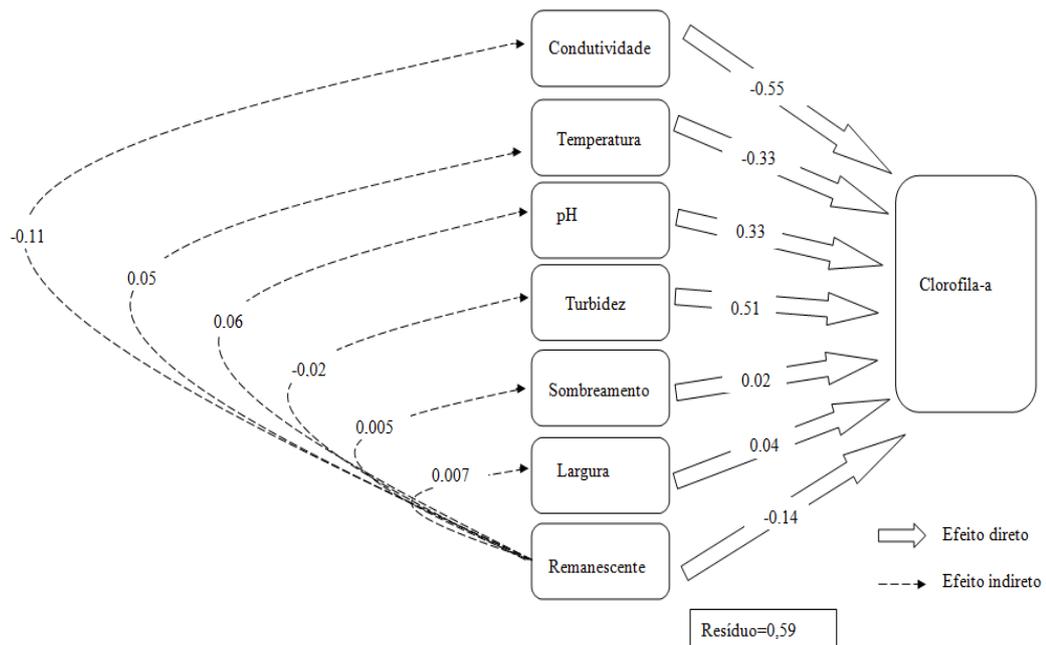


Figura 4- Efeitos diretos e indiretos de variáveis locais e de paisagem na concentração da clorofila-*a*.

## Discussão

Os valores da concentração média da clorofila-*a* encontrados para os 30 riachos sugerem que os ambientes são oligotróficos, apresentam boa qualidade ambiental em relação a variável analisada (Dodds et al. 1998). Os valores de pH estão dentro do que é esperado para a maioria dos ambientes aquáticos continentais (Esteves & Marinho 2011). Para riachos, valores abaixo de 5,0 e acima de 9,0 são apontados como danosos aos organismos (Allan & Castilho 2007), tais valores não foram obtidos para os riachos analisados. O baixo fluxo e a elevada transparência se deve principalmente à estação de coleta, pois na seca há diminuição da quantidade de água e os ambientes ficam mais transparentes, já em períodos de chuva espera-se que fluxo seja mais intenso e a água mais turbida (Allan & Castilho 2007).

Assim como a clorofila-*a*, os baixos valores de nitrogênio total e fósforo total

demonstram que os ambientes são oligotróficos (Dodds et al. 1998). A baixa concentração de nutrientes se deve provavelmente a pouca influência do uso do solo nas micro-bacias. Os nutrientes presentes nos riachos provavelmente são resultados de processos de intemperização de rochas, de fixação através de organismos e decomposição do material que cai nos riachos e organismos ali presentes (Allan & Castilho 2007). Alguns autores que avaliaram a influência de atividades agrícolas em ambientes aquáticos, encontraram maior concentração de nitrogênio e fósforo total do que as que foram obtidas no presente trabalho (Bechmann et al. 2005; Figueroa-Nieves, 2006; Shilds-Jr et al. 2010; Black, et al. 2011) o mesmo aconteceu para riachos do Cerrado (Ferrareze 2012).

Em ambientes eutrofizados a quantidade de oxigênio dissolvido geralmente é baixa. Tal resultado não foi obtido para os riachos analisados e sugere que não há elevada decomposição de matéria orgânica e produtividade primária, já que esses são os principais fatores que levam a desoxigenação da água (Esteves & Furtado 2011). Os valores de condutividade encontrados também indicam ausência de atividades antrópicas (Kney & Brandes 2007), ademais estão abaixo dos valores reportados por Bauer et al. (2012), Delgado et al. (2012) e Kireta et al. (2012), enquanto que os de turbidez foram maiores do que os reportados para riachos em Illinois (Figueroa-Nieves 2006).

Geralmente para riachos, principalmente os de cabeceiras, como os que foram analisados, espera-se que a concentração de clorofila-*a* seja inexistente ou muito baixa a ponto de não ser detectada (Allan & Castilho 2007). Já que riachos de pequena ordem são ambientes que apresentam características desfavoráveis para o desenvolvimento do fitoplâncton, espera-se que os organismos ali presentes dependam de material alóctone (Vannote et al. 1980). Entretanto, para todos os riachos analisados no trabalho, foi detectada clorofila-*a*, o que sugere que há importância de material autóctone para esses ambientes. Essa produtividade provavelmente se dá devido a estação de seca e a morfologia do canal dos riachos que faz que haja micro-habitats com água parada e permite o desenvolvimento do fitoplâncton (Allan & Castilho 2007).

O riacho 19 que teve a maior concentração de clorofila-*a*, apresentou elevados valores de fósforo total, baixa porcentagem de sombreamento, ausência de fluxo no local amostrado, além disso, o seu entorno tem uso predominante para pastagem. Esses fatores podem ser os responsáveis pelo riacho ter apresentado maior produtividade em relação aos demais. Em contrapartida o riacho 07 apresentou baixo valor de fósforo total, elevada porcentagem de

sombreamento (>90%), além disso, a cobertura predominante no entorno é de remanescente de Cerrado, o que pode explicar a baixa concentração de clorofila-*a* encontrada.

A associação de algumas variáveis locais com riachos que apresentaram uso antrópico mais intenso nas micro-bacias, observada através da ACP de fato pode ocorrer. Em locais em que há maior quantidade de pastagem espera-se que as variáveis locais sejam afetadas. Com a perda da vegetação ripária pode ocorrer assoreamento, desmoronamento de barranco, o que faz com que ocorra alteração no canal dos riachos (Horwitz et al. 2008), além disso, diminui a transparência e o oxigênio dissolvido, pois os ambientes menos transparentes limitam os produtores de oxigênio do ambiente aquático (Liu et al. 2008), espera-se também uma elevação da temperatura (Groom et al. 2011).

A região de estudo que se encontra no norte de Goiás, ainda é um dos locais no Estado que apresenta elevado percentual de vegetação remanescente (Carvalho et al. 2009), o que justifica o bom estado de conservação das bacias, que em sua maioria (96,66% das sub-bacias) apresentou cobertura do solo predominante constituída por remanescentes de Cerrado. Um dos fatores responsáveis por tal fato, pode ser atribuído a distância de grandes centros consumidores e rotas de escoamento (Sano et al. 2008), além disso, a declividade pode ser um fator determinante. De fato, os pontos de coleta estão situados em locais de muitas serras, o que dificulta atividades como agricultura mecanizada (Carvalho et al. 2008). O uso predominante na maioria das micro-bacias também é o mais comum no Cerrado como um todo (Sano et al. 2008). Na região das coletas há baixa demografia (Ibge 2012), o que contribui para a baixa porcentagem de área urbana encontrada e também para o estado de conservação das micro-bacias (Veldkamp & Lambin 2001; Sano et al. 2008).

O elevado estado de conservação da maioria das micro-bacias amostradas e também o período de coletas pode ter contribuído para a importância de variáveis locais. Espera-se que seja baixo o efeito de variáveis em escala de paisagem nos ambientes aquáticos em época de seca pois ocorre pouco escoamento, é durante o período de chuva que os componentes acumulados na bacia são carregados para os corpos aquáticos e com isso podem afetar as variáveis limnológicas e comunidades ali presentes (Bechmann et al. 2005; Ferrareze 2012). Como o fitoplâncton tem um curto ciclo de vida e responde muito rápido as mudanças que ocorrem no ambiente (Lee 2008; Inag 2009), os principais determinantes desses organismos em períodos de seca nos riachos amostrados foram principalmente as variáveis locais.

A relação entre nutrientes (nitrogênio total e fósforo total) e clorofila-*a* é comumente

encontrada em lagos, entretanto para riachos isso nem sempre acontece, já que outras variáveis podem ser limitantes (Allan & Castilho 2007), além disso, sugere-se que para riachos, pode haver o efeito de mais de uma variável sobre os organismos (Pan et al. 1999). Outros autores tem encontrado resultados em que nitrogênio e fósforo não foram limitantes ou foram limitantes em conjunto com outras variáveis, tais como: turbidez e pouca importância de nutrientes (Figuerola-Nieves et al. 2006), turbidez, profundidade e fósforo (Carneiro et al. 2014), pH, condutividade, profundidade e nitrogênio inorgânico (Algarde et al. 2014), altitude e condutividade (Heino et al. 2010) e condutividade (Pan et al. 1999).

A condutividade é uma variável fundamental em estudos limnológicos (Esteves & Petrucio, 2011), pois reflete a quantidade de íons totais e micronutrientes nos ecossistemas aquáticos (Allan & Castilho 2007; Esteves & Petrucio, 2011; Angeler & Drakare 2013). Para riachos já foi apontado que a medida em que ocorreu um aumento da condutividade houve uma redução na biota (Pond & McMurray 2002). Para o fitoplâncton, o aumento da condutividade pode afetar processos fisiológicos, dificultando o desenvolvimento de novas células ou até mesmo diminuindo a fotossíntese (Silva et al. 2000) o que pode justificar a relação negativa entre clorofila-*a* e condutividade encontrada no trabalho. Na época da seca geralmente tem-se ambientes com água parada e há um aumento na carga de íons e sólidos suspensos que ficam presentes nesses locais (Ferrareze 2012). O material presente no fundo dos riachos pode ser resuspenso, alterar a condutividade e com isso afetar diretamente a comunidade fitoplanctônica, fazendo com que diminua a sua produtividade (Boyer et al. 2009). A ressuspensão pode ocorrer através de alterações do fluxo da água ou mesmo por meio do vento (Esteves & Suzuki 2011) e de espécies bioturbadoras, como peixes e outros organismos que reviram o fundo em busca de alimento (Maurer et al. 2014).

Além do efeito direto, tem-se o efeito indireto da paisagem via condutividade, pois os sedimentos transportados podem afetar essa variável nos ambientes aquáticos, e indiretamente influenciar a concentração de clorofila-*a*. Para o presente trabalho o efeito direto da paisagem pode ser considerado um indicador do efeito de outras variáveis que não foram amostradas, portanto a cobertura do solo pode ser considerada como um substituto de outras variáveis.

A paisagem também exerce efeito sobre a turbidez, pois a deposição de sedimentos proveniente das micro-bacias pode levar a uma diminuição da produtividade de forma indireta (Liu et al. 2008). Além disso, espera-se que a turbidez afete diretamente a comunidade de algas e cianobactérias quando leva a diminuição de luz (Izagirre et al. 2009). O pH também

afeta diretamente a concentração desses organismos, pois exerce influência em processos fisiológicos (Esteves & Marinho 2011) e alterações da cobertura do solo pode afetar de forma indireta a concentração de clorofila-*a* via pH, pois a redução da vegetação remanescente de Cerrado, faz com que haja maior aporte de sedimentos (Liu et al. 2008), a decomposição da matéria orgânica no ambiente altera o pH que por sua vez pode influenciar as algas (Esteves & Marinho 2011). Essas relações entre a clorofila-*a* e cobertura do solo via outras variáveis locais demonstra a importância de se manter a vegetação natural nas micro-bacias, principalmente a vegetação ripária intacta, para que, com isso não haja consequências negativas para os ambientes aquáticos.

### **Conclusão**

O trabalho avaliou a estimativa da produtividade primária por meio da concentração da clorofila-*a* em 30 riachos de cabeceiras no Cerrado. Os resultados encontrados nesse trabalho demonstram que para os riachos analisados há importância de material autoctone. Destacamos a necessidade de mais estudos utilizando o fitoplâncton para riachos de cabeceiras, pouco tem sido estudado sobre fitoplâncton nesses ecossistemas aquáticos, pois até algumas décadas atrás acreditava-se que esses organismos não tinham importância para riachos de pequena ordem.

A regressão parcial mostrou que para os riachos analisados, os fatores determinantes da concentração de algas foram principalmente as variáveis locais e não houve importância de variáveis de paisagem. Dentre o conjunto de variáveis locais, a que mais explicou a variação da concentração da clorofila-*a* foi a condutividade, o que demonstra que nem sempre variáveis como nitrogênio e fósforo são determinantes do fitoplâncton. Entretanto, destacamos que é necessário estudos experimentais para avaliar o efeito da condutividade sobre a comunidade fitoplanctônica. Apesar de usar diversas variáveis que a literatura coloca como importante para o fitoplâncton, o resíduo da regressão foi alto, desse modo ressaltamos que mais variáveis que até então não são muito utilizadas pela comunidade científica devem ser inseridas em estudos posteriores para compreender melhor os determinantes ambientais locais da clorofila-*a* de riachos.

As sub-bacias ainda estão bastante conservadas, a cobertura predominante foi de remanescente de Cerrado, enquanto que o principal uso foi pastagem, seguido de solo

exposto. Apesar do elevado estado de conservação, a paisagem afetou a concentração de clorofila-*a* de forma indireta via condutividade, seguido de remanescente via pH, entre outras variáveis. Foi observado também um efeito direto da paisagem, entretando não está claro como o uso do solo afetou diretamente a concentração de clorofila-*a*, esse efeito pode ser considerado como um substituto de variáveis que não foram amostradas.

Ressaltamos ainda que é necessário a manutenção da vegetação na região de estudo, pois mesmo que o efeito da paisagem ainda seja baixo, as variáveis de paisagem afetam os ambientes aquáticos de forma indireta via outras variáveis locais. Portanto, é necessário cautela com relação a mudança da cobertura do solo nas sub-bacias analisadas, pois mantendo as sub-bacias conservadas, há manutenção da qualidade ambiental nos riachos, como foi observado no presente trabalho.

### **Agradecimentos**

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pelo apoio financeiro no desenvolvimento deste projeto. Agradecemos o Ministério do Meio Ambiente (MMA) pela disponibilização das imagens de alta resolução. PPB agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado. PTAM e FBT são parcialmente financiados pelo PROBIP/UEG. JCN é parcialmente financiado pelo CNPq (processo 309700/2013-2).

### **Referências**

Algarte VM et al., 2014. Variance partitioning of deconstructed periphyton communities: does the use of biological traits matter?. *Hydrobiologia*, 722:279-290.

Allan JD, Castilho M.M, 2007. *Stream ecology, structure and function of running waters*. Springer.

Angeler DG & Drakare S. 2013. Tracing alpha, beta, and gamma diversity responses to environmental change in boreal lakes. *Oecologia*, 172:1191-1202.

Apha, (American Public Health Association), American water works association, and water pollution control federation. 1995. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington. 1600p.

Bauer DE et al., 2012. An in situ test to explore the responses of *Scenedesmus acutus* and

- Lepocinclis acus* as indicators of the changes in water quality in lowlands streams. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 77: 71-78.
- Bechmann ME et al., 2005. Phosphorus transfer from agricultural areas and its impact on the eutrophication of lakes two long-term integrated studies from Norway. *Journal of Hydrology*, 304:238-250.
- Black RW, Moran PW & Frankforter, JD. 2011. Response of algal metrics to nutrients and physical factors and identification of nutrient thresholds in agricultural streams. *Environmental Monitoring and Assessment*, 175:397-417.
- Bocard D & Legendre P. 2002. All-scale spatial analysis of ecological data by means of principal coordinates of neighbour matrices. *Ecological Modelling*, 153:51-68.
- Borges PP et al., 2015. Trends and gaps of the scientific literature on the Cerrado biome: a scientometric analysis. *Neotropical Biology and Conservation*, 10:2-8.
- Boyer JN et al., 2009. Phytoplankton bloom status: Chlorophyll a biomass as an indicator of water quality condition in the southern estuaries of Florida, USA. *Ecological Indicators*, 98:56- 67.
- Brodziak-Dopierala B et al., 2010. The Application of Principal Component Analysis to Interpretation of Occurrence of Metals in the Femur Head. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19:49-58.
- Caliman A et al., 2010. The prominence of and biases in biodiversity and ecosystem functioning research. *Biodiversity Conservation*, 19:651–664.
- Camara G et al., 1996. "SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling". *Computers & Graphics*, 20:395-403.
- Carneiro FM et al., 2014. Determinants of chlorophyll-a concentration in tropical reservoirs. *Hydrobiologia*, v. 740, p. 89-99.
- Carvalho TM, Ferreira, ME & Bayer M. 2008. Análise integrada do uso da terra e geomorfologia do Bioma Cerrado: Um estudo de caso para Goiás. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 01:62-72.
- Carvalho FMV Júnior PM & Ferreira LG. 2009. The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. *Biological Conservation*, 142:1392–1403.
- Delgado C, Pardo I & García L. 2012. Diatom communities as indicators of ecological status in Mediterranean temporary streams (Balearic Islands, Spain). *Ecological Indicators*, 15:131-139.
- Diniz-Filho JÁ & Bini LM. 2005. Modelling geographical patterns in species richness using eigenvector-based spatial filters. *Global Ecology and Biogeography*, 14:177-185.
- Dodds WK, Jones JR & Welch EB. 1998. Suggested classification of stream trophic state: distributions of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen, and phosphorus. *Water Research*, 32:1455-1462.
- Dodds WK, Smith VH & Lohman K. 2002. Nitrogen and phosphorus relationships to benthic

- algal biomass in temperate streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59:865-874.
- Esri, 2012. *ArcGIS Desktop*: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Esteves FA & Furtado, ALS. Oxigênio dissolvido. In: Esteves F.A (ed). *Fundamentos de limnologia*. 3º edição. Editora Interciência, p. 167-191.
- Esteves FA & Marinho CC. Carbono inorgânico. In: Esteves FA (ed). *Fundamentos de limnologia*. 3º edição. Editora Interciência, p. 209-238.
- Esteves FA, Petrucio MM & Figueiredo-Barros, MP. Principais cátions e ânions. In: Esteves, F.A (ed). *Fundamentos de limnologia*. 3º edição. Editora Interciência, p. 293-321.
- Esteves FA & Suzuki MS. Comunidade fitoplanctônica. In: Esteves, FA (ed). *Fundamentos de limnologia*. 3º edição. Editora Interciência, p. 276-445.
- Ferrareze M. 2012. The effect of the land use on phytoplankton assemblages of a Cerrado stream (Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, 24:43-51.
- Figuerola-Nieves D, Royer TV & David M.B. 2006. Controls on chlorophyll-*a* in nutrient-rich agricultural streams in Illinois, USA. *Hydrobiologia*, 568:287-298.
- Foley JA et al., 2005. Global consequences of land use. *Science*, 309:570-574.
- Golterman HL, Clymo RS & Ohnstad MA. 1978. *Methods for Physical and Chemical Analysis of Fresh Water*. 2nd. Edition Blackwell Scientific Publications.
- Gregor J, Marsalek B. 2004. Freshwater phytoplankton quantification by chlorophyll *a*: a comparative study of in vitro, in vivo and in situ methods. *Water Research*, 38:517-522.
- GROOM JD et al., 2011. Response of western Oregon (USA) stream temperatures to contemporary forest management. *Forest Ecology and Management*, 262:1618-1629.
- Halstead NT et al., 2014. Community ecology theory predicts the effects of agrochemical mixtures on aquatic biodiversity and ecosystem properties. *Ecology Letters*, 17: 932-941.
- Heino J et al., 2010. Geographical patterns of micro-organismal community structure: are diatoms ubiquitously distributed across boreal streams? *Oikos*, 119:129-137.
- HORWITZ, RJ et al., 2008. Effects of riparian vegetation and basin urbanization on fishes in streams of the mid-atlantic piedmont (usa). *Journal of the American Water Resources Association*, 44:724-741.
- Ibge, 2012. *Informação sobre os municípios brasileiros*, disponível em:<http://www.cidades.ibgegov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=52&search=goias>, acesso em: 20/07/2014.
- Inag IP. 2009. *Manual para avaliação da qualidade biológica da água. Protocolo de amostragem e análise para o fitoplâncton*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Instituto da Água. 67p.
- Izagirre O et al., 2009. Effects of sediment deposition on periphytic biomass, photosynthetic activity and algal community structure. *Science of the total environmental*, 407:5694-5700.

- Kilroy C et al., 2013. Estimating periphyton standing crop in streams: a comparison of chlorophyll a sampling and visual assessments. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 47:208-224.
- Kireta AR. et al., 2012. Planktonic and periphytic diatoms as indicators of stress on great rivers of the United States: Testing water quality and disturbance models. *Ecological Indicators*, 13:222-231.
- Kney AD & Brandes D. 2007. A graphical screening method for assessing stream water quality using specific conductivity and alkalinity data. *Journal of Environmental Management*, 82:519–528.
- Lee R.E. 2008. *Phycology*. Cambridge university press.
- Legendre P & Legendre L. 1998. *Numerical ecology*. Elsevier, Amsterdam.
- Liu X, Xuyang Z, Minghua Z. 2008. Major factors influencing the efficacy of vegetated buffers on sediment trapping: A review and analysis. *Journal of Environmental Quality*, 37:1667-1674.
- Marris E. 2005. The forgotten ecosystem. *Nature*, 147: 944-945.
- Mascarenhas LMA, Ferreira ME & FERREIRA LG. Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: Análise da cobertura vegetal remanescente na bacia do rio Araguaia. *Sociedade & Natureza*, 21:5-18. 2009.
- Maurer KM, Stewart, TW & Lorenz FO. 2014. Direct and indirect effects of fish on invertebrates and tiger salamanders in prairie pothole wetlands. *Wetlands*, 34:735-745.
- Mendiburu F. *Statistical procedures for agricultural research. Package 'agricolae'*.2014. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/web/packages/agricolae/agricolae.pdf>>. acesso em: Outubro de 2014.
- Miranda EE. *Brasil em Relevô*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: Abril de 2014.
- Miranda LE, Andrews CS & Kroger R. 2014. Connectedness of land use, nutrients, primary production, and fish assemblages in oxbow lakes. *Aquatic sciences*, v. 76, n. 41-50.
- Moreira JF et al., 2009. Causal model to describe the variation of faecal coliform concentrations in a pilot-scale test consisting of ponds aligned in series. *Ecological Engineering*, 35:791-799.
- Pan Y et al., 1999. Spatial patterns and ecological determinants of benthic algal assemblages in mid-atlantic streams, USA. *Journal of phycology*, 35:460-468.
- Pond GJ & McMurray SE 2002. *A Macroinvertebrate Bioassessment Index for Headwater Streams of the Eastern Coalfield Region, Kentucky*. Kentucky Department for Environmental Protection Division of Water Water Quality Branch.
- Rangel et al., 2010. SAM: a comprehensive application for Spatial Analysis in Macroecology. *Ecography*, 33:46-50.

- R Core Team. R: *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>. 2012.
- Sabater S et al., 2000. Algal biomass in a disturbed Atlantic river: water quality relationships and environmental implications. *The Science of the Total Environment*, 263:185-195.
- Sano EE et al., 2008. Mapeamento semi detalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43:153-156.
- Scott CE, Jackson DA & Zimmermann, A.P. 2014. Environmental and algal community influences on benthic algal extracellular material in Lake Opeongo, Ontario. *Freshwater Science*, 33:568-576.
- Sharifi M & Ghafari, M. 2005. Effects of added nutrients on dry mass, afdm, chlorophyll *a* and biovolume of periphyton algae in artificial streams. *Iranian Journal of Science & Technology*, 29:29-38.
- Shilds-Jr FD et al., 2010. The stream channel incision syndrome and water quality. *Ecological Engineering*, 36: 78-90.
- Silva et al., 2000. Salt pollution in a Japanese stream and its effects on water chemistry and epilithic algal chlorophyll-*a*. *Hydrobiologia*, 437:139-148.
- Urrea-Clos G, García-Berthou E & Sabater S. Factors explaining the patterns of benthic chlorophyll-*a* distribution in a large agricultural Iberian basin (Guadiana river). *Ecological Indicators*, 36:463-469.
- Vannote RL, et al., 1980. The river continuum concept. *Canadian journal of fisheries and aquatic science*, 37:130-137.
- Vasco NA et al., 2011. Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do rio Poxim, Sergipe, Brasil. *Revista Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 6:118-130.
- Veldkamp A & Lambin EF. 2001. Predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems and Environmental*, 85:1-6.
- Wantzen, KM et al., 2006. Stream-valley systems of the Brazilian Cerrado: impact assessment and conservation scheme. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 16: 713-732.

## Considerações finais

Através da avaliação da cobertura e uso do solo, foi possível perceber que ainda existe elevada porcentagem de vegetação remanescente na região de estudo. O uso do solo mais comum foi pastagem, seguido de solo exposto. Entretanto, apesar de ainda estar conservada, tem havido mudanças na cobertura do solo na bacia ao longo dos 28 anos. Com o passar do tempo, áreas de remanescentes de Cerrado foram convertidas principalmente para pastagens, além disso, observou-se também um aumento de locais com solo exposto, queimadas e maior quantidade de água. O relevo não foi o único fator determinante do estado de conservação da bacia, já que sua maior parte se encontra em relevo plano e de baixas altitudes, outros fatores sugeridos no trabalho podem explicar a grande quantidade de vegetação remanescente.

É necessário a avaliação contínua da cobertura e uso do solo na região já que foram constatadas mudanças ao longo do tempo. Ressaltamos também a importância da conservação dos recursos naturais, pois esta é uma região que apresenta várias nascentes, além de ser pouco estudada. Portanto, é necessário esforços da comunidade científica para inventariar os recursos naturais antes que sejam degradados.

Fatores ambientais locais foram os principais determinantes das concentrações de clorofila-*a*, dentre eles, a condutividade foi a variável que melhor explicou a variação na concentração da clorofila-*a*. As variáveis locais analisadas variaram pouco ao longo dos 30 riachos, a ACP mostrou que poucos riachos possuem características distintas. A cobertura do solo nas 30 sub-bacias foi representada principalmente por remanescentes de Cerrado, a região ainda se encontra em um bom estado de conservação, o uso predominante foi pastagem.

A análise de caminhos mostrou que as variáveis mais importantes de forma direta para a concentração de clorofila-*a* foram a condutividade, seguida de turbidez. Indiretamente, a porcentagem de vegetação remanescente via condutividade e vegetação remanescente via pH foram as mais importantes. Esses resultados demonstram que apesar do baixo efeito de variáveis de paisagem (que provavelmente ocorre devido ao elevado estado de conservação das sub-bacias e também devido a estação de coleta) é necessário manter a cobertura da vegetação na região e, com isso, manter os ambientes em bom estado de qualidade ambiental, pois foi observado no trabalho que os locais ainda estão conservados e indicam ausência de impactos nos ecossistemas.