



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS – IH  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA – GEA

**O USO DA MODELAGEM NA ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA DA OCUPAÇÃO  
URBANA NA DINÂMICA HÍDRICA DO SETOR HABITACIONAL TAQUARI –  
SHTQ**

Hugo Crisóstomo de Castro Filho

Orientador: Prof.º Dr. Roberto Arnaldo Trancoso Gomes

BRASÍLIA, 2013

HUGO CRISÓSTOMO DE CASTRO FILHO

**O USO DA MODELAGEM NA ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA DA OCUPAÇÃO  
URBANA NA DINÂMICA HÍDRICA DO SETOR HABITACIONAL TAQUARI –  
SHTQ**

Monografia de Graduação apresentada ao  
Departamento de Geografia da Universidade de  
Brasília, como parte dos requisitos para obtenção do  
grau de Bacharel em Geografia.

Orientador: Prof.º Dr. Roberto Arnaldo Trancoso Gomes

Brasília

2013

CASTRO FILHO, H. C.

O USO DA MODELAGEM NA ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA DA OCUPAÇÃO URBANA NA DINÂMICA HÍDRICA DO SETOR HABITACIONAL TAQUARI – SHTQ – SHTQ. 2013. 36 p. (gea/ih/unb, bacharel, geografia). Monografia de graduação - Universidade de Brasília. Instituto de Ciências Humanas. Departamento de geografia.

- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| 1. Modelo de Previsão de Zonas de Saturação | 3. Transmissividade do Solo      |
| 2. Área de Contribuição                     | 4. Índice de Saturação do Relevo |

### FICHA CATALOGRÁFICA

#### **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

CASTRO FILHO, H. C. Título. Monografia de conclusão de curso, Universidade de Brasília, Instituto de Ciências Humanas, Departamento de Geografia, DF, 2013.

#### **CESSÃO DE DIREITOS**

NOME DO AUTOR: Hugo Crisóstomo de Castro Filho

TÍTULO DA MONOGRAFIA: O USO DA MODELAGEM NA ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA DA OCUPAÇÃO URBANA NA DINÂMICA HÍDRICA DO SETOR HABITACIONAL TAQUARI – SHTQ

GRAU/ANO: Bacharel/2013

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

HUGO CRISÓSTOMO DE CASTRO FILHO

TÍTULO DA MONOGRAFIA: O USO DA MODELAGEM NA ANÁLISE DA  
INTERFERÊNCIA DA OCUPAÇÃO URBANA NA DINÂMICA HÍDRICA DO SETOR  
HABITACIONAL TAQUARI – SHTQ

INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

**O USO DA MODELAGEM NA ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA DA OCUPAÇÃO  
URBANA NA DINÂMICA HÍDRICA DO SETOR HABITACIONAL TAQUARI –  
SHTQ**

Monografia de conclusão de curso submetida ao Departamento de Geografia da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de bacharel em Geografia.

Aprovado por:

---

Prof.º Dr. Roberto Arnaldo Trancoso Gomes (UnB)

(Orientador)

---

Prof.º Dr. Renato Fontes Guimarães (UnB)

(Examinador)

---

Prof.º Msc. Marcus Fábio Ribeiro Farias (UnB)

(Examinador)

Brasília - DF, 20 de Dezembro de 2013.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a minha noiva, Rebeca Silva dos Reis, pois sem ela nada disso seria possível. Ao meu orientador Roberto Arnaldo Trancoso Gomes, pelo apoio, paciência e toda a disponibilidade e confiança. À minha família. À família da minha noiva. Aos amigos, colegas e as pessoas que me motivaram sempre. E não menos importante agradeço também a mim.

## RESUMO

O processo de expansão das áreas urbanizadas é o responsável por alterar o ambiente físico natural por meio das modificações nas formas de uso e ocupação do solo, que podem gerar alterações no clima, na vegetação, no solo, na fauna e na flora, nas formas do relevo, no sistema hidrológico, entre outros. A saturação do solo tem sido um problema recorrente nas cidades causando diversos estragos por meio de seus eventos consequentes. No intuito de promover estudos que delimitem as zonas de saturação do solo, a modelagem matemática torna possível a simulação da realidade. Assim fica viável a construção dos modelos de previsão e com isso capacitar às autoridades competentes a tomarem as providências necessárias. Deste modo, o objetivo do trabalho é analisar o processo de uso e ocupação da terra a partir de um modelo de previsão de zonas de saturação do solo no Setor Habitacional Taquari - SHTQ, Brasília – DF. Na aplicação do modelo utilizou-se uma base cartográfica desenvolvida pela Terracap em 2010, dados pluviométricos coletados pela CAESB, dados de transmissividade, área de contribuição calculada a partir das informações disponíveis e a declividade também produzida com as informações disponíveis. Foram definidas três variáveis de análise para os eventos de precipitação, quais sejam: Chuva máxima diária em cada estação, Média diária de chuva por ano e Média diária de chuva para os meses chuvosos. O modelo foi aplicado para obtenção do mapa de saturação da paisagem para o ano de 2002 (antes da ocupação urbana) e para 2008 (depois da ocupação urbana). Nota-se que no ponto de coleta em 2002, o índice de saturação não chegou a 1. Já para o ano de 2008, todos os valores foram superiores a 1. Além disso, verifica-se que o índice de umidade coletado muda entre os 2 anos analisados, na ordem de duas grandezas. O que demonstra a grande influência do processo de impermeabilização do solo nesta área. Este mapeamento visa identificar o comportamento da dinâmica hídrica e seus conflitos após a ocupação no intuito de subsidiar uma gestão de recursos hídricos mais acertada.

**Palavras-Chave** – Modelo de Previsão de Zonas de Saturação; Transmissividade do Solo; Área de Contribuição; Índice de Saturação do Relevo.

## ABSTRACT

The process of expansion of urban areas is responsible for altering the natural physical environment through changes in the forms of use and occupation of land, which can cause changes in climate, vegetation, soil, fauna and flora, in the forms relief, the hydrological system, among others. The saturation of the soil has been a recurring problem in many cities causing damages through their consequent events. In order to promote studies delimiting areas of soil saturation, mathematical modeling makes possible the simulation of reality. So it becomes feasible to build prediction models and thereby enable the competent authorities to do the necessary measures. Thus, the objective of this study is to analyze the process of use and occupation of land from a prediction model of zones of soil saturation in Housing Taquari Sector - SHTQ, Brasília - DF. In the application of the model were used a cartographic database developed by Terracap in 2010, rainfall data collected by the CAESB, transmissivity data, contribution area calculated from the information available and the slope also produced with the information available. Three variables of analysis for precipitation events were defined, namely: maximum daily rain at each station, daily average of rain per year and average daily rainfall for the rainy months. The model was applied to obtain the map of saturation of the landscape for the year 2002 (before the urban occupation) and 2008 (after the urban occupation.) It was noted that at the collection point in 2002, the saturation index has not reached 1. As for the year 2008, all values were above 1. Also, it is verified that the collected humidity index changes between the 2 years studied, in the order of two magnitudes. This shows the great influence of the soil impermeabilization process in this area. This mapping aims to identify the behavior of water dynamics and its conflicts after the occupation in order to offer elements to a wiser management of water resources.

**Keywords** - Forecast model of zones of saturation; Soil transmissivity; Contribution Area; Relief Saturation Index

## SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO .....	8
2 - REFERENCIAL TEÓRICO .....	9
2.1 - DINÂMICA DA CIDADE X DINÂMICA HIDROLÓGICA.....	9
2.2 - MODELO DE PREVISÃO DE ZONAS DE SATURAÇÃO DO RELEVO .....	10
2.3 - PROCESSO HISTÓRICO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	12
3 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	15
4 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	21
5 – RESULTADOS .....	27
6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	33
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	34

## 1 - INTRODUÇÃO

O processo de expansão das áreas urbanizadas é o responsável por alterar o ambiente físico natural mediante mudanças impostas nas formas de uso e ocupação do solo, que podem vir a gerar alterações no clima, na vegetação, no solo, na fauna e na flora, nas formas do relevo, no sistema hidrológico, entre outros (SANTI 2004). Mudanças ocorridas nas redes de drenagens urbanas são causadas por diversos fatores entre eles o uso e a ocupação do solo se destaca como principais colaboradores para eventos de saturação do solo.

A saturação do solo ocorre quando por meio da infiltração das águas, o solo se satura e a partir deste momento a água passa a ser escoada superficialmente. Fatores como: propriedades do solo, características das chuvas, umidade já presente no solo e cobertura vegetal influenciam na saturação do solo (GUERRA & GUERRA, 2003).

Sabe-se que a ocupação das encostas não é o único fator que define quando e onde as enchentes irão ocorrer. A drenagem urbana, a impermeabilização dos solos, o acúmulo de lixo, entre outros, contribuem também para as cheias nas áreas de baixada. (SANTI 2004)

As legislações que regem essa dinâmica, além de não serem respeitadas, se mostram, em sua maior parte, ultrapassadas. A demora nas renovações de planos diretores e de leis de uso e ocupação e ainda a ineficiência da fiscalização corroboram para que áreas protegidas sejam ocupadas de forma a prejudicar a dinâmica hídrica natural e da cidade.

Caracterizar os processos que acarretam na convergência dos fluxos de água das vertentes, em direção a sua base, através da combinação de modelos hidrológicos e do estudo do uso e ocupação do solo, contribui para a previsão de áreas susceptíveis a inundação permitindo um melhor planejamento e desenvolvimento da hidrologia urbana (SANTI 2004).

No intuito de promover estudos que delimitem as zonas de saturação do solo, a modelagem matemática torna possível a simulação da realidade. Assim fica viável a construção dos modelos de previsão e com isso a capacitação para que as autoridades competentes tomem as providências necessárias. Neste contexto diversos trabalhos desenvolveram procedimentos computacionais voltados para a definição de áreas de contribuição e de zonas de saturação no relevo (O'LOUGHLIN, 1986; MOORE *et al.*, 1988; MOORE & GRAYSON, 1991).

Nesse propósito o presente trabalho objetiva analisar a influência do uso e ocupação urbana e as suas influências na dinâmica hídrica do Setor Habitacional Taquari - DF. Como objetivo específico destaca-se a relação desse uso e ocupação com o surgimento e expansão de uma voçoroca encontrada na área.

## **2 - REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 - DINÂMICA DA CIDADE X DINÂMICA HIDROLÓGICA**

Necessitando conhecer melhor as dinâmicas hidrológicas relacionadas à cidade a hidrologia urbana passou a ser estudada como disciplina científica na década de 1960 na América do Norte e na Europa. Isso ocorreu, segundo SANTI (2004), devido ao aumento da demanda de conhecimento e controle das relações entre a cidade e o ciclo hidrológico.

Hoje os estudos relacionados ao tema têm como finalidade a prevenção, o conhecimento e o controle, ou o mais próximo disso, no intuito de posteriormente, e cada vez mais, minimizar efeitos das mudanças do ciclo hidrológico nas áreas urbanas e também os efeitos da urbanização no ciclo hidrológico.

Quando o poder público não controla o crescimento da urbanização ou não amplia a capacidade de micro drenagem a ocorrência de enchentes aumenta. Depois que o espaço é todo ocupado, as soluções disponíveis são caras comprometendo parte do orçamento para proteger uma parcela da cidade que sofre com a imprevidência da ocupação do solo (TUCCI, 1995)

Essa ocupação indevida pode causar desequilíbrios em toda a dinâmica da água na região. Dentro do ciclo hidrológico, as fases mais afetadas por essas alterações são o escoamento superficial e a percolação de água no solo. A cobertura vegetal ajuda a proteger o solo facilitando a infiltração de água. Sem essa proteção o solo fica mais suscetível à compactação e ao selamento superficial, diminuindo a taxa de infiltração e, conseqüentemente, aumentando o escoamento superficial. (MENEZES, 2010)

Com o aumento, principalmente descontrolado da urbanização, aumenta-se também a saturação de solos e o escoamento superficial que por sua vez, implica em uma maior ocorrência de processos erosivos, transporte de sedimentos, nutrientes e poluentes para os córregos, rios e reservatórios (MAEDA, 2008 apud MENEZES, 2010). Isso pode acarretar diversos distúrbios dentre os quais as enchentes, inundações, enxurradas e assoreamento de reservatórios aparecem como principais (Figura 1).

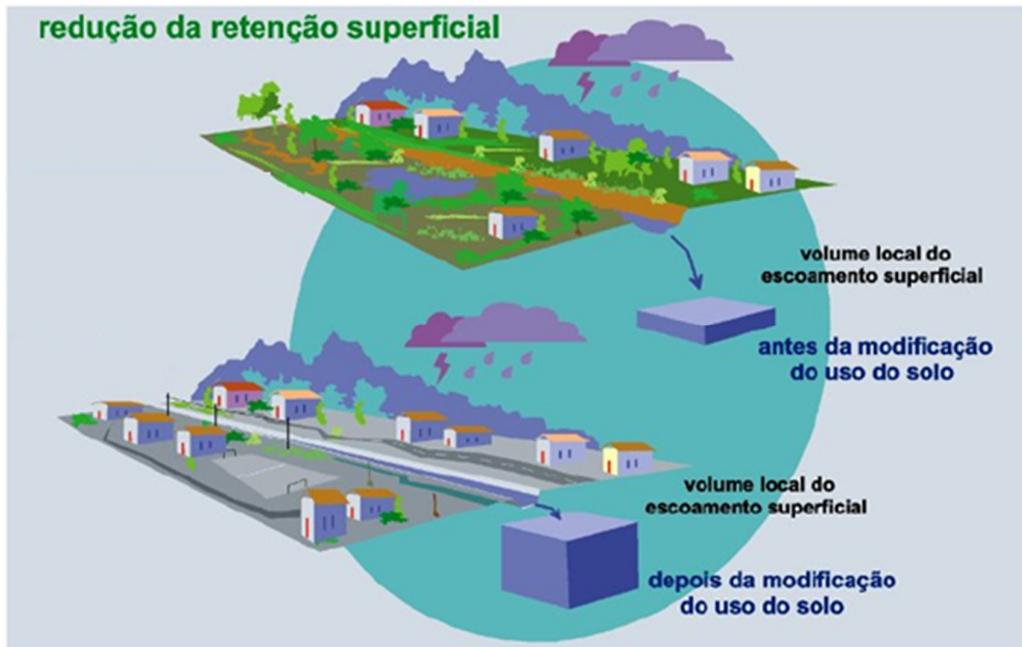


Figura 1. Exemplo esquemático do aumento de volume do escoamento superficial provocado pela modificação no uso do solo, como o aterro de áreas alagáveis, a redução de áreas verdes, a impermeabilização dos solos, a alteração da drenagem natural e a canalização dos rios. Fonte: COSTA (2001).

Para obter resultados aplicáveis com certa celeridade se faz importante o uso de modelagens capazes de proporcionar ação para os órgãos de controle. A cidade possui dinâmicas diversas e que são rápidas e muitas vezes contrastantes com as dinâmicas do ciclo hidrológico. Tendo em vista essa ideia, diversos estudos utilizaram da modelagem matemática baseada na morfologia do terreno para previsão de eventos naturais catastróficos (BEVEN & KIRKBY, 1979; O'LOUGHLIN, 1986; GUIMARÃES, 2000)

## 2.2 - MODELO DE PREVISÃO DE ZONAS DE SATURAÇÃO DO RELEVO

É sabido que as porções baixas do relevo são pontos para a convergência de escoamentos superficiais, subsuperficiais e subterrâneos e também para os sedimentos carregados por esses fluxos. Segundo SANTI (2004), vários estudos passaram a destacar a importância da convergência dos fluxos d'água para as partes côncavas das encostas gerando áreas saturadas no relevo.

Esclarece também que foi desenvolvido por BEVEN & KIRKBY (1979) um modelo de previsão de zonas de saturação na paisagem consolidado em bases físicas, denominado TOPMODEL (*Topography Model*). Este modelo hidrológico está baseado na premissa que a topografia exerce um controle dominante sobre o escoamento que se propaga em bacias hidrográficas (BEVEN & KIRKBY, 1979; TUCCI, 1998; CHRISTOFOLETTI, 1999).

Tal modelo define o padrão de saturação na topografia baseando-se em conceitos de modelagem matemática que estimam para esse padrão a relação de razão entre a área de contribuição (área drenada que passa por uma unidade de comprimento de contorno da topografia) e a declividade.

Tendo como base esses ensinamentos, O'LOUGHLIN (1986) desenvolveu um modelo denominado TOPOG que tem como objetivo de determinar as zonas de saturação no relevo em escalas de bacia. Esse modelo define um padrão de equilíbrio da saturação do solo que é constituído por três variáveis, quais sejam: a transmissividade do solo, a área de contribuição a montante e a declividade. Então a área de contribuição precisa ser maior que o produto da transmissividade pelo seno da declividade local. Dessa forma o índice de umidade (W) passa a determinar a condição da saturação.

$$W = \frac{Q}{T} x \frac{a/b}{\sin \theta}$$

Equação 1. Fórmula do Modelo de O'LOUGHLIN (1986).

O parâmetro hidrológico área de contribuição (a/b) define a área drenada a montante de um ponto específico da bacia de drenagem. A transmissividade (T) é definida como uma propriedade do solo que demonstra a capacidade de transmissão hidráulica, o produto da permeabilidade pela espessura do solo. A dinâmica hidrológica das encostas, dentre outros fatores depende diretamente da condutividade hidráulica dos solos (K) (SANTI 2004). Essa condutividade é definida, como expõe SANTI (2004), por FREEZE & CHERRY (1979) como um parâmetro que mede a facilidade com que o solo transmite água, de forma que quanto maior for o seu valor, maior será a velocidade de percolação.

Para LIBARDI (1995), umidade é o termo que é representado por um índice que demonstra a quantidade de água em uma dada amostra de solo. A umidade é também uma variável importante no controle da condutividade hidráulica do solo, pois em condições de

maior umidade, isto é, sob tensões mais baixas, a condutividade assume valores elevados, já em condições de menor umidade, isto é, sob tensões mais altas, a condutividade passa a assumir valores inferiores. Mensurar essa umidade se faz indispensável para estudos de dinâmica hidrológica e também para relações químicas, mecânicas e biológicas do solo.

### **2.3 - PROCESSO HISTÓRICO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO**

A atual capital do país teve suas primeiras ideias de formação em tempos remotos que datam da época de Tiradentes. Desde aquela época já se pensava a transferência da capital para o interior.

Com a primeira Constituição da República, o preceito jurídico para a instalação da nova capital no interior se tornou real e viável com a promulgação da Emenda apresentada pelo deputado Lauro Muller. De acordo com a letra da lei do artigo 3º da citada Emenda “Fica pertencendo à União, no Planalto Central da República, uma área de 14.400 km<sup>2</sup> que será oportunamente demarcada para nela estabelecer-se a futura Capital Federal”.

No entanto, o ano que, de fato, fica marcado como principal foi 1894 quando um estudo da área traçou o que foi chamado de Quadrilátero Cruls. O resultado foi a demarcação do quadrilátero de 14.400km<sup>2</sup>, entre os paralelos 15 e 16 graus de Latitude Sul, reservado para o futuro Distrito Federal (ABERS, 2001). Porém a mudança da capital só foi efetivada em 1953 quando a empresa de Donald Belcher fora contratada para realizar estudos acerca da geografia, topografia, solos para engenharia e condições da drenagem para suprimento. A área analisada pela equipe Belcher abrangeu um retângulo de 50.000 km<sup>2</sup>, no qual foram selecionados cinco sítios prováveis para a implantação do Distrito Federal (CODEPLAN 2012).

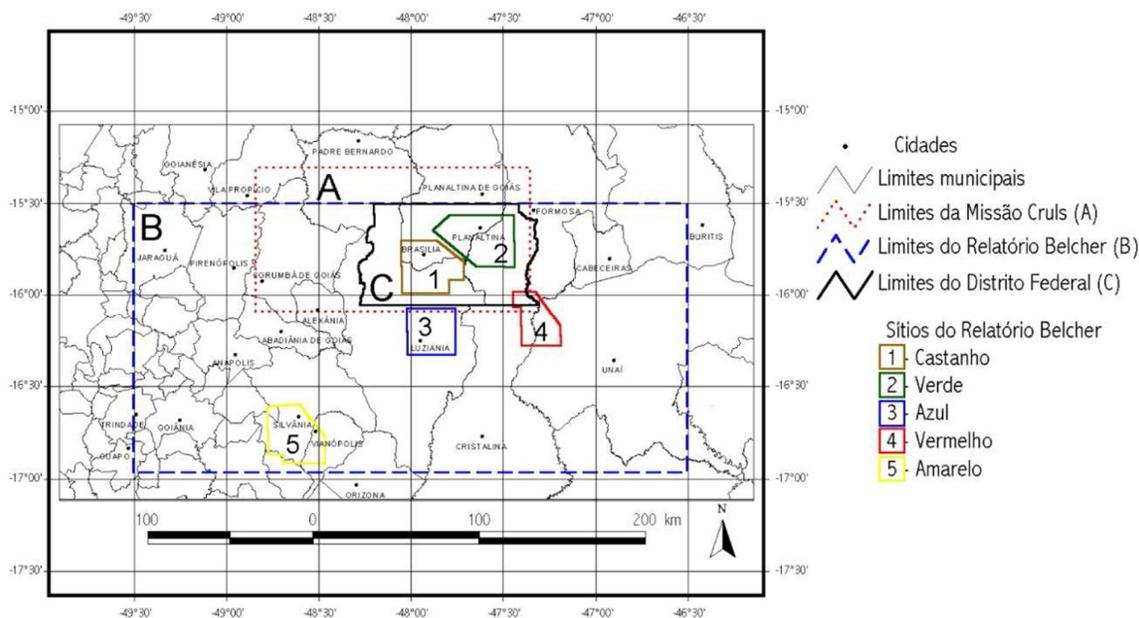


Figura 2: Localização dos limites das áreas indicadas pela Missão Cruls e pelo Relatório Belcher, inclusive dos sítios recomendados, e da área atual do Distrito. Fonte: FORTES et al. 2007.

O resultado desse estudo designou o Sítio Castanho como vitorioso por oferecer as melhores condições geográficas, estratégicas e geomorfológicas para a instalação da futura capital. Isso somente ocorreu em 1955 quando o então Presidente Café Filho aprovou o Relatório de Belcher, apresentado no ano anterior, que determinava a área da nova capital do país.

O Presidente Juscelino Kubitschek foi o responsável por colocar em prática a construção da nova capital e tirar do papel o que outrora fora somente um sonho de alguns. Em outubro de 1957, Juscelino sancionou a Lei que marcava, para o dia 21 de abril de 1960, a transferência da Capital da União para o novo Distrito Federal. Com a entrega das chaves da cidade pelo presidente da NOVACAP, Israel Pinheiro, a Juscelino Kubitschek, na Praça dos Três Poderes, às 16h do dia 20 de abril de 1960, iniciaram-se as solenidades de inauguração de Brasília com a presença de autoridades da República, representantes estrangeiros credenciados e visitantes de toda parte do país. (CODEPLAN 2012)

Durante a construção de Brasília, iniciou-se a criação de núcleos habitacionais para abrigar os trabalhadores que aqui chegavam. A Cidade Livre, posteriormente denominada Núcleo Bandeirante, surgiu em 1956. A Vila Paranoá abrigou os trabalhadores que vieram

construir a barragem do Lago Paranoá, em 1957. Taguatinga foi criada em 1958, Gama e Sobradinho em 1960, as quais passaram à condição de cidades-satélites em 1967. Planaltina já existia como município do Estado de Goiás e Brazlândia era um povoado que fazia parte da área rural do município de Luziânia, à época conhecida como Santa Luzia (CODEPLAN 2012).

Na intenção de promover uma gestão facilitada desses núcleos habitacionais, em 1964 foi sancionada a Lei 4545 que dividiu o DF em oito regiões administrativas. A Constituição de 1988 estabelece que, no Distrito Federal, não será possível a criação de municípios. Para tanto, o território legal do DF foi dividido espacialmente no que é chamado de Regiões Administrativas. Com a evolução da ocupação territorial, em outubro de 1989 procedeu-se a uma nova divisão, chegando a 12 regiões administrativas. Em 2000 existiam 19, em 2011 totalizavam 30 e, em 2013 são 31 regiões.

Ainda que Brasília tenha sido planejada e projetada sobre forte rigorosidade do plano urbanístico, o mesmo não se fez para controlar o uso e a ocupação nos demais núcleos já existentes no restante do DF. Assim o restante do território sofreu com constantes pressões e especulações imobiliárias. O processo de planejamento do DF, durante a década de 70, passou a ter uma preocupação central de assentar a população migrante fora da bacia do lago, tendo entre os argumentos citados, a preservação da capacidade limite do lago e a criação de um cinturão de proteção para a bacia do lago (OLIVA *et al*, 2001).

Diversos estudos foram elaborados desde então acerca dos padrões de uso e ocupação. Entretanto, as análises desses dados foram sempre voltadas para a identificação da perda de cobertura vegetal, sem considerar outros impactos como, por exemplo, as modificações no padrão de urbanização das cidades sobre a taxa de impermeabilização e conseqüentemente o fluxo superficial (MENEZES 2010).

### 3 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Setor Habitacional Taquari - SHTQ passou a existir como parte da malha urbana do Distrito Federal por meio do Decreto nº 23060 de 2002 ratificado pelo então Governador Joaquim Domingos Roriz. Segundo o decreto, o setor seria um núcleo habitacional que ficaria vinculado à Região Administrativa Lago Norte e localizado, de acordo com o próprio texto da lei, à margem leste da rodovia DF-003, a margem sul da rodovia DF-001, a calha leste do Córrego Jerivá, a margem norte da rodovia DF-005, e o limite nordeste do Varjão conforme a figura 3.

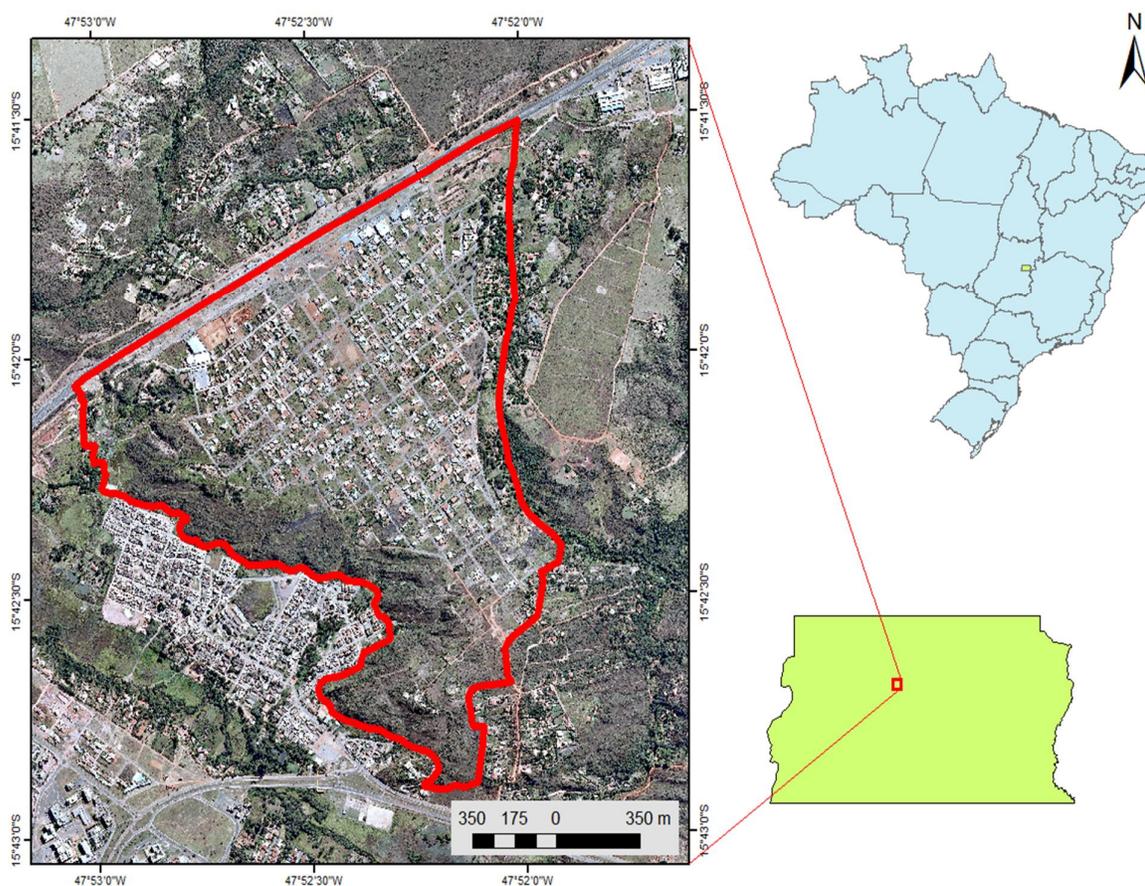


Figura 3. Mapa de Localização do Setor Habitacional Taquari - DF.

Aproximadamente 3 mil moradores residem no local muito embora essa informação não seja ratificada por órgão oficial. Esse número compreende apenas uma análise visual de fachada e fotografia aérea do local. A grande maioria dos habitantes da região é de classe

média, tendo como indicadores dessa condição social as construções residenciais observadas na área, os espaços comerciais, que inclui concessionárias, restaurantes etc. e a condição da infraestrutura existente no local. Atualmente o SHTQ é regido pela Administração da RA Lago Norte, no entanto a área que hoje abriga o Taquari, anteriormente compreendia chácaras do antigo condomínio Hollywood, que passou por um parcelamento planejado que inclui áreas destinadas a sistema de circulação, à implantação de equipamentos urbanos e comunitários e a espaços livres de uso público (Figura 4).

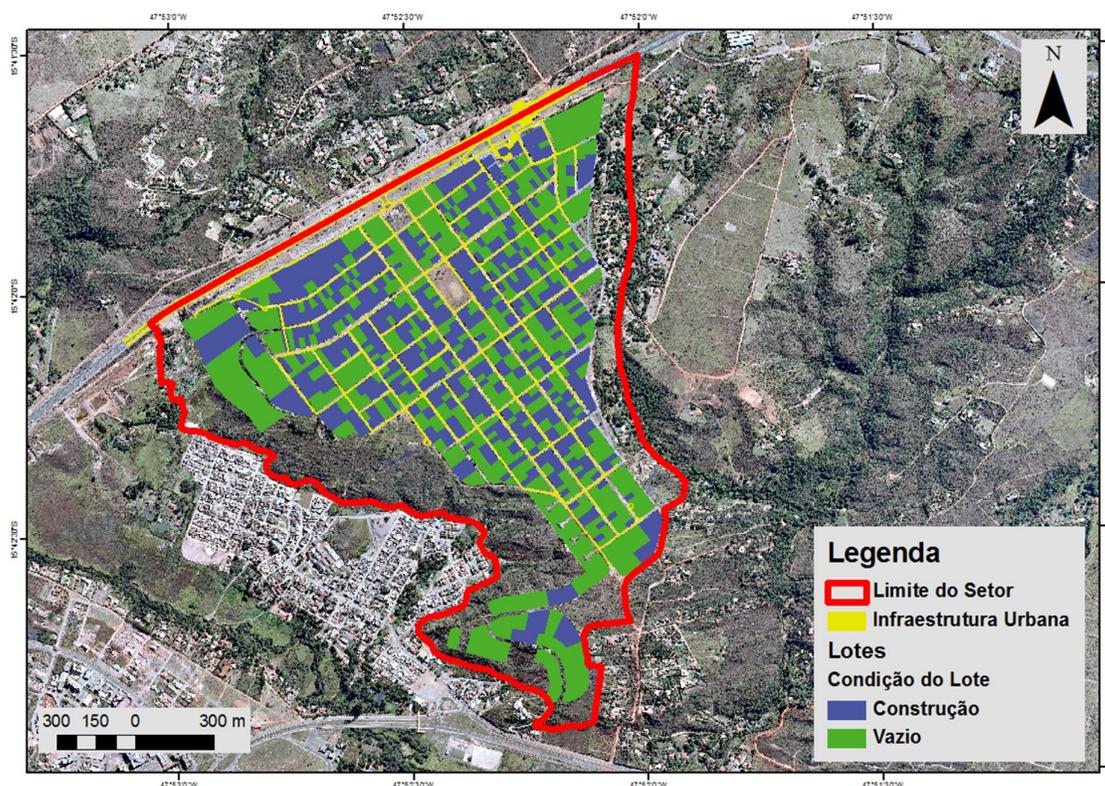


Figura 4. Mapa de Uso e Ocupação do Setor Habitacional Taquari – DF.

A região onde se localiza o Distrito Federal possui dois períodos de clima bem identificáveis sendo um seco que inicia em Maio e termina em meados de Setembro e outro chuvoso que ocorre entre Outubro e Abril. De acordo com a classificação de Koppen, o clima atual na região do DF se enquadra entre os tipos tropical de savana e temperado chuvoso de inverno seco. (MARTINS et al 2004). As precipitações, segundo estudo realizado pela EMBRAPA (1978), podem variar entre 1500 e 2000 mm anuais com média em torno de 1600mm e podendo alcançar, em janeiro, 320mm por mês como seu maior índice pluviométrico. Nos meses secos a média mensal por ficar em 50mm.

A umidade também é um fator de variação intensa. Nos meses mais chuvosos, permanece alterando em torno dos 75%. No entanto nos meses secos a média mínima atinge 30% e, individualmente, em alguns dias pode chegar a 11%.

Conforme SEMA (1988) *in* CARVALHO *et al.*(2006), a vegetação do Distrito Federal está situada na Província Fitogeográfica do Cerrado. A paisagem descrita abrange dois grupos distintos: campos (limpo e sujo) e cerrados (campo-cerrado, cerrado e cerradão), com formações adicionais como matas ciliares, matas mesófilas e veredas. A vegetação da bacia tem influência direta na qualidade do corpo d'água, por desempenhar importante papel na contenção de processos erosivos, fenômenos que contribuem para o assoreamento do Lago. As matas de galerias, em particular, são fundamentais para a manutenção dos sistemas hídricos MENEZES (2010).

De acordo com AB'SABER (1964), as características geomorfológicas das paisagens do domínio morfoclimático do cerrado são resultados por meio de prolongados processos de interação entre o regime climático tropical semi-úmido com os fatores litológicos e antrópicos e bióticos.

A área do DF é constituída por extensos níveis planos a suavemente ondulados, conhecidos como chapadas, por morros residuais em direção aos vales, os pediplanos e pedimentos. Estas regiões estão modeladas sobre os quartzitos, metarritmitos e filitos e normalmente estão cobertos por latossolo e laterita vesicular, cujos rebordos são entalhados e dissecados pelos principais cursos d'água (MENEZES, 2010). NOVAES PINTO (1986) estabelece três macrounidades geomorfológicas para o Distrito Federal: (a) região de chapada, (b) área de dissecação intermediária e, (c) região dissecada de vale. No primeiro caso, as rochas mais resistentes aos processos de denudação são responsáveis pela manutenção de chapadas e terrenos mais elevados, enquanto as rochas mais susceptíveis aos processos de alteração e transporte resultam em regiões mais rebaixadas. Essas três macrorregiões estão subdivididas em treze unidades geomorfológicas, considerando a altimetria e as características locais (NOVAES PINTO, 1986):

A Região de Chapada possui topografia plana e plana ondulada, com cobertura de latossolos, e lateritas, além disso, apresenta seguimentos retilíneos em suas encostas. Situa-se em regiões de elevação acima de 1.000 m. Esta macrounidade está dividida entre as unidades geomorfológicas:

- Chapada da Contagem
- Chapada de Brasília

- Chapada do Pipiripau
- Chapada Divisora São Bartolomeu - Preto
- Chapada Divisora Descoberto-Alagado

A Área de Dissecação Intermediária considera áreas de chapada neogênica alteradas por processo de pediplanação, mas que não perderam suas características essenciais. Coberta por latossolo vermelho. Subdivide-se entre as unidades geomorfológicas:

- Depressão do Paranoá
- Vale do Rio Preto
- Curso Superior do Rio Maranhão
- Alto Curso do Rio São Bartolomeu

Região Dissecada de Vales caracterizada por área com maior densidade de drenagem e suas depressões litológicas de resistência variada. Suas unidades são:

- Curso Superior do Rio São Bartolomeu
- Alto Curso do Rio Descoberto
- Curso Superior do Rio Descoberto
- Alto Curso do Rio Alagado

O Setor Habitacional Taquari, de acordo com Novaes Pinto (1986), está localizado entre as macrorregiões Área de Dissecação Intermediária e Região de Chapada, e entre as unidades geomorfológicas Depressão do Paranoá e Chapada da Contagem.

Na região da área de estudo é encontrado, além das já citadas, uma unidade denominada de Região de Rebordos, de acordo com MARTINS *et al* (2004). O compartimento da região dos Rebordos está situado geralmente na transição entre as regiões de dissecação intermediária e de dissecação de vales. É definida por padrão de relevo ondulado, geralmente relacionado à presença de quartzitos do topo da Unidade S do Grupo Paranoá (MARTINS *et al* 2004).

Conforme estudo realizado pela EMBRAPA (1978) por meio de seu Serviço Nacional de Levantamento de Solos, o DF possui cerca de 90% da totalidade de seu território recoberto

por três principais classes de solo, quais sejam: Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Cambissolo Distrófico (CD). Os solos, levantados pela EMBRAPA (1978), do DF estão associados às superfícies de erosão de altitude médias de 1.200 m e 1.100m, modeladas sobre quartzitos e metarritmitos (MAIA, 2003). Essas classes são definidas como solos tropicais, vermelhos, ricos em ferro e alumínio, ácidos e pobres em macro e micro nutrientes (EMBRAPA, 2004).

- Latossolo Vermelho: é encontrado principalmente em divisores de bacia com topo plano, topos de chapadas, na depressão do Paranoá e na Bacia do Rio Preto.
- Latossolo Vermelho-Amarelo: Encontrado principalmente em superfícies plana, abaixo do topo da Chapada da Contagem, nas bordas de chapadas e em seus divisores sempre próximo aos Latossolos Vermelhos.
- Cambissolos: encontrados em encostas com declividades acentuadas da Bacia do Rio Preto e na Depressão do Paranoá, e também nas vertentes das bacias dos rios São Bartolomeu, Descoberto e Maranhão.

Existem, porém outras classes de solos no DF que completam os outros 10% do território. São eles: Gleissolo Háplico, Neossolo Quartzarênico, Plintossolo Pétrico e Nitossolo Vermelho.

Não diferente da maior parte do DF, o Setor Habitacional Taquari é composto pelos três principais solos encontrados, e se dispõem conforme a figura 5.

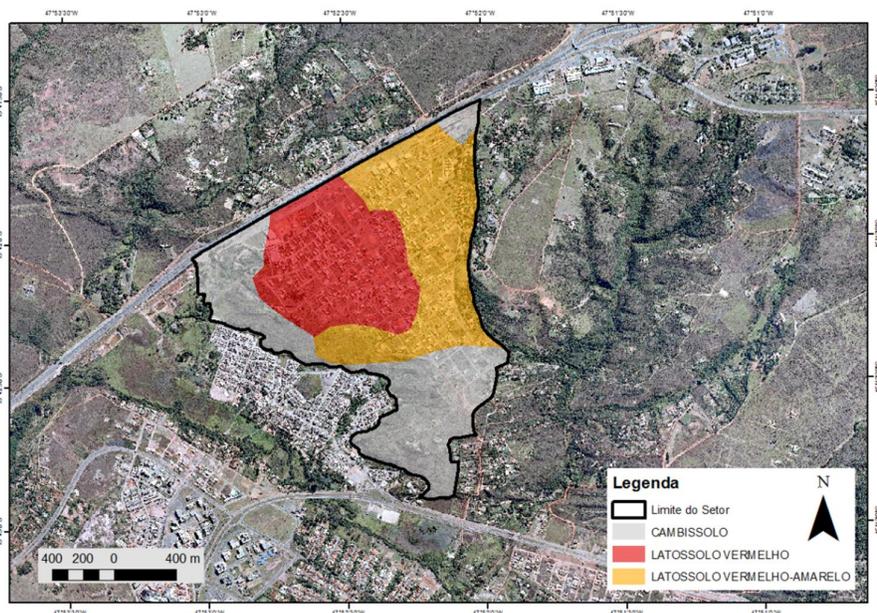


Figura 5. Mapa de Solos do Setor Habitacional Taquari - DF.

O DF está localizado na porção central da faixa de Dobramentos Brasília onde se observam quatro grandes unidades litológicas, os grupos: Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí.

GONÇALVES (2007) destaca que 65% da área total do DF está inserida no Grupo Paranoá, onde são identificadas sete das suas onze unidades regionais, quais sejam: Quartzito conglomerático (Q2) Metassilito / metarritmito arenoso (S), Ardósia (A), Metarritmito arenoso / metassilito (R3), Quartzitos (Q3), Metarritmitos argilosos (R4); e a unidade Psamopelito-carbonatada (PPC) constituída por lentes de metacalcários.

Já o Grupo Canastra é encontrado em 15% do território do DF, mais precisamente na parte ao sul do vale do rio São Bartolomeu. É composta em quase sua totalidade por filitos, e apresenta resíduos de corpos lenticulares de mármore e quartzitos. No Grupo Araxá é encontrado exclusivamente por xistos e ocupa apenas 5% na parte Sudoeste do Distrito Federal. O Grupo Bambuí está localizado na parte leste do DF. É formado basicamente por arcóseos e metassilitos. Ocupa outros 15 % do Distrito Federal. O Setor Habitacional Taquari está localizado numa zona de transição entre as Unidades Ardósia (A) e Metarritmito arenoso (R3).

#### 4 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados dados da topografia, com curvas de nível equidistantes em 5 metros de altura e, um mosaico de ortofotos da área obtidas do mapeamento da Terracap de 2010. Estes dados serviram para a modelagem de terreno e para modelagem hidrológica, mapeamento do uso e ocupação da terra e, identificação da voçoroca encontrada na área (Figura 6). Além destes dados, foram utilizados também os dados da série histórica de precipitação das estações pluviométricas da CAESB para a bacia do Paranoá (Figura 8).

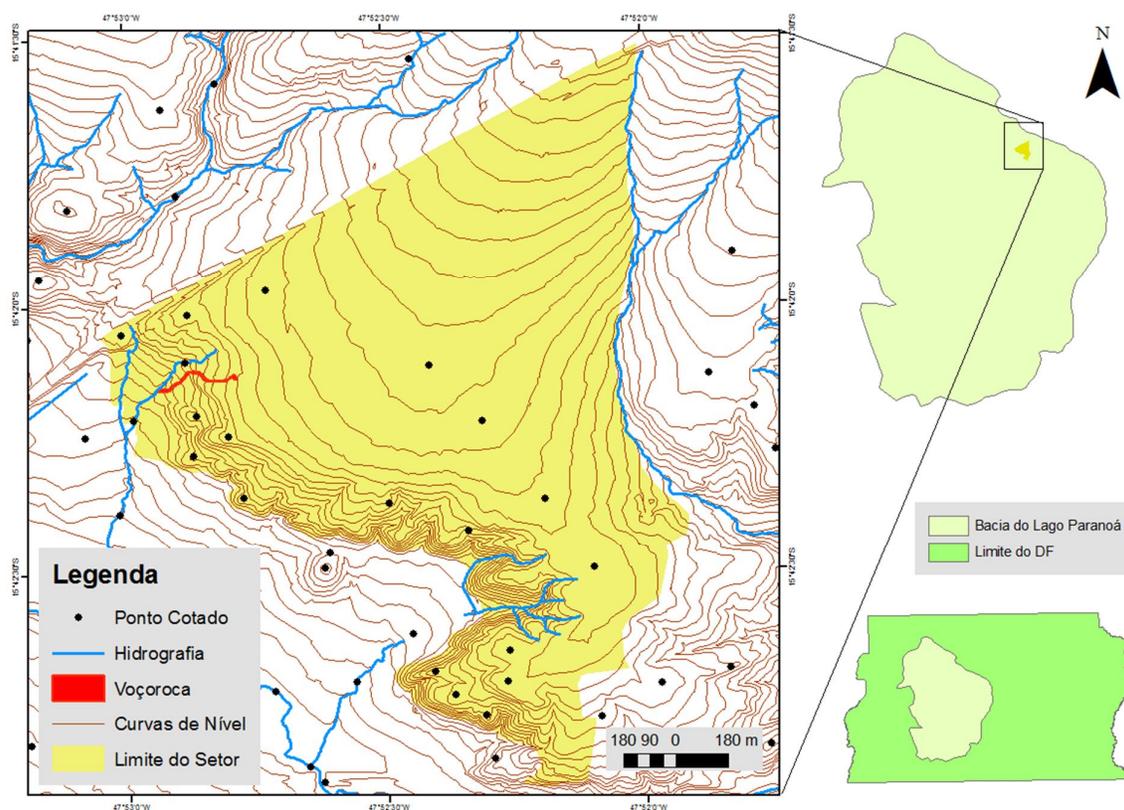


Figura 6 – Mapa com a topografia utilizada (curvas de nível, pontos cotados e hidrografia), vias urbanas e da localização da voçoroca encontrada no setor Taquari.

Com a obtenção desses dados prosseguiu-se para o processo de modelagem da saturação do relevo que foi dividida em dois momentos (Figura 7).

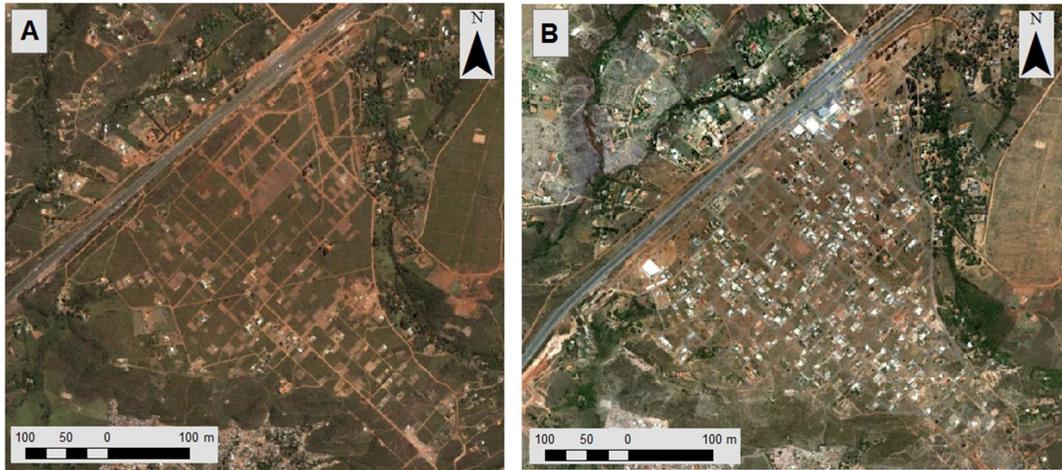


Figura 7 – Imagens de Satélites do Google Earth que mostram a ocupação nos anos de 2002 (A) e 2008 (B).

O primeiro momento foi definido antes do processo de uso e ocupação do setor Taquari. Este processo de ocupação ocorre a partir de 2002 com a criação do setor. E o segundo momento foi o ano de 2008 (ano que os dados de precipitação estavam sólidos para todas as estações) com a ocupação do setor Taquari já consolidado. Esta divisão em 2 tempos distintos foi proposta para identificar se o processo de uso e ocupação está influenciando na dinâmica hidrológica superficial da área e, se ela é uma das responsáveis para o desenvolvimento da voçoroca encontrada.

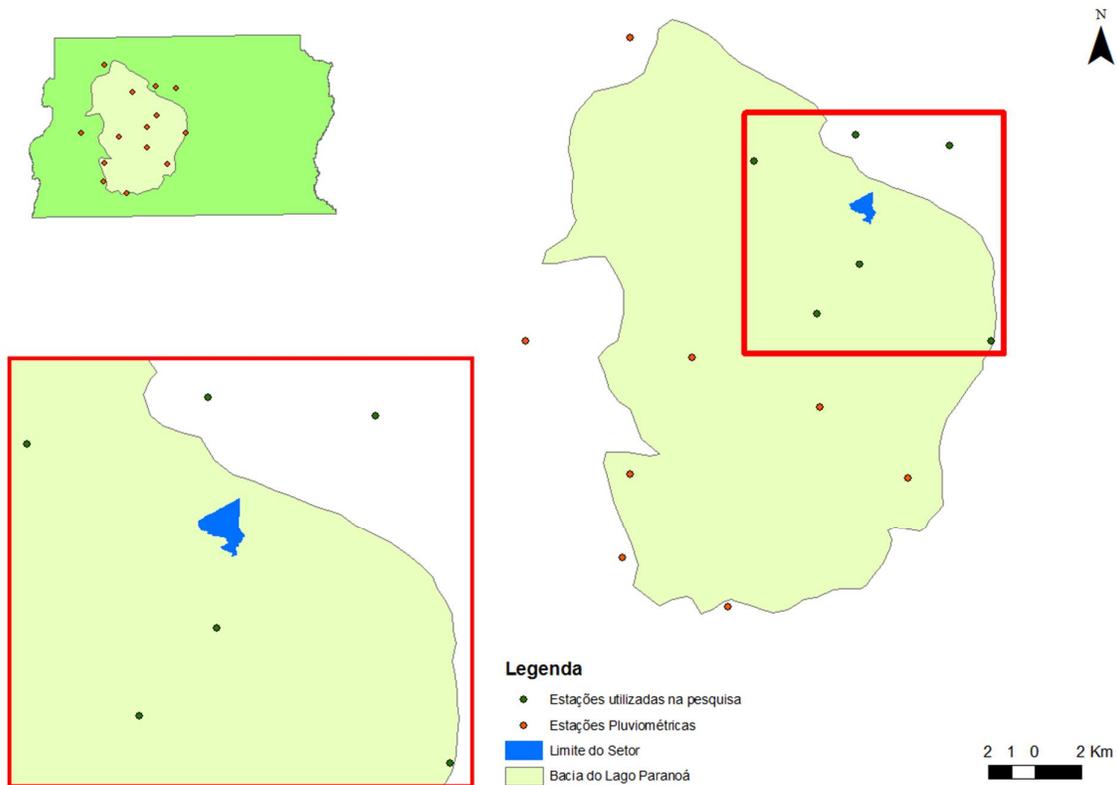


Figura 8 – Mapa com a localização das estações pluviométricas da CAESB utilizadas para a geração do mapa de precipitação para o ano de 2002 e 2008.

Para o ano de 2002, inicialmente, gerou-se o modelo digital de terreno (MDT), a partir da topografia da área utilizando o módulo *Topo to Raster*, do software *ArcGis*. Este MDT foi gerado com resolução de 2 metros (largura do *pixel*) e, serviu para a geração do mapa de declividade e de área de contribuição utilizados no modelo de saturação do relevo. Após a geração destes mapas foram modelados a precipitação para área em 3 diferentes situações (Tabela 1). A primeira situação calculou-se para cada estação pluviométrica a média diária para o ano de 2002. A segunda situação utilizou-se somente os meses mais chuvosos (janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro) e calculou-se a média diária para esses meses. E na terceira situação, selecionou-se as chuvas máximas por dia no ano analisado de cada estação. Com os dados de cada estação calculados, a próxima etapa, foi interpolar esses dados (a partir do módulo *Topo to Raster* do *ArcGis*) para a obtenção de um mapa de precipitação para a região do setor Taquari. Para a transmissividade utilizada no modelo de saturação foi usado o valor de  $65\text{m}^2/\text{dia}$ . Este valor foi obtido a partir do trabalho de MONTGOMERY & DIETRICH (1994) que modelaram diferentes valores de transmissividade para áreas sem ocupação.

Tabela 1 – Médias diárias e chuva máxima para cada estação utilizada para a geração do mapa de precipitação do setor Taquari, para o ano de 2002.

<b>Estações/Dados de Chuva</b>	<b>Média diária de chuva por ano</b>	<b>Média diária de chuva para os meses chuvosos</b>	<b>Chuva máxima por dia de cada estação</b>
<b>Estação Paranoá</b>	3,62	6,70	88
<b>Estação Contagem</b>	3,07	5,56	65,6
<b>Estação Norte</b>	3,36	5,90	54,2
<b>Estação Represa Santa Maria</b>	2,70	4,75	55
<b>Estação Sobradinho</b>	2,44	4,44	48,6
<b>Estação Caesb Hidrologia</b>	2,34	3,75	49

Já para o ano de 2008, com a presença da urbanização na área, foi gerado um novo MDT utilizando a topografia da área, mas acrescentado a vias urbanas do setor como áreas hipotéticas de drenagem. Esta metodologia foi descrita por FREITAS et al. (2010) em que, os autores destacam que o processo de ocupação de uma área pode mudar a dinâmica hidrológica superficial desta e desencadear processos erosivos na região analisada. Destaca-se que, a declividade utilizada neste momento (ano de 2008) foi a mesma produzida a partir do MDT para o ano de 2002. Isto aconteceu para que não tivéssemos altas declives nas bordas das vias o que poderia influenciar na modelagem da saturação.

Para a área de contribuição foi gerada a partir do MDT de 2008. Destaca-se que, tanto para o ano de 2002 e de 2008, utilizou-se o método Dinf, desenvolvido pelo TARBOTON (1997), que define um fluxo proporcional entre duas células subjacentes, para o cálculo da área de contribuição.

A precipitação seguiu a mesma metodologia desenvolvida para o ano de 2002, só que agora utilizando os dados de 2008 (Tabela 2). No parâmetro transmissividade foram utilizados 2 valores distintos devido ao processo de impermeabilização com a ocupação do setor (Figura 9). O valor para áreas sem ocupação foi utilizado o mesmo valor que o utilizado para o ano de

2002. Para as áreas com ocupação foi utilizado o valor de 16m<sup>2</sup>/dia. Este valor representa 25% do valor de transmissividade sem ocupação. Isto ocorre devido ao grau de impermeabilização que estas áreas acabam ocasionando. O valor de 25% de transmissividade em área urbanas é também descrito por SANTI (2004).

Por fim, foi feita a análise visual dos resultados obtidos coletando-se no começo da voçoroca mapeada os valores do resultado do modelo de saturação do relevo para os anos de 2002 e de 2008.

Tabela 2 – Médias diárias e chuva máxima para cada estação utilizada para a geração do mapa de precipitação do setor Taquari, para o ano de 2008.

<b>Estações/Dados de Chuva</b>	<b>Média diária de chuva por ano</b>	<b>Média diária de chuva para os meses chuvosos</b>	<b>Chuva máxima por dia de cada estação</b>
<b>Estação Paranoá</b>	3,69	6,47	106,3
<b>Estação Contagem</b>	4,32	7,88	95
<b>Estação Norte</b>	3,92	6,52	72,4
<b>Estação Represa Santa Maria</b>	3,51	6,11	67
<b>Estação Sobradinho</b>	4,01	7,07	66,4
<b>Estação Caesb Hidrologia</b>	4,23	7,10	77,5

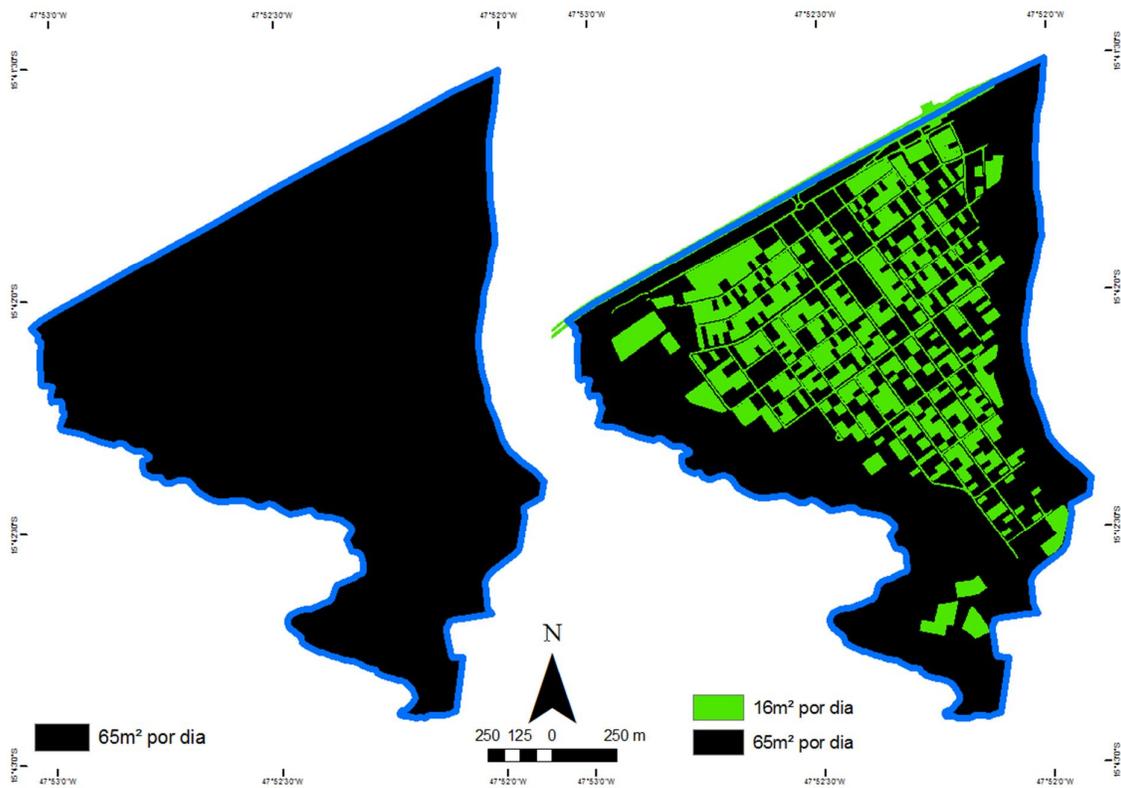


Figura 9 – Mapas com os valores de transmissividade utilizados para a modelagem de saturação. O mapa do lado esquerdo o valor utilizado de  $65\text{m}^2/\text{dia}$  obtido a partir do trabalho de MONTGOMERY & DIETRICH (1994) e, do lado direito os valores de  $65\text{m}^2/\text{dia}$  (para áreas não ocupadas) e de  $16\text{m}^2/\text{dia}$  (para as áreas ocupadas).

## 5 – RESULTADOS

Os primeiros resultados estão relacionados aos parâmetros morfométricos obtidos diretamente dos MDTs gerados. O primeiro parâmetro foi a declividade que foi a mesma para os dois anos analisados (Figura 10). A declividade da região varia de valores próximos a zero até 45 graus. As áreas de maior declive estão localizadas na parte sul e sudoeste do setor Taquari. Isto ocorre, por o setor estar localizado próximo ao divisor de drenagem da bacia do Paranoá que é a borda do Domo de Brasília.

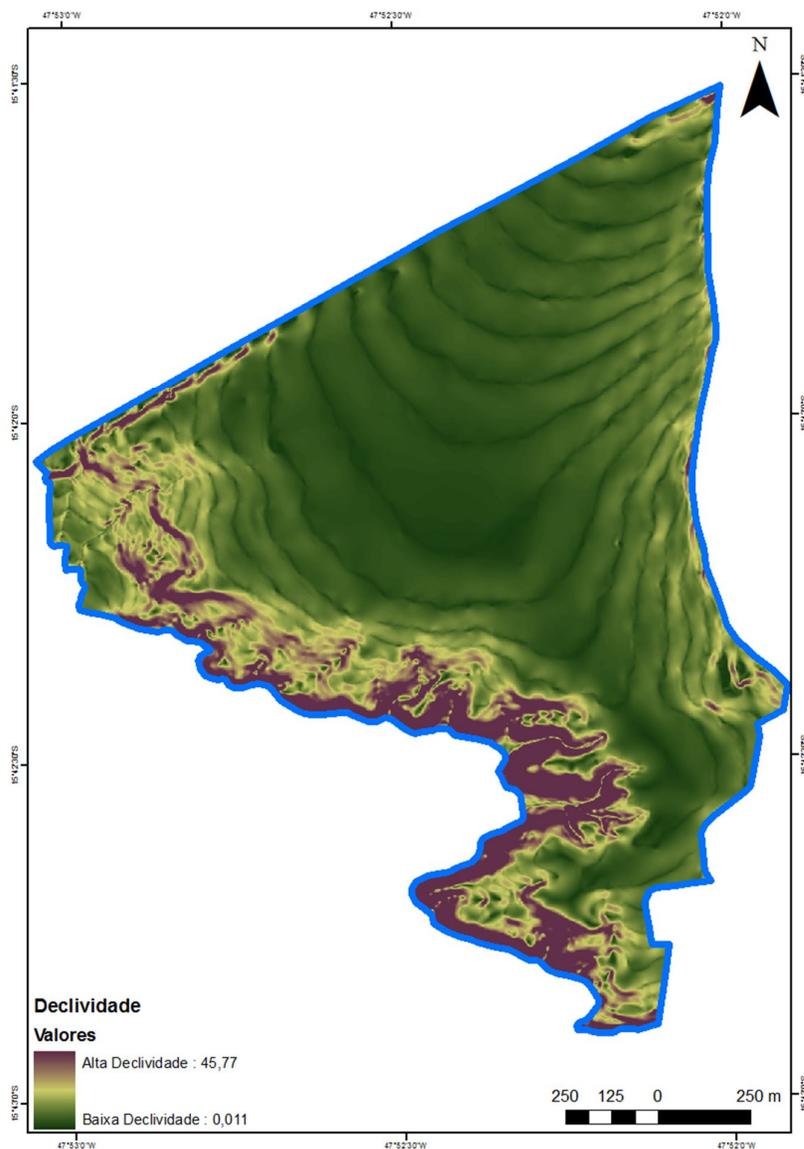


Figura 10 – Mapa de declividade do setor Taquari em que, se verifica que os maiores declives estão localizados na parte sul e sudoeste.

O segundo resultado foi o mapa de área de contribuição, tanto para o ano de 2002 como para o ano de 2008 (Figura 11). Nota-se que a área de contribuição, que é um parâmetro que descreve como a dinâmica hidrológica superficial da região está disposta, muda com o processo de urbanização. Verifica-se que o setor é uma área de dispersão de água, ou seja, de divisor de drenagem, mas com a implementação do sistema viário verifica-se que áreas antes dispersavam água, agora tem um processo de concentração (maiores áreas de contribuição).

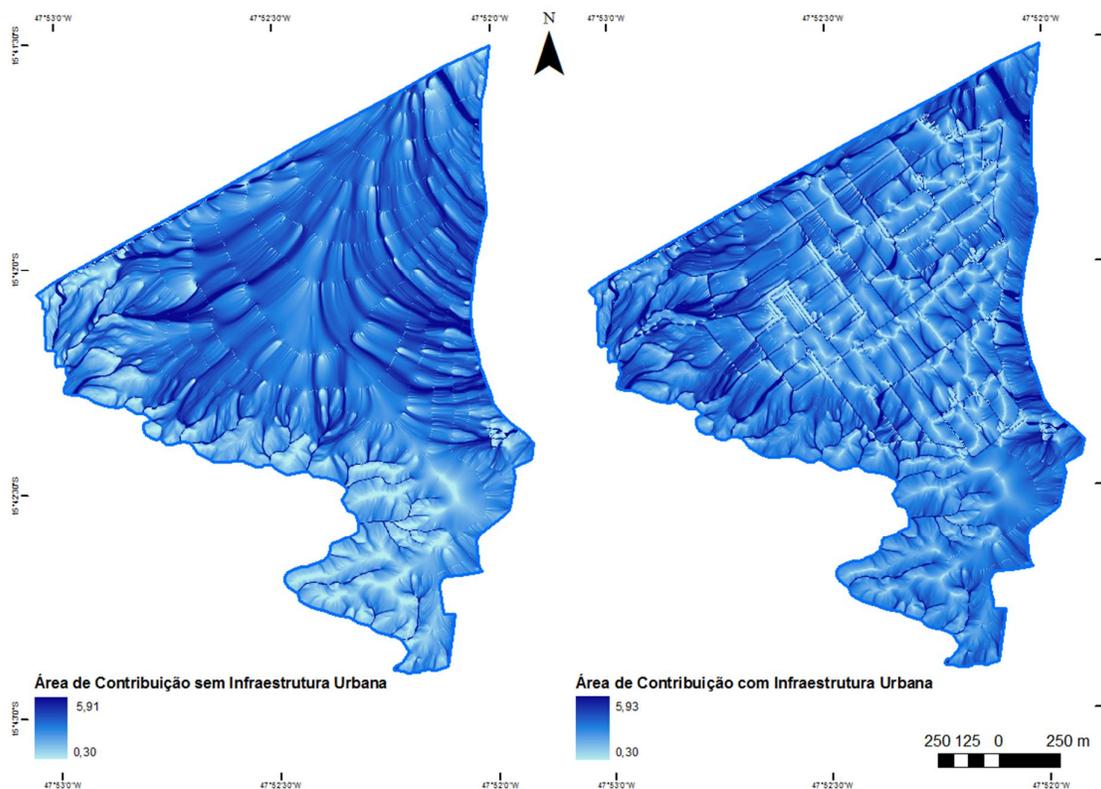


Figura 11 – Mapas de áreas de contribuição sem processo de ocupação (ano de 2002) e com processo de ocupação (ano de 2008).

A etapa seguinte foi a modelagem da precipitação para a área de estudo (Figura 12). Inicialmente, verifica-se que na área de estudo os valores de precipitação máxima e mínima estão sempre muito próximos, tanto para o ano de 2002 como de 2008. A média anual da precipitação para o ano de 2002 foi de 3mm/dia e, de 4mm/dia para o ano de 2008. Já a média para os meses chuvosos foi de 5mm/dia (para o ano de 2002) e de 7mm/dia (para o ano de 2008). E as chuvas máximas ficaram entre 55,8 e 57,4 mm/dia para o ano de 2002 e, de 75,2 e 78,8 mm/dia para o ano de 2008.

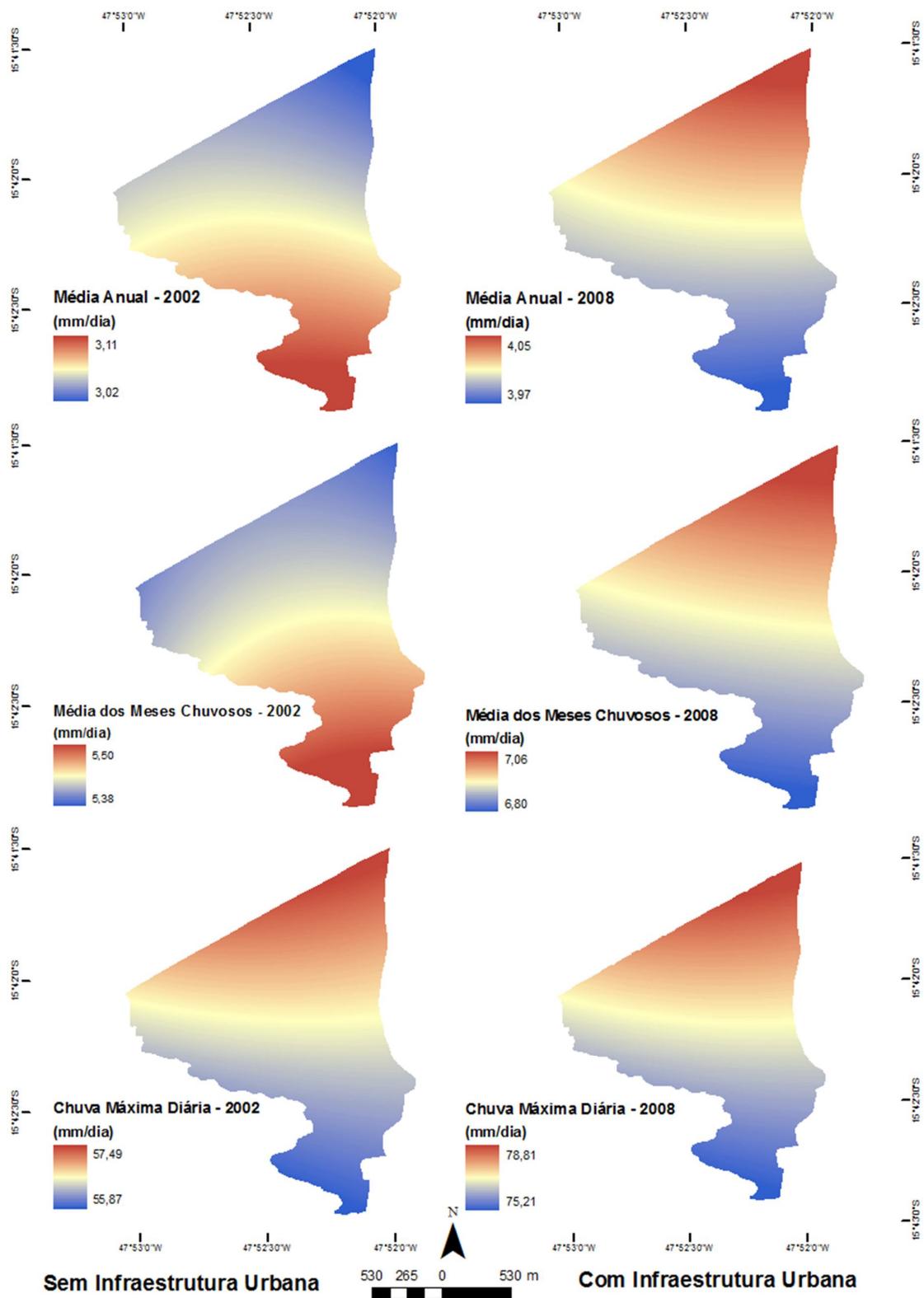


Figura 12 – Mapas da variação pluviométrica no setor Taquari para os anos de 2002 e 2008.

E por fim, se obtém o resultado na modelagem da saturação do relevo (Figura13). Nota-se que visualmente, conforme o mapa de área de contribuição, na modelagem de saturação, áreas que antes indicavam pouca saturação do relevo (no ano de 2002), para o ano de 2008 os valores de saturação aumentam (áreas no centro do setor, por exemplo). Isto ocorre, por que em 2008 existem áreas impermeabilizadas que tem valor de transmissividade baixos e, como a transmissividade é um parâmetro que na equação está dividindo quanto menor for esse valor, maior será o resultado obtido, ou seja, maior será o valor do índice de saturação. Isso também pode ser verificado nos valores obtidos no começo da voçoroca analisado (Tabela 3). Nota-se que os valores para 2002 são sempre menores do que os valores para o ano de 2008. Esta diferença é em média de 2 ordens de grandeza, ou seja, o processo de urbanização muda a dinâmica hidrológica superficial da região.

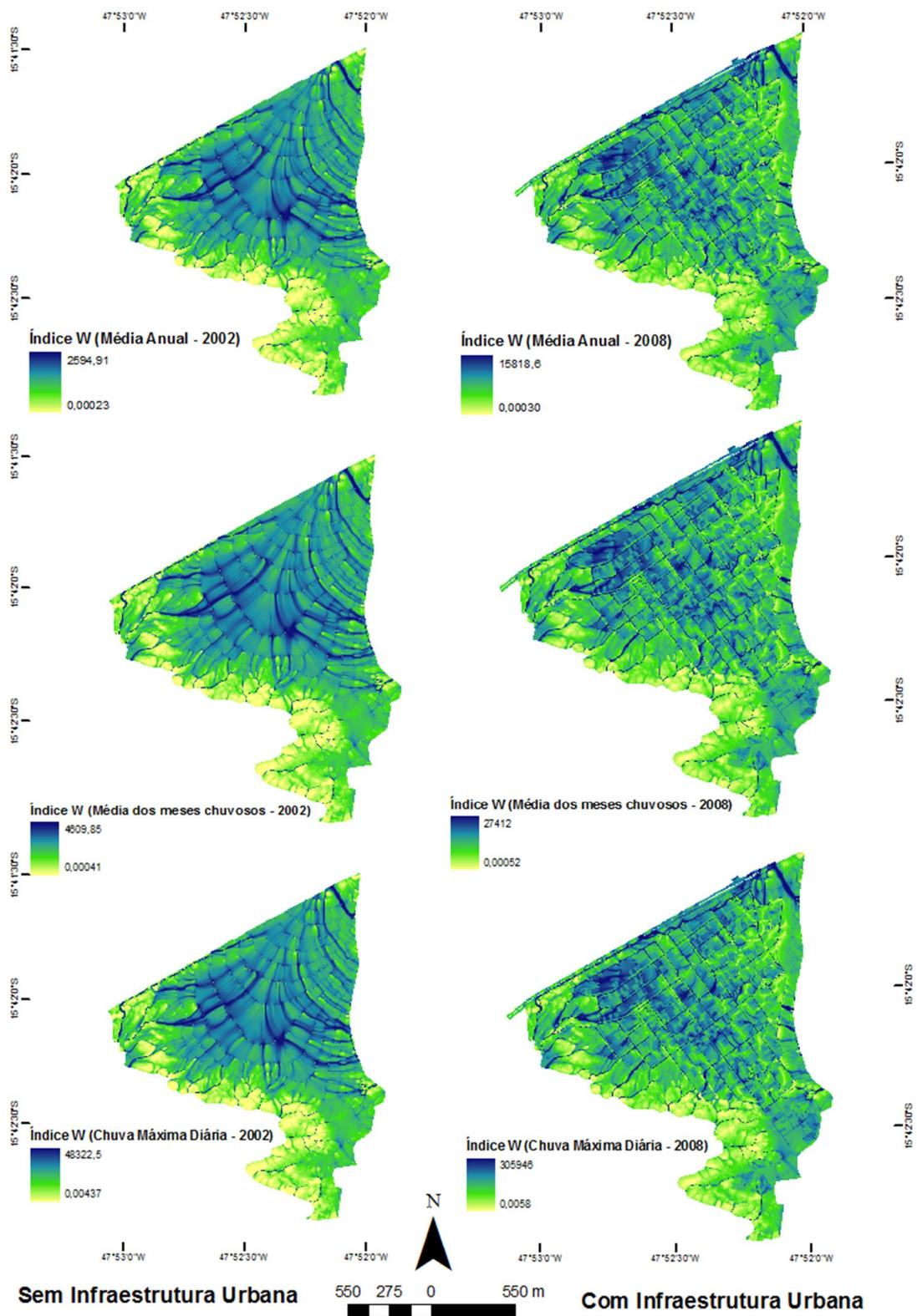


Figura 13 – Mapas dos índices de saturação do relevo obtidos a partir da modelagem de saturação do relevo, para os 2 anos analisados.

Tabela 3 – Índice W. (Ponto coletado no início da voçoroca)

	<b>Média diária de chuva por ano</b>	<b>Média diária de chuva para os meses chuvosos</b>	<b>Chuva máxima por dia de cada estação</b>
<b>Sem Infraestrutura Urbana 2002</b>	0,02	0,04	0,40
<b>Com Infraestrutura Urbana 2008</b>	1,44	2,48	27,54

## **6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com a modelagem da saturação do relevo foi possível identificar que o processo de urbanização pode modificar a dinâmica hidrológica superficial de uma região. Isto ocorre por, a região de estudo localizar-se numa área de divisor de drenagem e deveria ter um comportamento de dispersão. No entanto, com o processo de urbanização verifica-se um processo de concentração de água. Isto por ser evidenciado tanto na modelagem de área de contribuição, como na modelagem de saturação do relevo realizadas. Além disso, os valores de saturação verificados no ponto de coleta (no começo da voçoroca) mudaram sensivelmente para os dois anos analisados. Nota-se que no ponto de coleta em 2002, o índice de saturação não chegou a 1. Já para o ano de 2008, todos os valores foram superiores a 1. Além disso, verifica-se que o índice de umidade coletado muda entre os 2 anos analisados, na ordem de duas grandezas. O que demonstra a grande influência do processo de impermeabilização do solo nesta área.

## 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, Aziz Nacib. O relevo brasileiro e seus problemas. **Brasil, a terra e o homem**, v. 1, p. 2135-250, 1964.
- ABERS, R.. Projeto Marca d'água: A Bacia do Rio Paranoá, Brasília - Distrito Federal. Núcleo de Pesquisa em Políticas Públicas, Universidade de Brasília, 2002. BEVEN, K. J. et al. Testing a physically-based flood forecasting model (TOPMODEL) for three UK catchments. **Journal of Hydrology**, v. 69, n. 1, p. 119-143, 1984.
- CARVALHO, J.C.; SALES, M.M.; SOUZA, N.M.; MELO, M. T. S. 2006. **Processos Erosivos no Centro- Oeste Brasileiro**. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC
- CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Modelagem de sistemas ambientais**. Edgard Blücher, 1999.
- CODEPLAN - **Síntese de Informações Socioeconômicas**, 2012 / Companhia de Planejamento do Distrito Federal; Brasília: Codeplan, 2012. 89 p.
- COSTA, H. Enchentes no estado do Rio de Janeiro – uma abordagem geral. Rio de Janeiro: SEMADS/GTZ de Cooperação Técnica Brasil – Alemanha (Projeto PLANÁGUA). 2001. 160p.
- DAMACENA, F. A. [et. al.] **Identificação de zonas de saturação na paisagem a partir de dados de transmissividade de obtidos em campo na bacia hidrográfica do Rio Jardim (DF)**. Espaço & Geografia, v. 12, n. 1. p. 105-123, 2009.
- DISTRITO FEDERAL. Decreto nº 23.060, de 24 de junho de 2002. **Diário Oficial do Distrito Federal**, Brasília, DF, 25 jun. 2002. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/diarios/6865032/dodf-secao-01-25-06-2002-pg-2>>. Acesso em 22 de novembro de 2013.
- EMBRAPA. 1978. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos**. Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Distrito Federal. Escala 1:100.000. Rio de Janeiro. Embrapa. SNLCS. Boletim Técnico. 455p.
- FERRANTE J.E.T., RANCAN L., NETTO P.B. 2001. Meio Físico In: Fonseca, F. O. **Olhares sobre o Lago Paranoá, Brasília – DF**: Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, SEMARH 2001, 1ª edição Cap. 3p. 45-79.
- FORTES, P. de T. F. de O.; Barroso, E. W. de S.; Guedes, C. E. de O. . **Regularização fundiária em imóveis da União no Distrito Federal**: Parte 1: demarcação de imóveis. In:

Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis; INPE, 2007. p. 5233 – 5240.

FREITAS, L. F. de. **Análise da influência das alterações da rede de drenagem devida a urbanização no desenvolvimento de voçorocas em quatro regiões do Distrito Federal.** Brasília: UnB, 2012. 108p. Dissertação (Mestrado em Geografia) Instituto de Ciências Humanas, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 2012.

GONÇAVES, T. D. **Geoprocessamento como ferramenta de apoio à gestão dos recursos hídricos subterrâneos do Distrito Federal:** UnB, 2007. 88p. Dissertação (Mestrado em Geologia) Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 2007.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. (2003). **Novo dicionário geológico – geomorfológico.** 3ª. Edição. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 652p.

GUIMARÃES, R. F. (2000). **Utilização de um modelo de previsão de áreas susceptíveis a escorregamentos rasos com controle topográfico:** Adequação e calibração em duas bacias de drenagem. 156 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. Piracicaba, 1995.497p.

MAEDA, E. E., **Influência das mudanças do uso e cobertura da terra no escoamento superficial e produção de sedimentos na Região da Bacia do Alto Rio Xingu.** São José dos Campos: INPE, 2008.104p.

MARTINS, E. S.; REATTO, A.; CARVALHO Jr., O. A.; GUIMARÃES, R. F. (2004). **Evolução Geomorfológica do Distrito Federal.** Documentos Embrapa Cerrados.

MENEZES, P. H. B. J. **Avaliação do efeito das ações antrópicas no processo de escoamento superficial e assoreamento na bacia do Lago Paranoá.** Brasília: UnB, 2010. 117p. Dissertação (Mestrado) Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 2010.

MONTGOMERY, DAVID R.; DIETRICH, WILLIAM E. Landscape dissection and drainage area-slope thresholds. **Process models and theoretical geomorphology**, p. 221-246, 1994.

MOORE, I.D., O'LOUGHLIN, E.M. and BURCH, G.J. (1988). **A Contour-Based Topographic Model for Hydrological and Ecological Applications.** *Earth Surface Processes and Landforms*, v.13, p. 305-320.

MOORE, I.D. and GRAYSON, R.B. (1991). **Terrain-based Catchment Partitioning and Runoff Prediction Using Vector Elevation Data.** *Water Resources Research*, 27(6): 1177-1191.

NOVAES PINTO, M. **Unidades geomorfológicas do Distrito Federal**. Geografia. Marília, SP, 11(21): 97-109, 1986.

OLIVA, A. Q.; CAVALCANTE, C. V.; FONSECA, F. O.; NETTO, P. B.; OGLIARI, T. C..  
Uso e Ocupação do Solo. In: FONSECA, F. O.. **Olhares sobre o Lago Paranoá**. Brasília - DF: Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, SEMARH, 2001.1ª edição Cap. 10, p. 213-272.

O'LOUGHLIN, E.M. (1986). **Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis**. Water Resources Research, 22: 794-804.

SANTI, C. B. (2004). **Processo de Uso e Ocupação do Solo e modelagem de previsão de zonas saturadas no relevo**: Subsídio para o estudo de enchentes (Maciço Madureira, Nova Iguaçu, RJ). 96 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

TARBOTON, D. G. (1997). **A New Method for the Determination of Flow Directions and Contributing Areas in Grid Digital Elevation Models**. Water Resources Research, 33(2): 309-319.

TUCCI C. E. M.. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: UFRGS/ Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998.