

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS FRANCISCO BELTRÃO  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

JAKCEMARA MARCHIORE

**AVALIAÇÃO HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
QUATORZE, FRANCISCO BELTRÃO (PR), POR MEIO DE MODELO HIDROLÓGICO  
COMPUTACIONAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FRANCISCO BELTRÃO

2014

JAKCEMARA MARCHIORE

**AVALIAÇÃO HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
QUATORZE, FRANCISCO BELTRÃO (PR), POR MEIO DE MODELO HIDROLÓGICO  
COMPUTACIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de TCC2 do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Guillermo Caprario, MSc

Co-orientador: Prof<sup>a</sup>. Alexandra Rodrigues Finotti, Dra.

Co-orientador: Prof. Fernando César Manosso, Dr.

Co-orientador: Prof. Julio Caetano Tomazoni, Dr.

FRANCISCO BELTRÃO

2014

M317a Marchiore, Jakcemara

Avaliação hidrossedimentológica da bacia hidrográfica do Rio Quatorze, Francisco Beltrão (PR), por meio de modelo hidrológico computacional / Jakcemara Marchiore. – Francisco Beltrão: UTFPR, 2014.

101 f. : il ;

Orientador: Prof. MsC Guillermo Caprario

Co-orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Alexandra Rodrigues Finotti

Co-orientador: Prof. Dr. Fernando César Manosso

Co-orientador: Prof. Dr. Julio Caetano Tomazoni

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Engenharia Ambiental. Francisco Beltrão, 2014.

Bibliografia: f. 82-86

1. Hidrossedimentologia. 2. Modelo hidrológico computacional. 3. Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze. I. Caprario, Guillermo, oriente. II. Finotti, Alexandra Rodrigues, co-orient. III. Manosso, Fernando César, co-orient. IV. Tomazoni, Julio Caetano, co-orient. V. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Engenharia Ambiental. VI. Título.

CDD – 628

Ficha catalográfica: Paulo Rogério de Mendonça – CRB 9/1.335



---

**TERMO DE APROVAÇÃO**  
**Trabalho de Conclusão de Curso – TCC - 2**

Avaliação Hidrossedimentológica da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze, Francisco Beltrão (PR), por meio de Modelo Hidrológico Computacional.

por

Jakcemara Marchiore

Monografia apresentada às **15:00 horas, do dia 27 de fevereiro de 2014** como requisito parcial para obtenção do título de **ENGENHEIRA AMBIENTAL**, Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Francisco Beltrão. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho **APROVADO**.

Banca examinadora:

---

**Prof. MsC.GUILLERMO NEY**

**CAPRARIO**

UTFPR Orientador

---

**Prof. Dr. FERNANDO MANOSSO**

UTFPR- Convidado

---

**Profª Drª MICHELE M. FRANÇA**

UTFPR - Convidada

---

**Prof. Dr.JULIO C. TOMAZONI**

UTFPR - Convidado

---

**Prof. Dr. JUAN CARLOS POKRYWIECKI**

Coordenador do TCC-2

A cópia original encontra-se assinada na coordenação de Engenharia Ambiental

À meu noivo **Guillermo** meu orgulho, motivação e inspiração.  
A ele, a quem devo todo o apoio e entusiasmo.

À meus irmãos **Jaqueline** e **Jackson** Marchiore pelo exemplo,  
incentivo e apoio em todos os momentos vividos.

À minha nona **Olmira** pelo carinho, cuidados e valores  
ensinados em minha criação.

À memória de meu nono **Valmiré**, pelo esforço e preocupação  
despendidos em minha criação.

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Guillermo quem verdadeiramente me orientou, por todo o conhecimento passado, pela enorme paciência e tempo dedicado a execução deste trabalho.

Ao Professor Julio por todo o conhecimento de geoprocessamento e sensoriamento remoto repassado, incentivando a escolha do tema.

Ao Professor Fernando por todo o conhecimento de cartografia e hidrologia repassado e pela prontamente disponibilidade de coorientação.

À Professora Alexandra por todos os ensinamentos de pesquisa repassados e pelo pronto aceite de coorientação.

À Professora Michelle pelas correções e sugestões propostas para a melhoria do trabalho.

Às minhas colegas Ediane e Juliane pela amizade, parceria e colaboração para a execução deste trabalho.

Ao IAPAR por prontamente atender a solicitação de repasse de dados meteorológicos, contribuindo para o desenvolvimento desse estudo.

À minha irmã Jaqueline e cunhado Paulo pela preocupação e auxílio em todos os problemas ocorridos neste período.

À meu irmão Jackson e cunhada Denise pela responsabilidade e cuidados dispensados á nona durante minha ausência.

À minha mãe Gladis, padrasto Inácio, sogra Maria Célia, sogro Guillermo Santiago e cunhado Chico pela preocupação, cuidados e apoio nas horas de dificuldade e tristeza.

A todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram, direta ou indiretamente para que este trabalho fosse realizado.

# Planeta Água

Água que nasce na fonte  
Serena do mundo  
E que abre um  
Profundo grotão  
Água que faz inocente  
Riacho e deságua  
Na corrente do ribeirão...

Águas escuras dos rios  
Que levam  
A fertilidade ao sertão  
Águas que banham aldeias  
E matam a sede da população...

Águas que caem das pedras  
No véu das cascatas  
Ronco de trovão  
E depois dormem tranquilas  
No leito dos lagos  
No leito dos lagos...

Água dos igarapés  
Onde Iara, a mãe d'água  
É misteriosa canção  
Água que o sol evapora  
Pro céu vai embora  
Virar nuvens de algodão...

Gotas de água da chuva  
Alegre arco-íris  
Sobre a plantação  
Gotas de água da chuva  
Tão tristes, são lágrimas  
Na inundação...

Águas que movem moinhos  
São as mesmas águas  
Que encharcam o chão  
E sempre voltam humildes  
Pro fundo da terra  
Pro fundo da terra...

Terra! Planeta Água  
Terra! Planeta Água  
Terra! Planeta Água...

(Guilherme Arantes)

## RESUMO

MARCHIORE, Jakcemara. Avaliação hidrossedimentológica da Bacia hidrográfica do Rio Quatorze, Francisco Beltrão (PR), por meio de modelo hidrológico computacional. 2014. 101f. Trabalho de Conclusão de Curso. Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2014.

Esta monografia pretende tratar do estudo da produção de sedimentos pelo escoamento superficial, considerando a produção na Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze predominantemente pelo município de Francisco Beltrão, Paraná. O processo de erosão hídrica e o arraste dos sedimentos para os cursos d'água é um fenômeno natural que vêm sendo agravado pelas práticas inadequadas de uso, ocupação e manejo do solo, desenvolvidas por uma sociedade com visão estritamente econômica. Os objetivos específicos propostos para este trabalho foram: a) realizar um levantamento dos fatores uso e manejo do solo, topografia e índices pluviométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze, identificando a influência destes sobre o processo hidrossedimentológico; b) realizar a simulação da produção e do arraste de sedimentos na bacia hidrográfica e c) comparar a hidrossedimentologia dos diferentes usos e ocupações do solo existentes na bacia. Para atingir estes objetivos utilizou-se as seguintes metodologias: a) pesquisa de dados em referencial teórico específico da bacia; b) geração de banco de dados espaciais e tabulares a partir dos dados levantados e c) aplicação do Modelo SWAT para simulação da produção de sedimentos e do escoamento superficial. Os resultados obtidos a partir da simulação foram em relação a distribuição espacial do tipo e uso do solo, do escoamento superficial e da produção de sedimentos anual nas 18 sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze. O uso e ocupação do solo demonstraram influenciar no processo erosivo, sendo geradas pequenas quantidades de sedimentos em áreas cobertas por floresta e grandes quantidades em áreas cobertas pela agricultura. A topografia também influenciou na produção de sedimentos, sendo que em bacias mais planas a perda de solo foi menor. Estes fatores demonstraram influenciar diretamente o escoamento superficial e conseqüentemente a produção de sedimentos. De uma forma geral, apesar das restrições dos dados de entrada e da não calibração, o modelo demonstrou ser relativamente eficaz, fornecendo informações de apoio para gestão ambiental de uso, ocupação e manejo do solo, reduzindo assim impactos sobre os recursos hídricos.

**Palavras-chave:** Hidrossedimentologia. Modelo hidrológico computacional. Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze.



## ABSTRACT

MARCHIORE, Jakcemara. Hydrosedimentological assessment of the Quatorze River Watershed, Francisco Beltrão (PR), through the hydrological model computation. 2014. 101f. Trabalho de Conclusão de Curso. Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2014.

This monograph aims to address the study of sediment production by runoff, whereas its production in the Quatorze River Watershed predominantly by the municipality of Francisco Beltrão, Paraná. The process of erosion and drag the sediment to waterways is a natural phenomenon that have been exacerbated by inadequate practices of use, occupation and soil management, developed by a society strictly economic view. The specific objectives proposed for this work are: a) conduct a survey of the factors use and management of soil, topography and rainfall of Quatorze River Watershed, identifying their influence on the hydrosedimentological process; b ) perform the simulation of production and drag sediment in the watershed and c ) compare the hydrosedimentology of the different uses and occupations of the soil existing in the basin. To achieve these objectives the following methodology was used: a) research data in theoretical frame of reference specific of the basin; b ) generation of spatial and tabular database data from the data collected and c ) application of the SWAT model for simulation of the sediment production and runoff. The results obtained from the simulation were in relation the spatial distribution of the soil type and land use, runoff and annual sediment production in the 18 sub-basins of the Quatorze River Watershed. The use and occupation of soil shown to influence the erosion process, being generated small amounts of sediment in forested areas and large quantity in areas covered by agriculture. The topography also influenced sediment production, with lower soil loss in flat basins. These factors demonstrated influence directly runoff and consequently the sediment production. In general, despite the restrictions of input data and non-calibration, the model has proved to be relatively effective, providing information from support for environmental management use, occupation and soil management, reducing impacts on water resources.

**Keywords:** Hydrosedimentology. Hydrologic model computation. Quatorze River Watershed.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 – Impactos de acordo com o estágio da urbanização.....	20
Quadro 2 - Agentes ativos e passivos do processo erosivo. ....	22
Quadro 3 - Classes que compõem o primeiro nível categórico - Ordens. ....	27
Figura 1 - Localização do município de Francisco Beltrão e da Bacia do Rio Quatorze .....	31
Figura 2 - Mapa geológico do Estado do Paraná.....	33
Figura 3 - Uso e ocupação do solo da Bacia do Rio Quatorze em 2008.....	35
Figura 4 - Uso e ocupação do solo da Bacia do Rio Quatorze em 2009.....	35
Figura 5 - Uso do solo da Bacia do Rio Quatorze em 2008. ....	36
Figura 6 - Classificação da Pesquisa Científica em Engenharia da Produção.....	38
Figura 7 – <i>Design</i> da pesquisa utilizada para simulações hidrossedimentológicas por meio da interface do modelo computacional. ....	39
Figura 8 - Mapa de localização das estações meteorológicas do município de Francisco Beltrão e limítrofes.....	42
Figura 9 - Base de dados relacional das estações meteorológicas que contém dados de precipitação diários. ....	47
Figura 10 - Dados de precipitação diários da estação do IAPAR em Francisco Beltrão.....	47
Figura 11 - Dados diários de temperatura máxima e mínima da estação do IAPAR. ....	48
Figura 12 - Dados diários de radiação solar do município de Francisco Beltrão.....	49
Figura 13 - Dados diários de umidade relativa do município de Francisco Beltrão.....	49
Figura 14 - Dados diários de velocidade do vento do município de Francisco Beltrão. ....	49
Figura 15 - Classes de uso e ocupação do solo na Bacia do Rio Quatorze.....	51
Figura 16 - Classificação do tipo dos solos da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze.....	52
Figura 17 - Modelo digital de triangulação da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze.....	53
Figura 18 - Modelo Digital de Elevação do terreno da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze..	54
Figura 19 - Regime Pluviométrico do ano de 2011 para o Oeste do Município de Francisco Beltrão (PR).....	56
Figura 20 - Sub-bacias do Rio Quatorze e seus respectivos exutórios.....	59
Figura 21 - Mapa de Uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze.....	61
Figura 22 - Mapa dos tipos de solo da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze.....	63

Figura 23 - Faixas de declividade da Bacia do Rio Quatorze - Francisco Beltrão (PR).....	64
Figura 24 - Gráficos dos dados históricos climáticos. A) Temperatura; B) Velocidade do vento; C) Radiação solar; D) Umidade relativa do ar.....	66
Figura 25 - Distribuição espacial do escoamento superficial das sub-bacias do Rio Quatorze para o ano de 2011.....	75
Figura 26 - Distribuição espacial da produção de sedimento nas sub-bacias do Rio Quatorze para o ano de 2011.....	77
Figura 27 - Relação entre produção de sedimentos, escoamento superficial e precipitação.	79

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Médias mensais de temperatura e precipitação da série de dados de 1974 a 2012....	32
Tabela 2 - Classificação dos solos da Bacia do Rio Quatorze. ....	34
Tabela 3 - Uso do Solo na Bacia do Rio Quatorze nos anos 2008 e 2009. ....	36
Tabela 4 - Uso do solo na Bacia do Rio Quatorze no ano de 2008.....	37
Tabela 5- Estações meteorológicas utilizadas para o levantamento de dados tabulares. ....	41
Tabela 6 - Dados de precipitação mensal e anual para a Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze. ....	55
Tabela 7 - Parâmetros de entrada para a base de dados do modelo SWAT.....	57
Tabela 8 - Características dos grupos hidrológicos dos solos. ....	58
Tabela 9 - Classes de uso e ocupação do solo do banco de dados do SWAT associadas à Bacia do Rio Quatorze.....	60
Tabela 10 - Usos do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze. ....	62
Tabela 11 - Classes dos tipos do solo do banco de dados do SWAT associadas à Bacia do Rio Quatorze.....	62
Tabela 12- Classes de solo da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze. ....	63
Tabela 13 - Código da estrutura do solo ( $C_{soilstr}$ ).....	70
Tabela 14 - Permeabilidade do solo ( $C_{perm}$ ).....	71
Tabela 15 - Fator prática conservacionista (P) .....	71
Tabela 16 - Tipo e uso do solo para cada sub-bacia do Rio Quatorze.....	74

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGRL - Agriculture (agricultura em geral)

ANA - Agência Nacional das Águas

ANION\_EXCL - Fração de porosidade

ARCGIS - Geographic Information System

CBERS – *China-Brasil Earth Resources Satellite*

Cfa – Clima Temperado úmido com verões quentes

CN - Coeficiente de deflúvio

CN - Curve Number (Curva Número)

CUP - Calibration and Uncertainty Procedures (procedimento de calibração e incerteza)

CXbd – CAMBISSOLO HAPLICO Distrófico

ESRI - Environmental Systems Research Institute

EUA - Estados Unidos da América

FRST - Forest (floresta mista)

HRUs - Hydrological Response Units (unidades de resposta hidrológica)

HYDGRP - Hydrologic Group (grupo hidrológico)

IAPAR - Instituto Agronômico do Paraná

IDW - Inverse Distance Weighting (distância inversa ponderada)

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

ITCG - Instituto de Terras, Cartografia e Geociências

LV - Lavoura

LVdf – LATOSSOLO VERMELHO Distroférico

LVef – LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico

MDE (DEM) - Modelo Digital de elevação

MNT - Modelo Numérico do Terreno

MUSLE - Equação Universal de Perda de Solo modificada

NLAYERS - Número de horizontes

NRCS - Natural Resources Conservation Service

NVdf – NITOSSOLO VERMELHO Distroférico

NVef – NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico

PA - Pastagem

RF – Reflorestamento

RNGB - range-brush (savana)

RRe – NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico

RRd – NEOSSOLO REGOLÍTICO Distrófico

SCS - Soil Conservation Service

SE – Solo exposto

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SOL\_ALB - Albedo do solo úmido

SOL\_AWC - capacidade de água disponível na camada de solo

SOL\_BD - Densidade

SOL\_CBN - Conteúdo de Carbono Orgânico

SOL\_EC - Condutividade elétrica

SOL\_K - condutividade hidráulica saturada

SOL\_Z - profundidade da camada de solo

SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas

SWAT - Soil and Water Assessment Tool

Ta – Argila de atividade alta

Tb – Argila de atividade baixa

TIN - Triangular Irregular Network

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

URLD - Low-Density Urbanization (urbanização de baixa densidade)

USDA - United States Department

USLE - Equação Universal de Perda de Solo

USLE\_K - Fator erodibilidade do solo

VSEA – Vegetação secundária em estágio avançado

VSEI – Vegetação secundária em estágio inicial

VSEM – Vegetação secundária em estágio médio

WATR - Water (água)

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	15
1.1	Objetivo .....	15
1.1.1	Objetivo Geral .....	15
1.1.2	Objetivos Específicos.....	16
1.2	Justificativa .....	16
1.3	Delimitação da pesquisa.....	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	19
2.1	Modificações antrópicas x degradação ambiental.....	19
2.1.1	A urbanização e seus impactos .....	19
2.1.2	A ruralização e seus impactos.....	20
2.2	Erosão .....	21
2.2.1	Fatores que influenciam o processo erosivo .....	21
2.2.2	Tipos de Erosão .....	24
2.3	Solos.....	26
2.4	Hidrossedimentologia .....	29
2.5	Caracterização da área de estudo .....	30
2.5.1	Características socioeconômicas do Município de Francisco Beltrão .....	30
2.5.2	Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze.....	30
2.5.3	Caracterização ambiental da área de estudo .....	31
2.5.4	Uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze.....	34
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	38
4	DESENVOLVIMENTO .....	41
4.1	Dados de entrada .....	41
4.1.1	Dados tabulares .....	41
4.1.2	Dados espaciais .....	42
4.2	Ferramentas de Geoprocessamento utilizadas.....	43
4.3	Descrição dos <i>softwares</i> utilizados e requisitos para o processamento .....	43
4.3.1	SPRING versão 5.1.8.....	44
4.3.2	ArcGIS versão 10.1 .....	44
4.3.3	ArcSWAT 2012.....	44
4.3.4	Requisitos para o processamento.....	45
4.4	<i>Hardware</i> utilizado para processamento .....	45
4.5	Preparação dos dados de entrada no modelo hidrológico .....	46
4.6	Construção do mapa de uso e ocupação do solo.....	50
4.7	Construção do mapa de tipos de solo .....	51
4.8	Construção do modelo digital de elevação do terreno.....	52
4.9	Construção do mapa de pluviometria.....	54
4.10	Simulação com o modelo hidrológico - SWAT.....	56
4.11	Calibração do modelo .....	72
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	74
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	80
7	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	81
	REFERÊNCIAS .....	82
	ANEXOS.....	87

## **1 INTRODUÇÃO**

Em virtude do atual crescimento econômico e conseqüente desenvolvimento urbano, vêm sendo observadas modificações constantes no uso e ocupação do solo, o que possivelmente poderá contribuir com a ocorrência de desastres naturais como inundações e deslizamento de encostas. O uso do solo com finalidade agropastoril, quando praticada de forma inadequada e intensiva, causa exposição e compactação do solo, e conseqüentemente, eleva o escoamento superficial e o carregamento de partículas para os corpos hídricos.

No caso da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze, localizada na cidade de Francisco Beltrão (PR), o processo de erosão hídrica superficial laminar vem sendo agravado devido à intensificação das atividades agropastoris e a ocupação indevida das encostas pela construção de moradias. A implantação de um Campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná e da nova sede da Escola Agrotécnica dentro da área de delimitação da Bacia tende ampliar o desenvolvimento socioeconômico dessa região, levando pavimentação e transporte coletivo até a comunidade da Linha Santa Bárbara. Com esse desenvolvimento os imóveis já existentes foram valorizados e a construção de moradias vem sendo observada cada vez com maior frequência, aumentando a impermeabilização e a exposição do solo, principalmente em áreas de risco de inundações e desmoronamentos, como zonas de várzea e encostas.

Com base no exposto acima, fez-se a seguinte pergunta de pesquisa: Qual a influência dos fatores tipo e uso do solo, topografia e índices pluviométricos na produção de sedimentos e escoamento superficial da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze, avaliada por meio de um modelo hidrológico computacional?

### **1.1 Objetivo**

#### **1.1.1 Objetivo Geral**

O estudo teve como objetivo avaliar a hidrossedimentologia da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze, Francisco Beltrão (PR), por meio de um modelo hidrológico computacional.



### 1.1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Avaliar a influência dos fatores uso e manejo do solo, topografia e índices pluviométricos, no processo hidrossedimentológico da bacia hidrográfica do Rio Quatorze.
- ✓ Aplicar o modelo hidrológico computacional para analisar a geração e arraste de sedimentos pelo impacto e escoamento superficial da chuva.
- ✓ Comparar a hidrossedimentologia dos diferentes usos do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze.

## 1.2 Justificativa

O presente estudo foi realizado na Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze, localizada na zona rural do município de Francisco Beltrão (PR). Esta bacia possui característica agropecuária, com a criação de gado leiteiro e o plantio de monoculturas para abastecimento da região. Com o crescente desenvolvimento populacional do município, novas técnicas de produção são exigidas, visando uma maior produtividade em um menor período de tempo. Desta forma, o uso e o manejo intensivo do solo tornam-se práticas inadequadas, favorecendo o desenvolvimento de graves impactos ambientais, como a compactação do solo, a erosão e o assoreamento dos corpos hídricos. Devido à continuidade dessas atividades degradantes, os impactos deixam de ter cunho apenas ambiental, tornando-se também um problema socioeconômico, pois devido ao assoreamento dos corpos hídricos e as ocupações inadequadas dos topos de morros, desastres como inundações e desmoronamentos ocorrem com maior frequência, desabrigando muitas famílias e em casos extremos causando fatalidades.

Os desastres ambientais, acima citados, influenciam diretamente na vida econômica local contribuindo com o aumento do número de pessoas abaixo da linha de pobreza. A ocupação indevida destes locais é geralmente feita pela população de baixa renda, que tem sua situação agravada pela ocorrência de desastres ambientais que muitas vezes as fazem perderem ou inutilizarem os poucos bens que possuem.

A implantação de um Campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná e de uma nova sede da Escola Agrotécnica no interior da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze pode estar influenciando o processo de urbanização da bacia, causando modificações no uso, manejo e ocupação do solo. Áreas de várzea e topos de morros vêm sendo ocupadas

indevidamente com a construção de moradias, impermeabilizando o solo. Além disso, as atividades agropastoris dentro da bacia estão sendo intensificadas, expondo e compactando a camada superficial do solo.

Nesse contexto, a realização da pesquisa fez-se necessária a fim de analisar a influência das modificações antrópicas, juntamente com os fatores climáticos naturais que ocorrem na região, sobre a capacidade da chuva em causar erosão (erosividade) na superfície do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze.

O entendimento do processo de erosão hídrica que ocorre nesta bacia, futuramente, poderá contribuir para estudos realizados em áreas com características semelhantes a esta, promovendo uma melhor compreensão dos processos ocorridos, além de possibilitar o enriquecimento de material bibliográfico de futuras monografias e pesquisas científicas com as conclusões obtidas através do modelo computacional utilizado.

Além disso, a modelagem usada pôde demonstrar a relevância dos processos erosivos ocorridos, diferenciando estes conforme seu grau de magnitude, o que pode contribuir com o processo de tomada de decisão da prefeitura municipal, quanto à prevenção de futuras catástrofes como enchentes e desmoronamentos.

O estudo trouxe contribuições com elevado grau de importância para futuros estudos acadêmicos na área científica e tecnológica da engenharia ambiental. Dessa forma, espera-se que o estudo amplie os horizontes na área de pesquisa, buscando encontrar soluções simples e eficientes para problemas complexos que afetam todas as formas de vida.

Para finalizar, este estudo justificou-se pela grande importância na formação de uma identidade profissional, iniciando a jornada de um Engenheiro Ambiental na busca de soluções para problemas reais do cotidiano.

### **1.3 Delimitação da pesquisa**

A pesquisa se delimitou no estudo do processo hidrossedimentológico que ocorre na Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze, considerando apenas os processos de erosão hídrica superficial laminar, excluindo as outras formas de erosão.

Os fatores de influência no estudo hidrossedimentológico foram adotados a partir do referencial teórico, considerando apenas os de maior relevância, como é o caso do solo, da geologia, do clima, da topografia, do manejo e da cobertura do solo.

Não foi objetivo deste estudo o levantamento de dados a campo, sendo utilizados dados já publicados para a entrada no simulador. Também não foi objeto deste estudo a definição do *software* a ser utilizado, fazendo uso apenas dos disponíveis nos centros de pesquisas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Modificações antrópicas x degradação ambiental

Degradação ambiental segundo Araujo; Almeida; Guerra (2013, p.19), é a perda dos recursos renováveis pela combinação de processos naturais ou mesmo pela ação antrópica, podendo afetar direta ou indiretamente o solo. Silva; Schulz; Camargo (2007, p.45) complementam afirmando que o homem se insere no meio ambiente de tal forma que para seu melhor encaixe necessita realizar constantes modificações no ecossistema.

Silva; Schulz; Camargo (2007, p.51) ainda mencionam a necessidade da realização de estudos diferenciados para a zona rural e a zona urbana, devido os diferentes aspectos das transformações ocorridas no meio ambiente, principalmente em relação ao uso do solo.

#### 2.1.1 A urbanização e seus impactos

Segundo Tucci (2007, p.87), o processo de urbanização afeta o funcionamento do sistema natural da área a ser ocupada, alterando principalmente o regime hídrico pré-existente. Schueler (1987 *apud* ARAUJO; ALMEIDA; GUERRA, 2013, p.65) menciona que as alterações no regime hídrico ocorrem principalmente em decorrência da limpeza de terrenos, de terraplanagens e de impermeabilizações da superfície do solo. Black (1991 *apud* SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2007, p.52) e Teixeira (1995 *apud* SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2007, p.52) complementam incrementando os fatores concentração da drenagem, eliminação da rugosidade e redução das extensões das rampas, o que conseqüentemente reduz o tempo de contribuição dos pontos mais extremos da bacia.

Após a instalação da cidade, os problemas no regime hídrico tendem a se expandir. As constantes impermeabilizações provindas da construção de telhados, ruas, calçadas dentre outras, reduzem a área superficial destinada à infiltração, canalizando o fluxo hídrico em redes concentradas que facilitam a ocorrência de processos erosivos, principalmente nas margens dos rios (ARAUJO; ALMEIDA; GUERRA, 2013, p.65-66).

Klein (1985 *apud* ARAUJO; ALMEIDA; GUERRA, 2013, p.65) cita o aumento do volume e da vazão do escoamento superficial, a frequente ocorrência de enchentes de elevada magnitude, a erosão e assoreamento dos canais hídricos, e a variação no regime de

temperatura, como outras consequências geradas ao sistema aquático devido o processo de urbanização.

O processo de urbanização de uma área pode ser dividido segundo Savini; Kammerer (1961, p.A-5), em três etapas: urbano inicial, urbano médio e urbano final. Em cada uma dessas etapas ocorrem diferentes impactos sobre o ecossistema local, conforme apresentado no Quadro 1 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

<b>Etapa</b>	<b>Impacto</b>
<b>Transição do estágio pré-urbano para urbano inicial</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remoção de árvores ou da vegetação.</li> <li>• Perfuração de poços.</li> <li>• Construção de fossas sépticas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução da transpiração.</li> <li>• Rebaixamento do lençol freático.</li> <li>• Encharcamento do solo contaminando poços e córregos.</li> </ul>
<b>Transição do estágio urbano inicial para urbano médio</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remoção da cobertura vegetal.</li> <li>• Construção exagerada de casas.</li> <li>• Lançamento de esgoto sanitário não tratado ou tratado inadequadamente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução da infiltração.</li> <li>• Erosão acelerada.</li> <li>• Poluição de córregos e poços e redução da qualidade da água.</li> </ul>
<b>Transição do estágio urbano médio para o urbano final</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Urbanização completa da área por adição de mais casas e ruas, e construções públicas, comerciais e industriais.</li> <li>• Grande quantidade de efluente descarregado nos córregos locais.</li> <li>• Perfuração de poços industriais profundos com grande capacidade.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução da infiltração e rebaixamento do lençol freático. Ruas e sarjetas atuam como bueiros elevando os picos de cheias.</li> <li>• Aumento da poluição dos córregos e consequente redução da vida aquática.</li> <li>• Redução do nível e contaminação do lençol por água salobra.</li> </ul>

Quadro 1 – Impactos de acordo com o estágio da urbanização.

Fonte: Adaptado de Savini; Kammerer (1961, p.A-6 e A-7).

### 2.1.2 A ruralização e seus impactos

Segundo Silva; Schulz; Camargo (2007, p.56) o processo de ruralização nada mais é que a transformação de uma área naturalmente vegetada em uma área com pastagem ou cultura agrícola. O mesmo ainda complementa que o regime hidrológico destas áreas sofre alterações de menor intensidade, pois a cobertura vegetal auxilia no processo de infiltração.

Diferentemente da área urbana, o uso e manejo inadequado do solo em áreas rurais, afeta de tal forma que coloca em risco o sucesso das propriedades rurais, pois estas consideram o solo como elemento chave para a agropecuária (SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2007, p.55).

Lepsch (2010, p.184) menciona que as alterações antrópicas realizadas para implantar um sistema de cultivo eficiente, quando desenvolvidas sem o devido cuidado, quebram o equilíbrio natural do solo, facilitando assim, o desenvolvimento acelerado dos processos erosivos. Araujo; Almeida; Guerra (2013, p.21) complementam mencionando que a degradação do solo em áreas rurais pode ainda ocorrer por outras formas, como a compactação e selagem do solo pelo uso de maquinários agrícolas pesados, a dificuldade de reposição natural dos nutrientes devido o cultivo intensivo e a morte da microbiota local pela aplicação contínua e exagerada de produtos químicos.

Dentre todas as formas de degradação, a mais nociva segundo Lepsch (2010, p.185), é a erosão, a qual será tratada com ênfase no próximo subitem.

## **2.2 Erosão**

A erosão segundo Carvalho (2008, p.33), é um processo que consiste na desagregação e deslocamento das partículas do solo, por agentes hídricos ou eólicos. Por outro lado, Fendrich *et. al.* (1997, p.20) utiliza os termos desagregação, transporte e deposição de materiais do solo para explicar o fenômeno natural de erosão. Já Brady; Well (1996, p.567) assim como Araujo; Almeida e Guerra (2013, p.75–77) fazem uso dos termos destacamento e transporte de partículas do solo. Dessa forma, os termos adotados para uso durante este estudo serão: desagregação, transporte e deposição de partículas do solo.

### **2.2.1 Fatores que influenciam o processo erosivo**

Segundo Silva; Schulz; Camargo (2007, p.711), a erosão do solo é um processo complexo influenciado por inúmeros fatores ambientais e antrópicos, sendo os de maior destaque o solo, a geologia, o clima, a topografia, o manejo e a cobertura do solo. Araujo; Almeida; Guerra (2013, p.70) destacam a influência dos fatores intensidade e duração da precipitação, rugosidade do solo, comprimento e declividade da encosta, erodibilidade natural do solo e tipo de cobertura vegetal para o controle da erosão, seja ela de origem hídrica ou eólica.

Carvalho (2008, p.35–38) complementa dividindo os fatores ambientais e antrópicos em agentes ativos e passivos, os quais são apresentados no Quadro 2.

<b>Agentes erosivos</b>	
<b>Ativos</b>	<b>Passivos</b>
Água	Topografia
Temperatura	Gravidade
Insolação	Tipo de solo
Vento	Cobertura Vegetal
Gelo	Formações superficiais
Neve	Práticas antrópicas
Ação de microrganismos	
Ação de animais	
Ação humana	

Quadro 2 - Agentes ativos e passivos do processo erosivo.

Fonte: Adaptado de Carvalho (2008, p.36).

Lepsch (2010, p.195) e Galeti (1984, p.13) mencionam que os solos possuem diferentes susceptibilidades a erosão, sendo estes influenciados basicamente por sua permeabilidade, textura, estrutura e profundidade. A permeabilidade segundo Silva; Schulz; Camargo (2007, p.18), nada mais é, do que a constituição porosa do solo disponível para a passagem de ar e água, estando esta diretamente relacionada com sua textura e estrutura.

A textura segundo Carvalho (2008, p.38) é representada pelo tamanho das partículas enquanto a estrutura trata do arranjo destas para a formação das camadas. Galeti (1984, p.13) e Carvalho (2008, p.38) afirmam que solos com textura arenosa possuem maior susceptibilidade a erosão, devido sua baixa resistência e alta infiltração, enquanto solos com textura argilosa são bem estruturados, o que dificulta o processo erosivo.

A profundidade do solo está relacionada com a velocidade de saturação dos poros, onde solos rasos apresentam maior erodibilidade do que solos profundos, devido a rocha mãe estar mais próxima da superfície (LEPSCH, 2010, p.195).

Outro fator que afeta a erosão é a formação geológica, que segundo Silva; Schulz; Camargo (2007, p.18) influencia principalmente na capacidade da rocha resistir aos processos erosivos, com é o caso das rochas ígneas que resistem por muito mais tempo aos processos de desgaste hídrico do que as rochas de origem sedimentar.

Para Galeti (1984, p.11), os principais agentes do fator clima que influenciam nos processos erosivos hídricos são: o vento, a temperatura e a chuva. Carvalho (2008, p.38) afirma que o vento é um agente secundário, pois é responsável apenas pelo transporte das partículas já desprendidas, sendo complementado por Galeti (1984, p.11), o qual menciona

que a erosão hídrica possui baixa influência do vento, sendo este um fator de grande importância apenas para a erosão eólica.

A temperatura influencia diretamente a quantidade de água disponível nos poros do solo, através do processo de evapotranspiração, permitindo uma maior infiltração quando os poros estão livres (GALETI, 1984, p.11). Já para Carvalho (2008, p.37), as constantes mudanças de temperatura, enfraquecem a estrutura do solo e favorecem o desprendimento e arrastes das partículas.

O agente de maior importância no processo erosivo segundo Galetti (1984, p.11) e Silva; Schulz; Camargo (2007, p.19) é a chuva, que inicialmente golpeia e desprende as partículas do solo através do impacto da gota d' água, que após saturação dos poros serão transportadas pelo escoamento superficial (*runoff*). Silva; Schulz; Camargo (2007, p.20) complementam comparando o impacto da gota da chuva com uma pequena bomba, a qual quando atinge a superfície desprotegida do solo, destrói torrões transformando-os em pequenas partículas soltas prontas para serem carregadas.

Para Galetti (1984, p.12), a chuva é caracterizada não somente pelo impacto das gotas na superfície do solo, mas também, pela sua intensidade, distribuição e quantidade. Tominaga; Santoro; Amaral (2009, p.45) complementam afirmando que chuvas intensas de longa duração são características que favorecem um aumento do escoamento superficial, pois permitem uma rápida saturação dos poros do solo pela água, e conseqüentemente reduz a infiltração.

Outro fator de interesse a ser analisado no processo erosivo, é a topografia, que segundo Tominaga; Santoro; Amaral (2009, p.58), é influenciada principalmente pela declividade e comprimento da rampa do talude. Carvalho (2008, p.38) menciona que quanto maior a declividade do terreno, maior será o escoamento superficial da água da chuva, dificultando assim o processo de infiltração natural do solo e conseqüentemente aumentando a sua capacidade de erosão. De acordo com Silva; Schulz; Camargo (2007, p.21), o comprimento do talude mostra sua importância, aumentando a quantidade e a velocidade de escoamento superficial conforme sua extensão é percorrida, o que também facilita o processo erosivo.

A cobertura do solo é o fator de maior importância no controle da erosão, pois amortece o impacto da gota d' água na superfície do solo, evitando o início do processo erosivo (SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2007, p.22).



Bertoni; Neto (2008, p.59) complementam citando que a defesa natural do solo é dada pela sua cobertura vegetal, onde seus principais efeitos são:

- Proteção do solo contra o impacto direto das gotas da chuva;
- Interceptação e evaporação das gotas da chuva antes mesmo destas atingirem a superfície do solo;
- Aumento da infiltração da água através da decomposição das raízes das plantas, originando pequenos canais para escoamento subterrâneo;
- Aumento da capacidade de retenção da água, devido agregação de material orgânico na estrutura do solo;
- Redução do escoamento superficial da chuva pelo atrito gerado com a vegetação.

Por fim, Lepsch (2010, p.195), conclui afirmando que a forma como o solo é manejado durante sua preparação para o cultivo, influencia diretamente a sua capacidade erosiva, aumentando ou diminuindo sua resistência a erosão conforme a presença de cobertura vegetal.

### 2.2.2 Tipos de Erosão

A erosão segundo Carvalho (2008, p.39), pode ocorrer de quatro formas diferentes: erosão eólica, erosão hídrica superficial, erosão por remoção de massa e a erosão fluvial. Araujo; Almeida; Guerra (2013, p.77) mencionam que a erosão do solo ocorre principalmente pela ação da água e do vento, sendo classificadas como erosão do tipo pluvial e eólica. Já Silva; Schulz; Camargo (2007, p.27) afirmam que a erosão do solo ocorre por ação da água corrente, vento, gelo ou outros agentes geológicos, como o arraste gravitacional.

Segundo Bertoni; Neto (2008, p.68), Galetti (1987, p.10) e Lepsch (2010, p.191), a erosão do tipo hídrica é considerada a erosão mais comum e de maior importância. Guerra; Silva; Botelho (2009, p.17) afirmam que o processo de erosão hídrica tem abrangência em quase toda a superfície terrestre, destacando-se em áreas com clima tropical, onde ocorre o agravamento do processo devido seus elevados índices pluviométricos em determinadas estações do ano.

A erosão hídrica pode ocorrer de quatro formas distintas: pelo impacto da gota da chuva (Efeito *Splash/ Effects Splash*), pela remoção da camada superficial do solo (erosão

laminar/ *Sheet erosion*), pela remoção de solo por canais superficiais bem definidos (erosão em sulcos ou Ravinamento/ *Rill erosion*) e pela remoção de solo em canais profundos (Voçorocas/ *Gully erosion*) (BERTONI; NETO, 2008, p.75–77; ARAUJO; ALMEIDA; GUERRA, 2013, p.88–89 e BRANDY; WELL, 1996, p.567-568).

O início do processo erosivo do solo segundo Bertoni; Neto (2008, p.75) e Guerra; Silva; Botelho (2009, p.18), é dado pela ação do efeito *splash*. Segundo Araujo; Almeida; Guerra (2013, p.88–89), esse efeito consiste no desprendimento de partículas do solo devido o impacto direto da gota de chuva com o solo exposto ou coberto por uma fina lâmina de água. Carvalho (2008, p.39) complementa mencionando que o impacto gerado pela gota da chuva afeta inicialmente, a estrutura superficial do solo exposto, facilitando o desprendimento das partículas que serão transportadas pelo escoamento superficial.

Para Guerra; Silva; Botelho (2009, p.18), o efeito *Splash* prepara as partículas do solo para o transporte superficial, rompendo os agregados em tamanhos menores e salpicando estes em diferentes direções e distâncias. O salpicamento dessas partículas finas ocasionará o preenchimento dos poros superficiais, compactando a superfície do terreno, reduzindo a capacidade de infiltração da água e conseqüentemente promovendo um escoamento superficial difuso (GUERRA; SILVA; BOTELHO, 2009, p.18).

Segundo Lepsch (2010, p.192); Silva; Schulz; Camargo (2007, p.28) e Brady; Well (1996, p.568), a erosão laminar é caracterizada pela remoção lenta e uniforme da camada fina da superfície irregular do solo pelo escoamento superficial difuso. Este processo erosivo é de difícil percepção, sendo identificado apenas pela exposição das raízes das culturas, o que normalmente é considerado um processo natural por muitos agricultores e pecuaristas (LEPSCH, 2010, p.192 e BERTONI; NETO, 2008, p.76). Segundo Guerra; Silva; Botelho (2009, p.30), quando identificado esse processo erosivo, as possibilidades de recuperação da área degradada são elevadas, pois o processo ainda se encontra em estágio inicial.

Quando o escoamento superficial difuso (*shetflow*) sofrer intensificação, seja pela compactação do solo ou pela própria intensidade e duração da chuva, este convergirá para canais preferenciais resultantes das irregularidades existentes no terreno, concentrando-se e dando origem ao escoamento linear (*flowline*), fato este que resultará na formação dos primeiros sulcos (GUERRA; SILVA; BOTELHO, 2009, p.30-31; BRADY; WELL, 1996, p.568; LEPSCH, 2010, p.193).

Silva, Schulz; Camargo (2007, p.29) e Araujo; Almeida; Guerra (2013, p.88–89) mencionam que a erosão em sulco é caracterizada pelo transporte de partículas com diferentes tamanhos granulométricos, principalmente os mais grosseiros, sendo considerada mais preocupante que a erosão superficial laminar devido seu elevado grau de magnitude.

Segundo Bertonj; Neto (2008, p.77), Lepsch (2010, p.193) e Araujo; Almeida; Guerra (2013, p.89), os sulcos quando em fase inicial, denominados sulcos rasos, podem ser desfeitos através da passagem de máquinas agrícolas, o que não acontece com sulcos em estado avançado, denominados sulcos profundos, que interrompem a atividade agrícola e interferem na produtividade do solo, sendo recuperados apenas por técnicas de nivelamento.

De acordo com Lepsch (2010, p.193), se os sulcos não forem recuperados desde o início de sua formação, estes irão se aprofundar, dando origem a gigantescos rasgos nas encostas, denominados voçorocas, os quais segundo Brady; Well (1996, p.568), não podem ser removidos por práticas agrícolas convencionais.

Araujo; Almeida; Guerra (2013, p.89 – 90) mencionam que a erosão por voçoroca possui tendência de se desenvolver onde há solo exposto e elevada concentração do escoamento superficial, ocorrendo principalmente em bacias hidrográficas agrícolas.

Este subitem descreveu o processo de erosão do solo, indicando suas formas, agentes e fatores de interferência. A seguir será abordado o tema solos, apresentado suas classificações segundo a definição do sistema Brasileiro de classificação de solos.

### **2.3 Solos**

Dentre as diversas definições de solo, a mais completa é a descrita pela Embrapa (2006, p.31):

o solo que classificamos é uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e podem, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas.

A classificação dos solos no Brasil, mencionado anteriormente, vem sendo realizada pela Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, a fim de atender as condições climáticas específicas do país (IBGE, 2007, p.316).

Segundo Embrapa (2006, p.15) a classificação dos solos teve origem nos Estados Unidos da América no ano de 1938, sendo desenvolvida por Baldwin e modificada em 1949 por Thorp & Smith. O sistema americano atual de classificação de solos "*Soil Taxonomy*" colaborou juntamente com pesquisas adicionais desenvolvidas em solo brasileiro, para a elaboração e atualização do Sistema Brasileiro de Classificação de solos, publicado pela Embrapa.

IBGE (2007, p.316) menciona que a classificação dos solos brasileiros é baseada em quatro níveis estruturados, sendo estes: Ordens, Subordens, Grandes grupos e Subgrupos, e dois níveis ainda não estruturados, as Famílias e as Séries.

O primeiro nível categórico segundo Embrapa (2006, p.67-70), é separado em 13 classes distintas, diferenciadas pela presença ou ausência de atributos, como horizontes diagnósticos e grau de desenvolvimento do solo. O mesmo autor ainda menciona que os nomes das classes seguem um padrão, sendo compostos por um elemento formativo + a terminação "*ssolos*". O Quadro 3 apresenta as classes que compõem o primeiro nível, juntamente com seu elemento formativo e os termos de conotação.

Classe	Elemento formativo	Termo de conotação
NEOSSOLO	NEO	Novo. Pouco desenvolvido
VERTISSOLO	VERTI	"vertere" (inverter). Horizonte vértico
CAMBISSOLO	CAMBI	"Cambiare" (trocar, mudar). Horizonte B incipiente
CHERNOSSOLO	CHERNO	Preto, rico em matéria orgânica
LUVISSOLO	LUVI	"Luere", (iluvial). Acumulação de argila com alta saturação por base e Ta (alta atividade)
ARGISSOLO	ARGI	"Argila". Acumulação de argila Tb ou Ta (baixa ou alta atividade da fração argila), dessaturado por bases.
NITOSSOLO	NITO	"Nitidus", brilhante. Horizonte B nítico
LATOSSOLO	LATO	"Lat". Material muito alterado. Horizonte B latossólico
ESPODOSSOLO	ESPODO	"Spodos", cinza vegetal. Horizonte B espódico
PLANOSSOLO	PLANO	"Planus". Horizonte B plânico
PLINTOSSOLO	PLINTO	"Plinthus". Horizonte plíntico
GLEISSOLO	GLEI	Glei. Horizonte glei
ORGANOSSOLO	ORGANO	Orgânico. Horizonte H ou O hístico

Quadro 3 - Classes que compõem o primeiro nível categórico - Ordens.

Fonte: Embrapa (2006, p.70).

O segundo nível categórico foi criado se baseando nos processos que atuaram junto com os processos do primeiro nível categórico, ressaltando a ausência de horizontes diagnósticos diferenciáveis e envolvendo propriedades extremamente importantes para o desenvolvimento de plantas com fins não agrícolas (EMBRAPA, 2006, p.68). As principais Subordens presentes no segundo nível categórico segundo IBGE (2007, p.208) são: Amarelo, Acinzentado, Bruno-Acinzentado, Bruno, Vermelho, Vermelho-Amarelo, Argilúvico, Crômico, Ebânico, Ferrilúvico, Humilúvico, Ferrihumilúvico, Flúvico, Fólico, Háplico, Hidromórfico, Húmico, Litólico, Melânico, Nátrico, Pétrico, Quartzarênico, Regolítico, Rêndzico, Sálico e Tiomórfico.

Embrapa (2006, p.68) classifica os solos no terceiro nível categórico quanto o tipo e arranjo dos horizontes, a atividade da argila, as condições de saturação de bases ou alumínio e a presença de propriedades restritivas do crescimento das raízes das plantas. Os principais termos adotados neste nível categórico segundo IBGE (2007, p.209) são: Ácrico, Acriférico, Alítico, Alumínico, Aluminoférico, Argila de Atividade Baixa e Alta (Tb e Ta), Carbonático, Concrecionário, Distrocoeso, Eutrocoeso, Distrófico, Eutrófico, Distroférico, Eutroférico, Distro-úmbrico, Eutro-úmbrico, Férico, Perférico, Fíbrico, Hêmico, Sáprico, Hidromórfico, Hidro-Hiperespesso, Hiperespesso, Húmico, Hístico, Lítico, Litoplíntico, Órtico, Pálico, Psamítico, Sálico, Saprolítico e Sódico.

Já o quarto nível categórico (subgrupos) é separado de acordo com a organização dos horizontes e a formação simplificada, representando solos com características extraordinárias (EMBRAPA, 2006, p.69). Algumas das nomenclaturas adotadas para a categorização deste nível citadas por IBGE (2007, p.210) são: Abrúptico, Arênico, Argissólico, Cambissólico, Carbonático, Chernossólico, Espódico, Fragipânico, Léptico, Latossólico, entre outros.

O quinto e sexto nível categórico, como dito anteriormente, ainda não foram estruturados, sendo possivelmente classificados de acordo com suas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas para uso e manejo do solo e pelo crescimento das plantas, focando o desenvolvimento radicular (EMBRAPA, 2006, p.69).

Este subitem descreveu brevemente a origem do Sistema Brasileiro de Classificação dos solos e sua constituição básica, elencando seus principais níveis categóricos e exemplos das categorias estruturadas. A seguir será abordado o tema hidrossedimentologia a fim de

dar continuidade ao estudo dos processos de modificação dos solos, enfatizando os processos erosivos causados pelo agente hídrico.

## 2.4 Hidrossedimentologia

A hidrossedimentologia segundo Lopes (2008 *apud* BORTOLOTTI, 2011, p.9), nada mais é do que a interação entre a hidrologia e a sedimentologia. Tucci *et al.* (1997, *apud* BORTOLOTTI, 2011, p.9) menciona que a hidrossedimentologia é caracterizada pelos processos de segregação, erosão, transporte, sedimentação e consolidação das partículas dentro de uma bacia hidrográfica.

A sedimentologia é o estudo da relação água-sedimento, analisando desde o desprendimento e arraste das partículas pelo escoamento superficial (*runoff*), até sua deposição e assoreamento em rios, lagos e reservatórios (CARVALHO, 2008, p.3).

Segundo o autor supracitado, o estudo da sedimentologia no Brasil tem sido impulsionado nos últimos anos, devido os graves problemas oriundos do uso e manejo inadequado do solo, que vem sendo observados principalmente nas regiões Centro e Sul do País, onde há maior concentração populacional. Silva; Schulz; Camargo (2007, p.115) e Müller (1995 *apud* LINO, 2009, p.39), complementam mencionando que os problemas hidrossedimentológicos se agravam devido à crescente e agressiva ocupação do solo, ignorando os possíveis impactos oriundos de projetos mal planejados e/ou executados.

Vestena *et al.* (2007 *apud* RODRIGUES, 2011, p.27 - 30) assegura a importância do estudo hidrossedimentológico de bacias hidrográficas, a fim de caracterizar a relação entre as ações antrópicas e os recursos naturais, quantificando os impactos do manejo inadequado do solo em pequenos intervalos de tempo.

Carvalho (2008, p.5) menciona a complexidade desse estudo, sendo necessário considerar apenas algumas das variáveis influenciadoras do processo, a fim de obter uma previsão extrapolada da erosão e deposição das partículas. O autor ainda cita a inexistência de métodos auxiliares confiáveis, sendo necessária a aplicação de modelagens matemáticas baseadas em poucas variáveis, dificultando o completo entendimento do estudo.

## 2.5 Caracterização da área de estudo

### 2.5.1 Características socioeconômicas do Município de Francisco Beltrão

O Município de Francisco Beltrão foi emancipado politicamente do Município de Clevelândia em 14 de dezembro de 1952, pela Lei nº 790 de 14/11/51 (MINEROPAR, 2002,p.6). A população é estimada em 78.943 habitantes, segundo censo de 2010, com 67.449 habitantes na zona urbana (85,44%) e 11. 494 habitantes na zona rural (14,56%). A densidade demográfica é estimada em 110, 32 hab/km<sup>2</sup>, sendo a taxa de crescimento total anual igual a 1,63. A população economicamente ativa representa aproximadamente 59% (46.884 habitantes) da população total (IBGE, 2010 *apud* IPARDES, 2013, p.12).

A base econômica do município é representada pelo setor terciário (58,86%), tendo também expressiva participação dos setores secundários (28,35%) e primários (12,79%). O setor primário é predominado pela atividade agrícola de minifúndios (milho, soja, feijão, trigo e mandioca) e pela pecuária (criação de aves de corte, suínos e bovinos). Já no setor secundário, as atividades industriais dominantes são representadas principalmente pelas indústrias de transformação (produtos alimentares, bebidas e madeira). O setor terciário é caracterizado por um comércio dinâmico, sendo o município considerado um pólo regional de compras (MINEROPAR, 2002, p.13 e IPARDES, 2013, p.16).

### 2.5.2 Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze

A Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze possui uma área de 104,02 km<sup>2</sup> e perímetro de 67,14 km, situada entre as coordenadas 53° 04' 08" e 53° 16' 15"W e 26° 04' 67" e 26° 09' 56"S, no município de Francisco Beltrão no Sudoeste do Estado do Paraná, conforme apresentado na Figura 1.

A Bacia do Rio Quatorze é uma sub-bacia do Rio Marrecas, que por sua vez, é uma sub-bacia do Rio Santana, que é tributário da bacia do Rio Chopim que por sua vez desemboca na Bacia do Rio Iguaçu (LUZ, 2011, p.24).

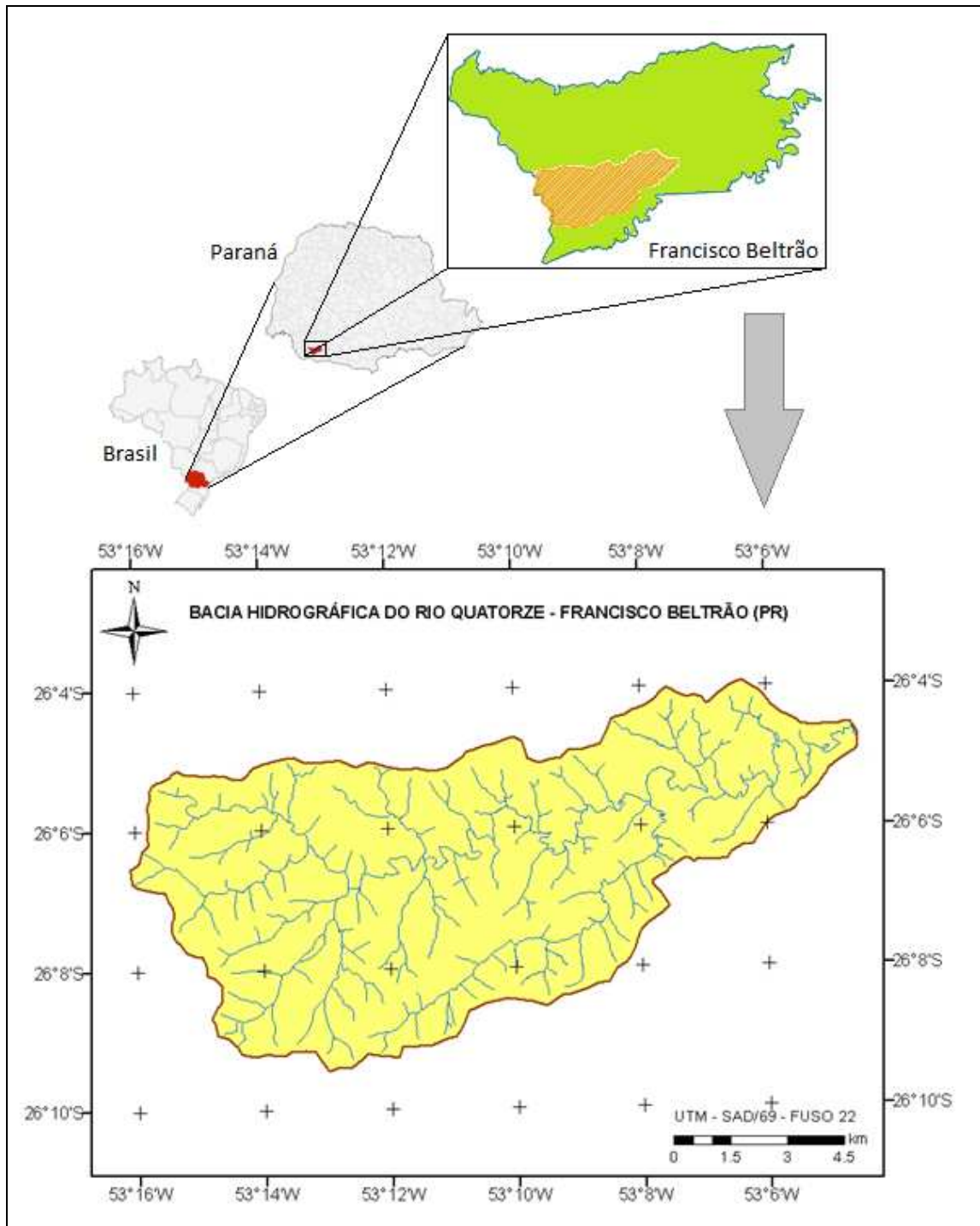


Figura 1 - Localização do município de Francisco Beltrão e da Bacia do Rio Quatorze  
 Fonte: Autoria própria.

### 2.5.3 Caracterização ambiental da área de estudo

#### 2.5.3.1 Clima

A Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze é caracterizada por um clima mesotérmico temperado, com chuvas bem distribuídas durante todo o ano e verões quentes, sendo



classificada como clima Cfa segundo Köppen (MAACK, 1981 *apud* AGUIAR, 2012, p.18). A pluviosidade na Bacia, assim como em toda a região de Francisco Beltrão, oscila entre 2000 e 2500 mm, e a temperatura média variando de 13,9°C a 26°C (IAPAR, 2012a e IAPAR, 2012b).

A Tabela 1 mostra os valores médios mensais para os parâmetros temperatura (máxima e mínima) e precipitação nos diferentes meses do ano durante o período de 1974 a 2012.

Tabela 1 - Médias mensais de temperatura e precipitação da série de dados de 1974 a 2012.

Meses do ano	Temperatura (°C)		Precipitação (mm)
	Mínima	Máxima	
<b>Janeiro</b>	18,5	30,2	186,5
<b>Fevereiro</b>	18,3	29,9	171,1
<b>Março</b>	17,0	29,4	128,4
<b>Abril</b>	14,1	26,2	173,3
<b>Mai</b>	10,6	22,4	183,0
<b>Junho</b>	9,3	20,8	158,4
<b>Julho</b>	9,0	21,2	135,7
<b>Agosto</b>	10,3	23,4	111,1
<b>Setembro</b>	11,9	24,4	161,9
<b>Outubro</b>	14,5	26,7	257,4
<b>Novembro</b>	15,8	28,4	174,7
<b>Dezembro</b>	17,6	29,7	167,8

Fonte: IAPAR (2012b).

### 2.5.3.2 Geologia e geomorfologia

A constituição geológica da Bacia do Rio Quatorze assim como do município de Francisco Beltrão, é bem simples, sendo representada por rochas basálticas da Formação Serra Geral, originárias de um extenso derrame vulcânico ocorrido no período Mesozóico (LUZ, 2011, p.25 e MINEROPAR, 2002, p.14).

Os basaltos encontrados na Bacia do Rio Quatorze recobrem 100% do município de Francisco Beltrão (Figura 2), diferenciando-se em basaltos pórfiros, dacitos, riocitos e riolitos apenas pelo grau de acidez (MINEROPAR, 2002, p.14).

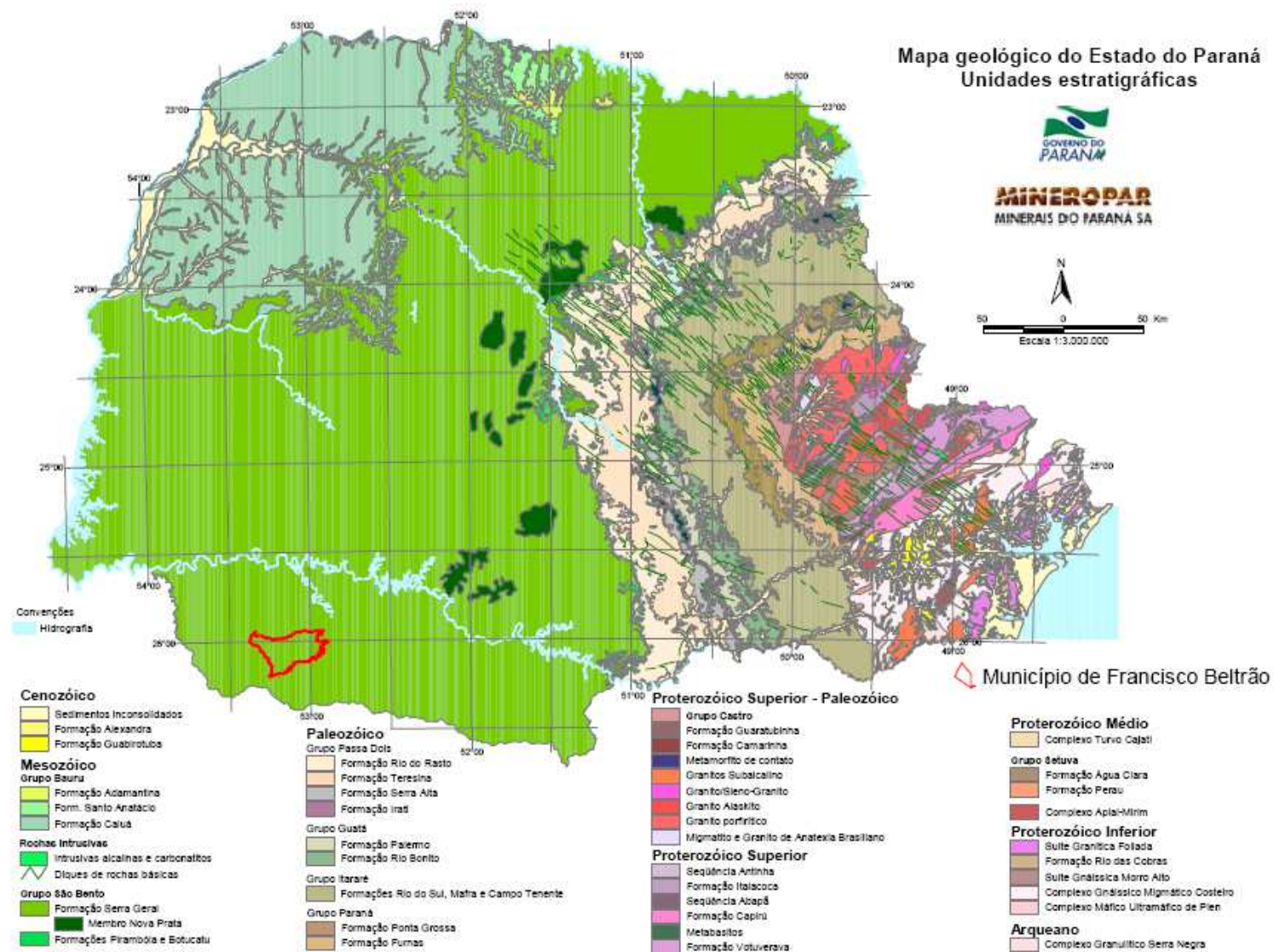


Figura 2 - Mapa geológico do Estado do Paraná.  
Fonte: MINEROPAR (2002, p.15).

### 2.5.3.3 Caracterização dos solos

Os solos da Bacia do Rio Quatorze segundo Ruthes; Tomazoni; Gomes (2012, p.5-6) são caracterizados pela presença de textura argilosa, classificando quase 50% destes como sendo do tipo LATOSSOLO VERMELHO (Tabela 2). Este tipo de solo segundo EMBRAPA (2006, p.82), é constituído por material mineral em estágio de intemperização avançado, com profundidades elevadas e sequência de horizontes A, B e C bem definidas pela coloração.

Tabela 2 - Classificação dos solos da Bacia do Rio Quatorze.

Tipos de Solo	Área de abrangência (ha)	% da área
LVdf – LATOSSOLO VERMELHO distroférico	3162,47	29,50
LVef – LATOSSOLO VERMELHO eutroférico	1897,27	17,70
NVdf – NITOSSOLO VERMELHO distroférico	961,90	9,00
NVef – NITOSSOLO VERMELHO eutroférico	1123,83	10,50
CXbd – CAMBISSOLO HAPLICO distrófico	640,33	6,00
RRe – NEOSSOLO REGOLÍTICO eutrófico	1632,97	15,20
RRd – NEOSSOLO REGOLÍTICO distrófico	1294,90	12,10
Área total	10713,67	100

Fonte: Ruthes; Tomazoni; Gomes (2012, p.6)

### 2.5.3.4 Vegetação

A vegetação original da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze é composta quase totalmente por espécies arbóreas do gênero *Araucária angustifolia*, conhecida popularmente pelo nome Pinheiro do Paraná. Esta vegetação é predominante de regiões úmidas, caracterizando estas como pertencentes às Florestas Ombrófilas Mistas, também conhecidas como Florestas de Araucárias (AGUIAR, 2012, p.18).

### 2.5.4 Uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze

A evolução do uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze durante os anos de 2008 e 2009 foi estudada por Daleffe (2010, p.16–17), a qual baseada em imagens do Satélite CBERS-2B, classificou a área em Reflorestamento (RF), Vegetação secundária em Estágio Inicial (VSEI), Vegetação Secundária em Estágio Médio (VSEM), Vegetação Secundária em Estágio Avançado (VSEA), Lavoura (LV), Pastagem (PA) e Solo Exposto (SE), conforme apresentado nas Figura 3 e Figura 4.

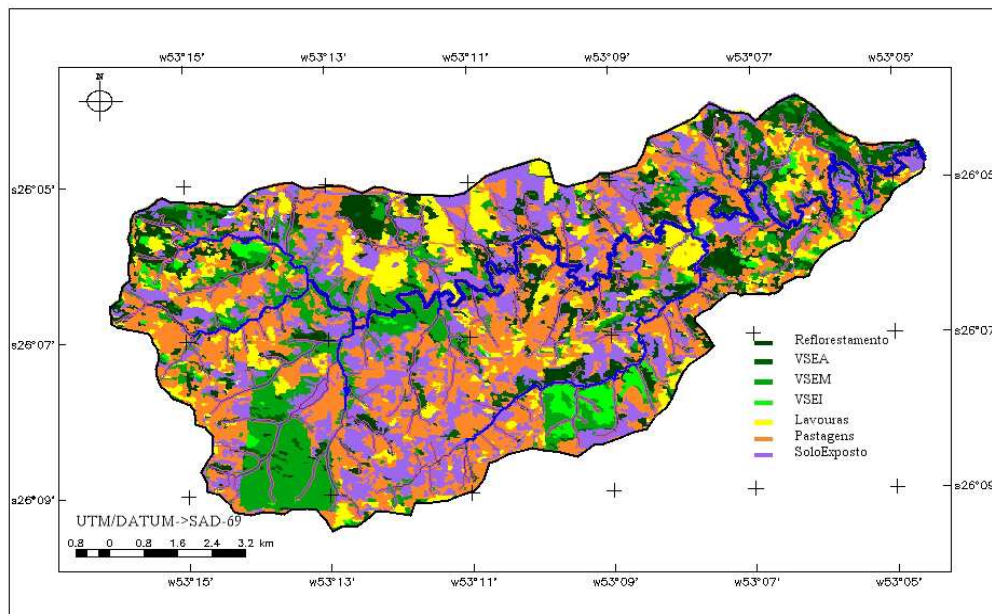


Figura 3 - Uso e ocupação do solo da Bacia do Rio Quatorze em 2008.  
Fonte: Daleffe (2008, p.16).

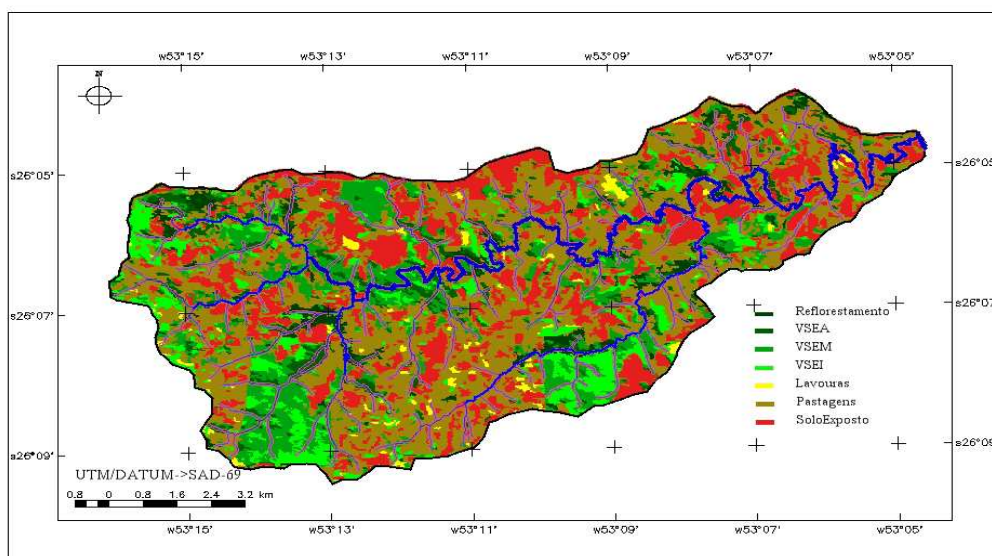


Figura 4 - Uso e ocupação do solo da Bacia do Rio Quatorze em 2009.  
Fonte: Daleffe (2010, p.17).

Complementando o estudo, Marques (2010, p.39) classifica o uso do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze em Solos exposto, Campo, Floresta, Lavoura e Lâmina de água, conforme apresenta a Figura 5.



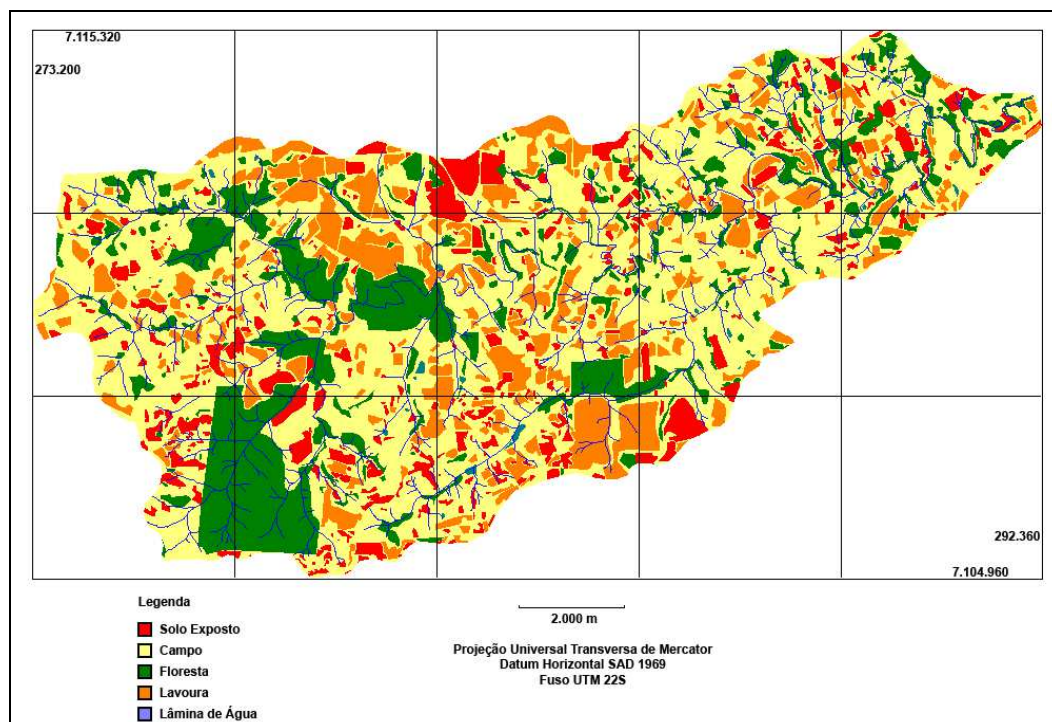


Figura 5 - Uso do solo da Bacia do Rio Quatorze em 2008.

Fonte: Marques (2010, p.39).

De maneira geral, a Bacia do Rio Quatorze segundo Marques (2010, p.40) é predominada por campo, representando 62,25% da área mapeada, sendo justificada pelo predomínio de pequenos proprietários rurais. Já para Daleffe (2010, p.16-17) o uso e ocupação do solo predominante em 2008 e 2009 foi a Vegetação Secundária em Estágio Avançado representando 31,95% e 42,53% da área mapeada, respectivamente. Os resultados dos estudos estão apresentados nas Tabela 3 e Tabela 4.

Tabela 3 - Uso do Solo na Bacia do Rio Quatorze nos anos 2008 e 2009.

Classe	Porcentagem (%) da área no ano	
	2008	2009
Reflorestamento	10,31	4,48
Vegetação Secundária Inicial	7,56	6,44
Vegetação Secundária Média	10,51	1,44
Vegetação Secundária Avançada	31,95	42,53
Lavoura	2,43	8,86
Pastagem	16,01	15,70
Solo Exposto	21,24	21,54
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Fonte: Adaptado de Daleffe (2010, p.16-17).

Tabela 4 - Uso do solo na Bacia do Rio Quatorze no ano de 2008.

<b>Classe</b>	<b>Porcentagem (%) da área</b>
<b>Solo exposto</b>	9,18
<b>Campo</b>	62,25
<b>Floresta</b>	13,56
<b>Lavoura</b>	7,61
<b>Lâmina de água</b>	0,09
<b>Total</b>	100

Fonte: Adaptado de Marques (2010, p.40).

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia de pesquisa adotada neste trabalho foi baseada na classificação da pesquisa científica em Engenharia de Produção descrita por Turrioni; Mello (2012, p.80), a qual pode ser observada na Figura 6. Essa metodologia foi adaptada ao estudo devido à inexistência da classificação da pesquisa científica na área de Engenharia Ambiental.

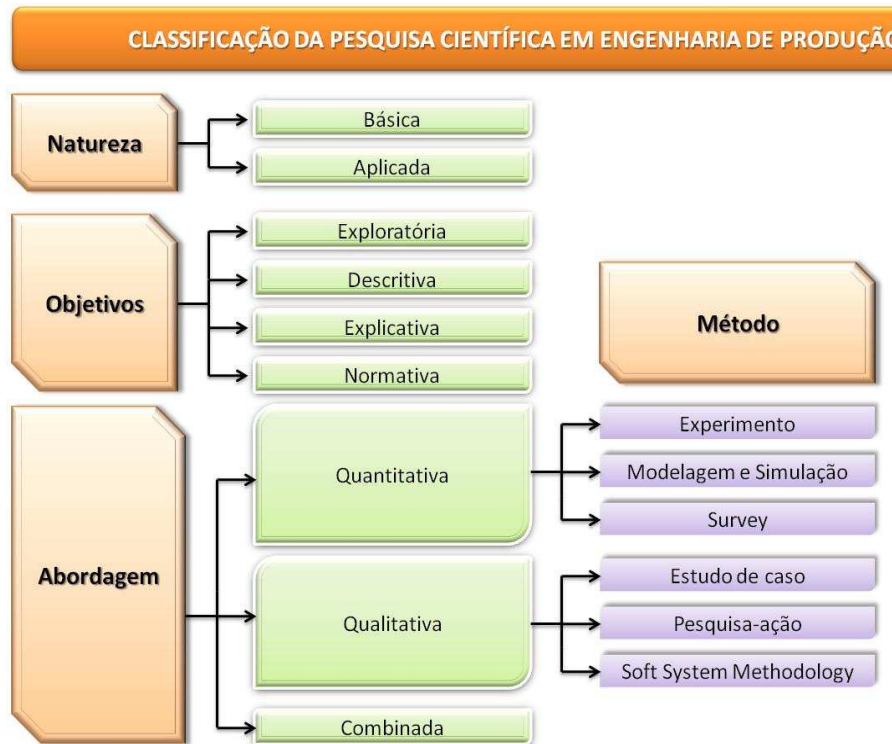


Figura 6 - Classificação da Pesquisa Científica em Engenharia da Produção.  
Fonte: Turrioni; Mello (2012, p.80).

Quanto à natureza da pesquisa, este trabalho se classifica como do tipo aplicada, buscando a aplicação ou utilização dos resultados de forma imediata para solucionar problemas específicos (TURRIONI; MELLO, 2012, p.80).

Quanto aos objetivos, a pesquisa é classificada como exploratória, que segundo Cerro; Bervian; Da Silva (2012, p.53-54) busca a familiarização com os fenômenos observados, gerando novas ideias e percepções. Os mesmos ainda mencionam que a elaboração de hipóteses não se faz necessário, atendo-se apenas à elaboração de objetivos, que terá por função nortear a busca de informações para descrever precisamente o fenômeno e as relações entre seus componentes.

Quanto ao tipo de abordagem é classificado como pesquisa quantitativa, pois quantificará informações para posterior classificação e análise. Para finalizar, o método

adotado é classificado como modelagem e simulação, por envolver um *software* que simulará por meio de um modelo matemático a hidrossedimentologia da Bacia Hidrográfica.

O *design* da pesquisa apresentado na Figura 7, exemplifica as etapas que foram realizadas para a simulação hidrossedimentológica da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze.

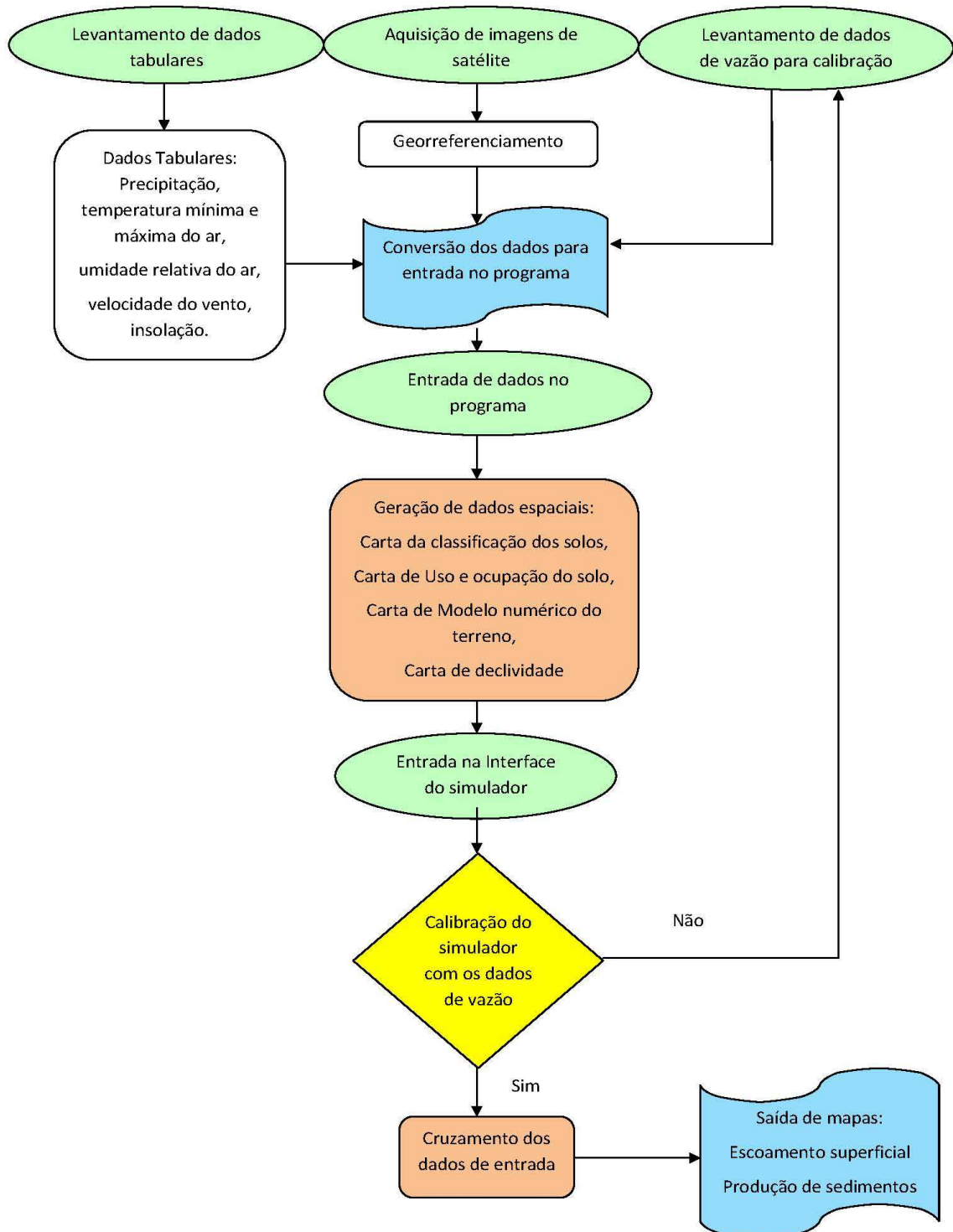


Figura 7 – *Design* da pesquisa utilizada para simulações hidrossedimentológicas por meio da interface do modelo computacional.

Fonte: Autoria própria.



O presente estudo começou pela realização de um levantamento bibliográfico de dados tabulares que afetam a Bacia hidrográfica do Rio Quatorze, como precipitação, temperatura máxima e mínima, umidade relativa do ar, velocidade do vento e período de insolação diária (radiação solar).

Concomitantemente ao levantamento bibliográfico dos dados tabulares, foi realizada a aquisição de imagens de satélite, da área a ser estudada para posterior geração de dados espaciais. As imagens de satélite foram georeferenciadas e incorporadas ao modelo hidrológico computacional.

Os dados obtidos a partir do levantamento bibliográfico foram organizados em arquivos de texto (\*.txt) e planilhas eletrônicas (\*.xlsx) para entrada no modelo computacional.

A segunda fase metodológica consistiu na obtenção de dados espaciais a partir das imagens de satélites adquiridas, gerando cartas bases de classificação do solo, de uso e ocupação do solo, do modelo numérico do terreno e de declividade, que foram inseridas na interface do simulador.

Na terceira fase, os dados tabulares e espaciais foram inseridos na interface do simulador, para início do estudo hidrossedimentológico da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze. Antes de realizar a simulação tentou-se calibrar e validar o simulador por meio dos dados de vazão obtidos no levantamento bibliográfico da primeira fase. No caso de os dados levantados não calibrarem o simulador, foi dada continuidade a simulação sem calibração. Logo após a inserção os dados foram cruzados obtendo com resultado do processo, a geração de cartas do escoamento superficial e da produção de sedimentos da área.

## 4 DESENVOLVIMENTO

### 4.1 Dados de entrada

Para a realização deste estudo fez-se necessário a construção de um banco de dados composto por dados tabulares (precipitação, temperatura máxima e mínima, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento) e dados espaciais (uso e classificação do solo, classes de declividade e modelo numérico do terreno), a fim de caracterizar a Bacia do Rio Quatorze. A seguir serão apresentados alguns destes dados.

#### 4.1.1 Dados tabulares

Os dados tabulares foram obtidos a partir de séries históricas geradas por valores médios diários de precipitação, temperatura, radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento, os quais foram obtidos de ANA (2014) e IAPAR (2014).

Os dados de precipitação foram obtidos de 9 estações meteorológicas diferentes, estando duas localizadas dentro do município de Francisco Beltrão e as outras nos municípios limítrofes. A relação de todas as estações meteorológicas utilizadas para desenvolver este estudo, assim como, seus códigos, municípios e responsáveis é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5- Estações meteorológicas utilizadas para o levantamento de dados tabulares.

<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Município</b>	<b>Responsável</b>
02653015	LINHA GAUCHA	Francisco Beltrão	AGUASPARANÁ
02653012	FRANCISCO BELTRÃO	Francisco Beltrão	IAPAR
02653022	FAXINAL DO CAMPO ERE	Marmeleiro	AGUASPARANÁ
02653024	PONTE MARMELEIRO TEM. ETA	Marmeleiro	ANA
02653019	RIO VERDE	Flor da Serra do Sul	AGUASPARANÁ
02653020	SALGADO FILHO	Salgado Filho	AGUASPARANÁ
02553012	AMPERE	Ampére	AGUASPARANÁ
02553044	ENÉAS MARQUES	Enéas Marques	AGUASPARANÁ
02552042	ITAPEJARA DO OESTE	Itapejara D' Oeste	AGUASPARANÁ

Fonte: Adaptado de ANA (2014) e IAPAR (2014).

Os dados de temperatura máxima e mínima, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento foram obtidos da estação meteorológica do IAPAR, localizada no município de Francisco Beltrão.

A Figura 8 apresenta a localização das estações onde foram obtidos os dados tabulares para composição do banco de dados.

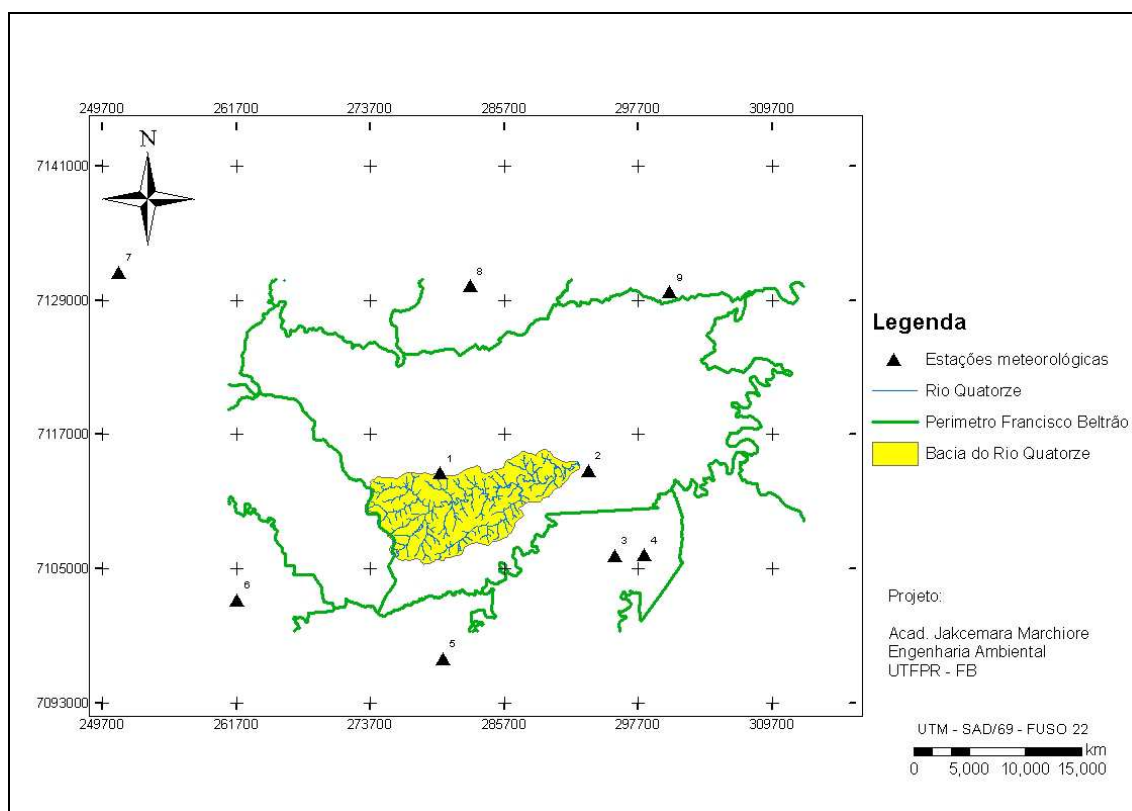


Figura 8 - Mapa de localização das estações meteorológicas do município de Francisco Beltrão e limítrofes.

Fonte: Autoria própria.

#### 4.1.2 Dados espaciais

Os dados espaciais de uso e classificação do solo, classes de declividade e modelo numérico do terreno, foram obtidos a partir do processamento de imagens de satélite, cartas topográficas e importação de curvas de nível de projetos anteriormente desenvolvidos.

A imagem utilizada para a classificação do uso e ocupação do solo é uma composição das bandas 2, 3 e 4 do satélite LANDSAT\_5\_TM, obtida em 07/08/2011, a qual foi adquirida de INPE (2013). A banda 4 (Infravermelho Próximo) foi utilizada visando melhorar a visualização dos objetos da imagem, criando uma composição de falsa cor. As curvas de nível para geração do modelo digital de elevação do terreno, assim como a classificação do solo da bacia em estudo, foram importadas de TOMAZONI *et. al.* (2010).

## 4.2 Ferramentas de Geoprocessamento utilizadas

A fim de obter o melhor resultado na execução do estudo proposto, fez-se necessária a escolha do *software* mais adequado para a realização do processamento dos dados. Esta escolha teve como base a disponibilidade nas instituições de ensino e das habilidades desenvolvidas durante o curso. Desta forma, iniciou-se o processamento com o *software* SPRING versão 5.1.8 importando e georreferenciando a imagem LANDSAT\_5\_TM com o auxílio da composição das cartas topográficas coloridas de Salgado Filho (2861-1) e Francisco Beltrão (2861-2) na escala 1:50000, obtidas de ITCG (2014). Após o georreferenciamento da imagem procedeu-se por meio do classificador de Máxima Verossimilhança (MAXVER) à classificação supervisionada do uso e ocupação do solo, sendo definidas cinco classes distintas: água, solo exposto, vegetação, pastagem e urbanização.

Para efeito da escolha da ferramenta de geoprocessamento mais adequada, realizou-se novamente a classificação de uso e ocupação do solo, utilizando desta vez o *software* ARCGIS versão 10.1. Para a realização desta classificação importou-se a imagem LANDSAT\_5\_TM já georreferenciada do programa SPRING, desenvolvendo por meio da ferramenta *Image Classification* a classificação supervisionada do uso e ocupação do solo.

Com base na comparação visual das imagens obtidas e no número de ferramentas disponíveis em cada *software*, adotou-se o programa ARCGIS como sendo a ferramenta mais adequada para a realização deste estudo, pois além de melhor representar a realidade do uso e ocupação do solo na bacia, disponibiliza um vasto número de ferramentas, garantindo a melhor confiabilidade no processamento dos dados.

## 4.3 Descrição dos *softwares* utilizados e requisitos para o processamento

Os *softwares* utilizados para a edição dos dados de entrada, simulação e apresentação são apresentados a seguir.

#### 4.3.1 SPRING versão 5.1.8

O programa SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) é um *software* de domínio público brasileiro, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) de São José dos Campos (SP), disponível para *download* no *site* [www.dpi.inpe.br/spring](http://www.dpi.inpe.br/spring). Segundo Lopes (2009, p.13-14) o SPRING consiste basicamente em um banco de dados geográficos de segunda geração, que suporta um grande volume de dados vetoriais e matriciais, podendo ser operado até mesmo em microcomputadores, sem perder a identidade dos objetos ao longo do processamento. Devido a todas essas características e sua fácil aquisição, o SPRING é considerado uma opção altamente atrativa para uso na área de geoprocessamento, sendo muito difundido no meio acadêmico.

#### 4.3.2 ArcGIS versão 10.1

O programa ArcGIS (*Architecture Geographic Information System*) é um *software* de domínio privado, desenvolvido na Califórnia (EUA) pelo *Environmental Systems Research Institute* (ESRI). O *software* pode ser considerado um sistema de informações geográficas (SIG) integrado, representando as realidades geográficas por meio de feições vetoriais, altimétricas, grades e outros vários tipos de dados (SANTOS, LOUZADA e EUGENIO, 2010, p.15-20). Os autores ainda mencionam que uma das características mais importantes do *software* é a ampla possibilidade de modelagem de superfícies tridimensionais, criando as bases inteligentes de dados georreferenciados (*geodatabase*).

#### 4.3.3 ArcSWAT 2012

O ArcSWAT (*Architecture Soil and Water Assessment tools*) é uma *toolbox* do *software* ArcGIS, sendo uma ferramenta de domínio público desenvolvida por Dr. Jeff Arnold do Departamento de Agricultura dos estados Unidos (*USDA – United State Department of Agriculture*), disponível para *download* no *site* [www.swat.tamu.edu/software/arcsbat](http://www.swat.tamu.edu/software/arcsbat).

O SWAT (*Soil and Water Assessment Tools*) é um modelo hidrológico computacional desenvolvido para prever impactos das práticas de manejo do solo sobre o balanço hídrico, a produção de sedimentos e o carreamento de produtos químicos agrícolas em bacias hidrográficas (ARNOLD *et. al.*, 1998, p.74 e NEITSCH *et. al.*, 2002, p.1). Arnold *et. al.* (1998, p.74-75) complementa afirmando que o modelo é computacionalmente eficiente, não sendo necessária sua calibração para realizar a simulação.

#### 4.3.4 Requisitos para o processamento

Para desenvolver o estudo da hidrossedimentologia da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze utilizando o modelo hidrológico computacional SWAT, fez-se necessário participar de um curso básico de introdução a esta ferramenta. O curso foi oferecido pela Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nádia Bernardi Bonumá, nos dias 02 e 03 de Dezembro de 2013, na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), englobando os seguintes temas:

- O que é o modelo SWAT?
- Para que serve?
- Qual é a escala espacial do modelo?
- Quais são os módulos principais?
- Quais são os dados de entrada?
- Aplicações do SWAT

#### 4.4 **Hardware** utilizado para processamento

O *hardware* mínimo recomendado para um PC pelo SPRING é composto de memória RAM de 128 Mbytes, disco rígido de 20 Gbytes, monitor SVGA de 17" e unidade de CD-ROM, mas não cita o processador. Já para o ArcGis, a ESRI recomenda no mínimo um processador de 2,2 GHz multi-core, memória RAM de 2GBytes, espaço em disco rígido de 2,4 GBytes, monitor que suporte padrão de cores 24bits e resolução de 1024x768 (96 dpi no mínimo), além de CD/DVD ROM.

O equipamento utilizado inicialmente atendia estes requisitos mínimos, no entanto, percebeu-se que para algumas operações, a demora nas respostas tornaria o processo ineficiente. Para resolver este problema, como previsto no projeto de TCC, foi

utilizado um computador de melhor performance, com um processador AMD de 8 núcleos de 4 GHz, com placa mãe de conexões rápidas e resistente a altas temperaturas, memória RAM de 64 Gbytes, disco rígido de 3TBytes, placa de vídeo de 1GBytes e monitor de 23,6”.

#### **4.5 Preparação dos dados de entrada no modelo hidrológico**

Para o uso do modelo hidrológico SWAT (*Soil and Water Assessment Tools*), ferramenta de análise de solo e água do ARCGIS, faz-se necessário adequar os dados obtidos das estações meteorológicas para o formato de entrada no *software*, sendo convertidas em arquivos de texto (\*.txt).

Os dados meteorológicos de todas as estações foram conferidos, averiguando a ausência de alguns dados diários, os quais foram preenchidos com o código -99.00, que segundo Marchioro (2008, p.86) é interpretado pelo programa como dado indisponível, possibilitando assim o correto processamento dos dados.

Após o preenchimento dos dados faltantes pelo código de interpretação, procedeu-se a elaboração dos arquivos de texto. Para os dados de precipitação criou-se inicialmente uma base de dados relacional baseada na formatação de Winchell *et. al.* (2013, p.19), a qual contém o código identificador, nome, longitude e latitude em coordenadas geográficas (grau decimal) e elevação do terreno dada em m (metros). O arquivo relacional das estações meteorológicas que contém dados de precipitação diários é apresentado na Figura 9, onde os códigos hop0pcp, hop1pcp, hop2pcp, hop3pcp, hop4pcp, hop5pcp, hop6pcp, hop7pcp, hop8pcp e hop9pcp representam as estações de Francisco Beltrão I, Ampére, Enéas Marques, Flor da Serra do Sul, Marmeleiro I, Salgado Filho, Francisco Beltrão II, Itapejara D' Oeste e Marmeleiro II, respectivamente.

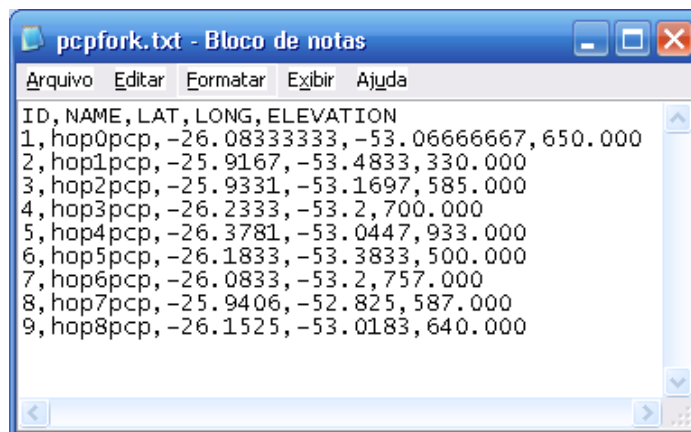


Figura 9 - Base de dados relacional das estações meteorológicas que contém dados de precipitação diários.

Fonte: Autoria própria.

Para cada estação inserida no arquivo relacional, criou-se um novo arquivo de texto baseado na formatação sugerida por Winchell *et. al.* (2013, p.20), o qual contém uma única coluna (Figura 10), sendo que na primeira linha encontra-se a data de início de observação dos eventos e após os dados de precipitação diários em mm (milímetros) de todo o ano de observação.

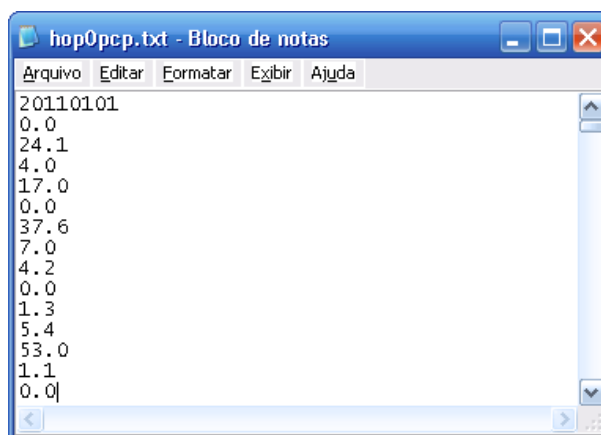


Figura 10 - Dados de precipitação diários da estação do IAPAR em Francisco Beltrão.

Fonte: Adaptado de IAPAR (2013).

Os dados de precipitação diária dos municípios Ampére, Enéas Marques, Francisco Beltrão I, Flor da Serra do Sul, Itapejara do Oeste, Marmeleiro I, Marmeleiro II, Salgado Filho e Francisco Beltrão II, são apresentados em ANEXO A, ANEXO B, ANEXO C, ANEXO D, ANEXO E, ANEXO F, ANEXO G, ANEXO H e ANEXO I, respectivamente.



Os dados de temperatura foram obtidos apenas da estação meteorológica do IAPAR, localizada no município de Francisco Beltrão, sendo produzido para estes o banco de dados relacional e o arquivo de texto. O banco de dados relacional de temperatura foi produzido seguindo o mesmo modelo anteriormente descrito. Já o arquivo de texto passou a ter duas colunas (Figura 11), onde a primeira descreve os dados diários de temperatura máxima (ANEXO K) e a segunda os dados diários de temperatura mínima (ANEXO J), ambas em °C, conforme formatação apresentada por Winchell *et. al.* (2013, p.23).

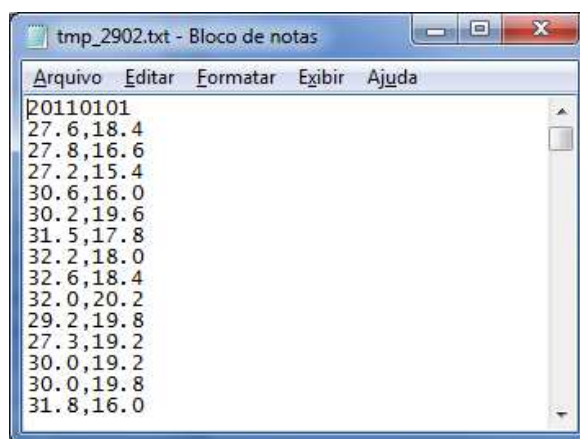


Figura 11 - Dados diários de temperatura máxima e mínima da estação do IAPAR.  
Fonte: Adaptado de IAPAR (2013).

Para os dados de radiação solar (ANEXO L), umidade relativa (ANEXO M) e velocidade do vento (ANEXO N) também foram produzidos os bancos de dados relacional e o arquivo de texto, seguindo a mesma formatação descrita para os índices de precipitação. Estes dados também foram obtidos apenas da estação meteorológica do IAPAR em Francisco Beltrão, sendo estes apresentados em MJ/m<sup>2</sup>/dia, no caso da radiação solar, m/s, no caso de velocidade do vento e fração de cem, no caso da umidade relativa. As figuras 12, 13 e 14 representam a formação dos arquivos de texto dos dados de radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento, respectivamente.

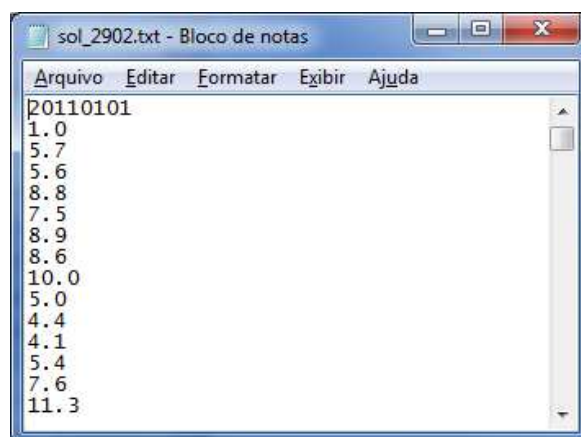


Figura 12 - Dados diários de radiação solar do município de Francisco Beltrão.  
Fonte: IAPAR (2013).

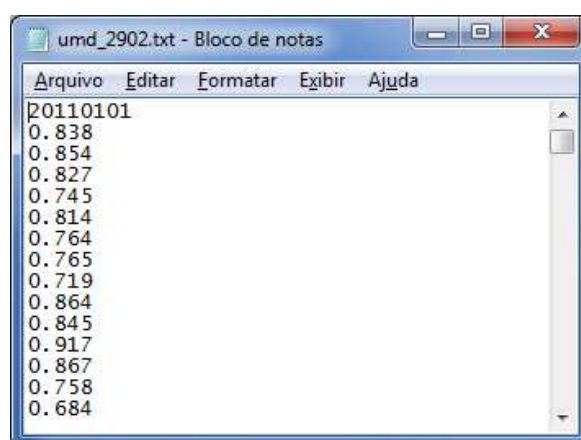


Figura 13 - Dados diários de umidade relativa do município de Francisco Beltrão.  
Fonte: IAPAR (2013).

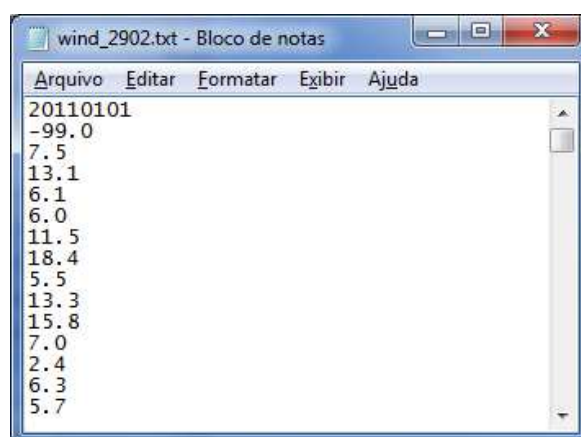


Figura 14 - Dados diários de velocidade do vento do município de Francisco Beltrão.  
Fonte: IAPAR (2013).

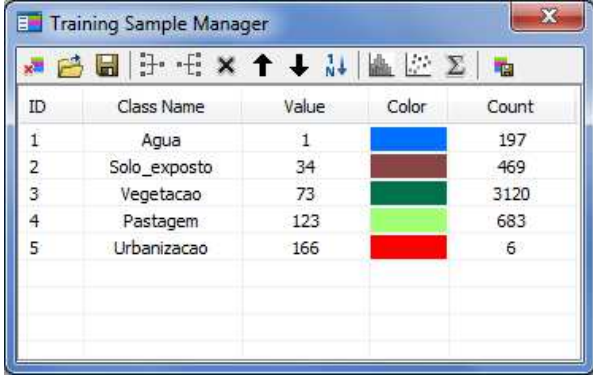
#### 4.6 Construção do mapa de uso e ocupação do solo

Para a elaboração do mapa de uso e ocupação da bacia do Rio Quatorze, foi utilizado uma composição RGB das bandas 2, 3 e 4 da imagem do satélite LANDSAT\_5\_TM, com resolução de 30 m (metros), datada em 07 de agosto de 2011.

Inicialmente as bandas foram corrigidas geometricamente no programa Spring, por meio do processo de reamostragem de *pixels*, sendo utilizado o interpolador de alocação de Vizinho mais Próximo. Segundo Crosta (1992 *apud* LINO, 2009, p.74), as imagens de satélite apresentam distorções espaciais, como variação da altitude, posição e deslocamento, não fornecendo precisão cartográfica dos objetos representados. Para tanto faz necessário a reorganização dos *pixels*, adequando estes as propriedade de escala de um sistema de projeção cartográfico. Após a correção geométrica, a composição das bandas foi georreferenciada e exportada em formato raster para uso no programa ArcGIS.

A seguinte etapa constituiu da classificação do uso e ocupação do solo na bacia, para tanto utilizou-se a ferramenta *Image Classification* presente no programa ArcGIS. Esta ferramenta utiliza a técnica de classificação supervisionada, ou seja, consiste na coleta manual de amostras de treinamento (conjuntos de *pixels*) representativas de cada uso do solo, por meio de digitalização em tela.

Para este estudo foram consideradas cinco classes de uso e ocupação do solo (Figura 15), sendo estas: vegetação, água, pastagem, urbanização e solo exposto, estando as estradas contempladas na última classe. O número de amostras coletadas de cada classe foi variável, sendo proporcional a sua representação na imagem. Após a coleta de amostras a imagem foi classificada utilizando o método de Máxima Verossimilhança (MAXVER).



ID	Class Name	Value	Color	Count
1	Agua	1	Blue	197
2	Solo_exposto	34	Brown	469
3	Vegetacao	73	Green	3120
4	Pastagem	123	Light Green	683
5	Urbanizacao	166	Red	6

Figura 15 - Classes de uso e ocupação do solo na Bacia do Rio Quatorze.

Fonte: Autoria própria.

#### 4.7 Construção do mapa de tipos de solo

O mapa de tipos de solo foi construído a partir da importação de dados matriciais e vetoriais gerados por TOMAZONI *et. al.* (2010) no programa Spring, sendo estes baseados na classificação das classes de solo realizada pela Embrapa. A Figura 16 apresenta a classificação da Embrapa dos tipos de solo presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze, sendo LVdf, NVdf, NVef e RRe os solos do tipo LATOSSOLO VERMELHO Distroférico, NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico e NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico, respectivamente.

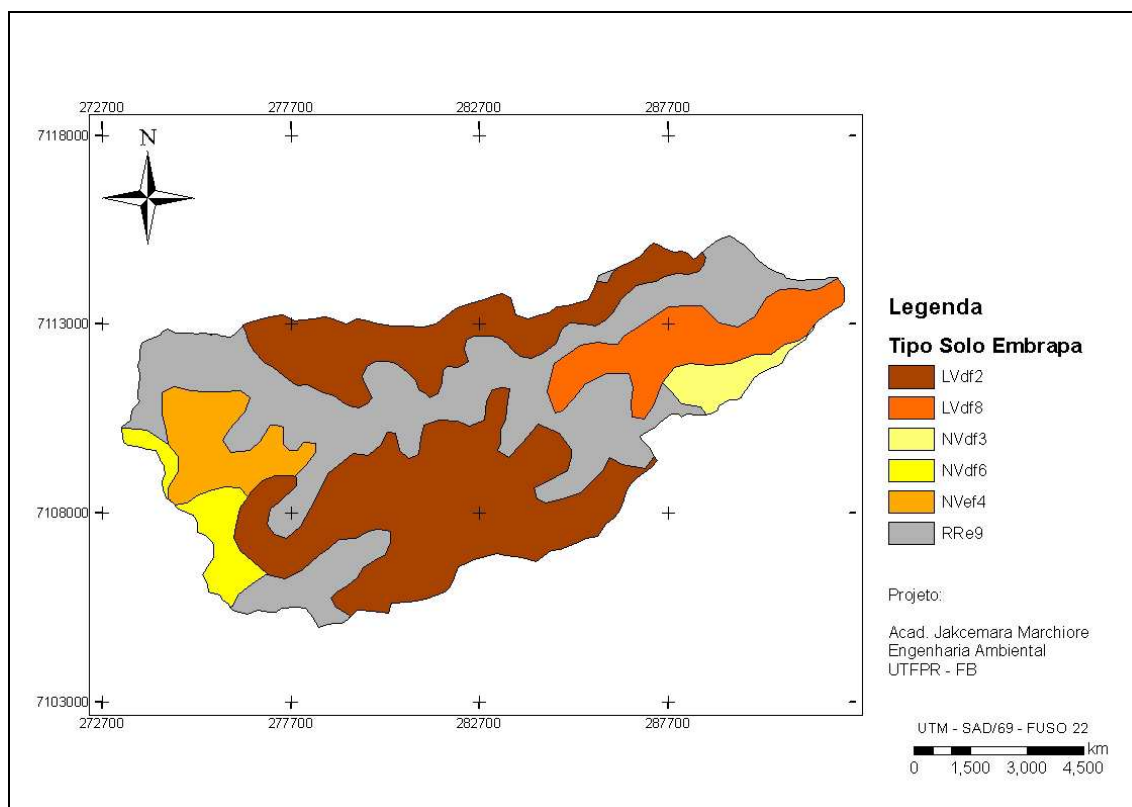


Figura 16 - Classificação do tipo dos solos da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze.

Fonte: Adaptado de TOMAZONI *et. al.* (2010).

#### 4.8 Construção do modelo digital de elevação do terreno

Para a geração do modelo digital de elevação do terreno (MDE ou DEM), fez-se necessário a triangulação do relevo a partir de dados altimétricos. Os dados utilizados para a triangulação foram as curvas de nível, já cotadas e digitalizadas por TOMAZONI *et. al.* (2010) no programa Spring. Antes da triangulação do terreno, as curvas de nível foram recortadas tomando como limite de corte o divisor de águas da Bacia hidrográfica em estudo.

A seguinte etapa constituiu da geração da triangulação do terreno, para tanto foi utilizada a ferramenta *3D Analyst* presente no programa ArcGIS. Esta ferramenta utiliza como método de interpolação a triangulação de Delaunay, que consiste na criação de triângulos a partir de vértices (pontos) com diferentes altitudes (ARCGIS, 2013). Os dados gerados constitui um modelo digital formado por vetores, denominado TIN (*Triangulated Irregular Networks* - Rede Triangular Irregular). A Figura 17 apresenta o modelo digital TIN da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze – Francisco Beltrão (PR), onde os dados de elevação são apresentados em m.

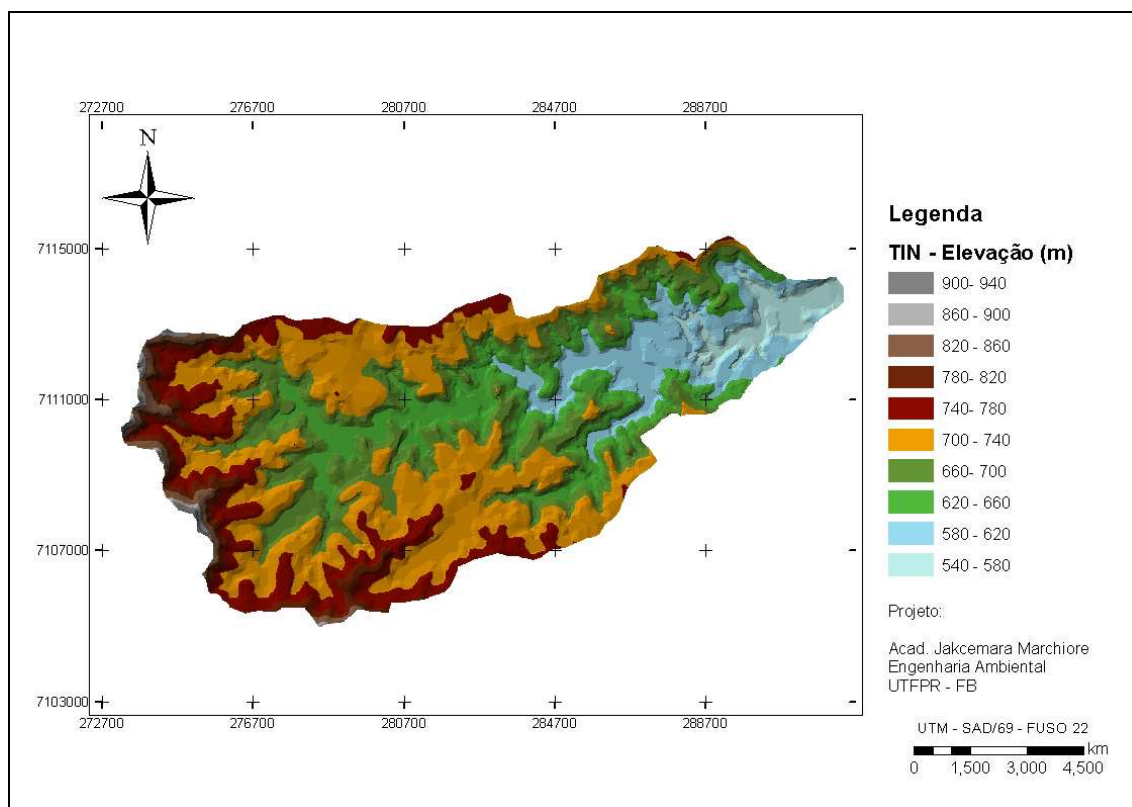


Figura 17 - Modelo digital de triangulação da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze.

Fonte: Autoria própria.

Após a geração do TIN foi possível gerar o Modelo Digital de Elevação do terreno, utilizando a ferramenta *TIN to Raster* encontrada no *ArcToolBox* do ArcGIS. O Modelo Digital de Elevação segundo Silva *et. al.* (2010) nada mais é do que uma representação digital da variação da elevação do terreno, sendo constituído por uma matriz de pixels e suas elevações correspondentes. A Figura 18 apresenta o Modelo Digital de Elevação do Terreno da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze – Francisco Beltrão (PR).

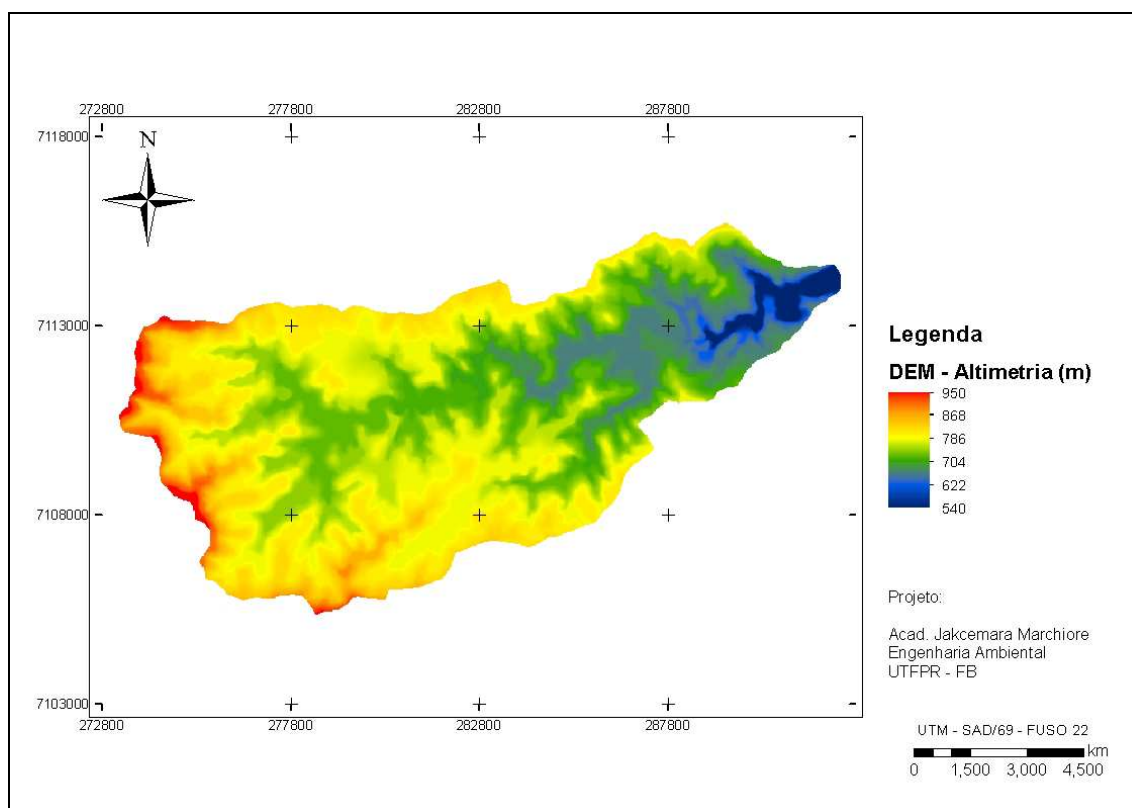


Figura 18 - Modelo Digital de Elevação do terreno da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze.  
Fonte: Autoria própria.

#### 4.9 Construção do mapa de pluviometria

Para a elaboração do mapa de pluviometria, utilizou-se os dados de precipitação obtidos de 6 estações meteorológicas, sendo estas pertencentes aos municípios de Francisco Beltrão 1, Ampére, Enéas Marques, Flor da Serra do Sul, Marmeleiro 1 e Salgado Filho. As estações de Francisco Beltrão 2, Itapejara D' Oeste e Marmeleiro 2 foram desconsideradas pelo fato de possuírem dados diários incompletos, impedindo a estimativa das precipitações anuais. Após a definição das estações utilizadas, criou-se uma tabela no formato \*.xlsx com as informações de localização em coordenadas planas, dadas em m (metros), precipitação mensal e anual, ambas em mm (milímetros) e nome do município, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Dados de precipitação mensal e anual para a Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze.

x - lat	y -long	Município	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio
293291.0	7113437.9	Francisco Beltrão	289.400	181.400	96.000	119.200	19.000
251249.3	7131177.8	Ampére	91.400	211.600	158.000	165.200	36.900
282703.3	7129920.0	Enéas Marques	154.100	228.000	119.200	89.500	43.100
280232.0	7096599.9	Flor da Serra do Sul	205.100	240.000	225.200	118.800	47.200
295606.4	7105809.6	Marmeleiro	215.700	182.000	196.400	122.600	52.600
261809.9	7101816.1	Salgado Filho	231.300	267.200	195.900	162.200	29.500

Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	pcp anual
119.400	244.100	348.800	199.700	295.300	128.000	60.400	2100.700
90.400	194.500	232.300	153.600	279.100	133.200	55.300	1801.500
84.600	223.000	291.400	152.300	314.000	111.700	36.000	1846.900
154.500	281.600	336.900	254.600	224.900	193.000	81.600	2363.400
204.400	263.800	212.500	224.800	192.500	135.500	70.500	2073.300
137.000	258.800	332.100	211.300	221.900	169.300	62.400	2278.900

Fonte: Adaptado de ANA (2014) e IAPAR (2014).

Utilizando as ferramentas *Add XY Data* e *Export Data* do programa ArcGIS converteu-se o arquivo \*.xlsx em *shapefile*, para então iniciar a interpolação dos dados de precipitação. O método de interpolação utilizado foi o IDW (*Inverse Distance Weighting* - Distância Inversa Ponderada), que segundo Varella e Sena (2008, p.14) e Watson e Philip (*apud* ARCGIS, 2013) consiste em multiplicar os valores dos dados de precipitação pelo inverso das suas distâncias ao ponto de referência. Varella e Sena (2008, p.14) complementam afirmando que o modelo se baseia na dependência espacial, ou seja, quanto mais próxima uma estação da outra, maior será a correlação entre seus dados.

Segundo Varella e Sena (2008, p.15) a Distância Inversa Ponderada entre os dados das amostras pode ser calculada utilizando a equação abaixo:

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i} z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i}} \quad \text{Eq. 1}$$

onde Z são os valores estimados; n é o número de amostras, z<sub>i</sub> são os valores conhecidos e d<sub>i</sub> é a distância entre os valores conhecidos e estimados.

A Figura 19 apresenta o regime de precipitação anual para o oeste do município de Francisco Beltrão (PR), assim como para a Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze.



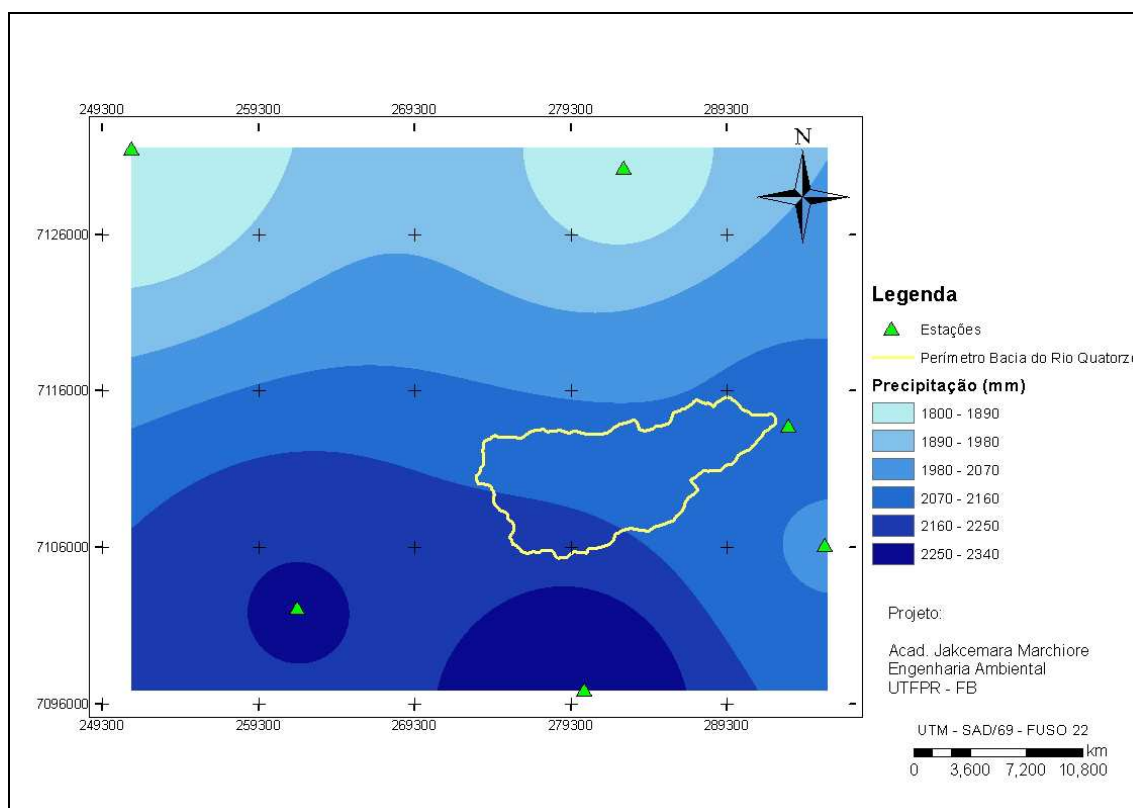


Figura 19 - Regime Pluviométrico do ano de 2011 para o Oeste do Município de Francisco Beltrão (PR).

Fonte: Autoria própria.

#### 4.10 Simulação com o modelo hidrológico - SWAT

Antes de iniciar o processo de entrada de dados no modelo fez-se necessário editar o banco de dados da classificação dos tipos de solo do programa. Para que isto fosse possível adotou-se apenas o primeiro nível categórico da classificação do solo realizada pela Embrapa, visando assim a utilização dos parâmetros proposto por Baldissera (2005, p.74) e Lino (2009, p.92).

Os parâmetros adotados na edição do banco de dados da classificação dos tipos de solo são apresentados na Tabela 7, onde cada sigla representa:

NLAYERS	Número de horizontes
HYDGRP	Grupo hidrológico
SOL_ZMX	Profundidade total (mm)
ANION_EXCL	Fração de porosidade (decimal)
SOL_Z1	Profundidade da camada (cm)
SOL_BD1	Densidade ( $\text{gcm}^3$ )
SOL_AWC1	Capacidade de água disponível ( $\text{mm}_{\text{água}} \cdot \text{mm}_{\text{solo}}$ )
SOL_K1	Condutividade hidráulica saturada (mm/h)
SOL_CBN1	Conteúdo de carbono orgânico (% do peso do solo)
CLAY1	Argila (%)

SILT1	Silte (%)
SAND1	Areia (%)
ROCK1	Cascalho (%)
SOL_ALB1	Albedo do solo úmido (decimal)
USLE_K1	Fator erodibilidade do solo (t.h/MJ.mm)
SOL_EC1	Condutividade elétrica (dS/m)

Tabela 7 - Parâmetros de entrada para a base de dados do modelo SWAT.

Parâmetro	Latossolo	Neossolo	Nitossolo
NLAYERS	3	2	2
HYDGRP	C	C	C
SOL_ZMX	1.500	800	180
ANION_EXCL	0,38	0,4	0,4
SOL_Z1	360	50	30
SOL_BD1	1,5	1,6	1,3
SOL_AWC1	0,3	0,15	0,2311
SOL_K1	12,5	12,5	1,3
SOL_CBN1	1,1	0,4	0,4
CLAY1	30,3	17,2	65
SILT1	16	29,4	32
SAND1	53,7	53,4	3
ROCK1	0	0	0
SOL_ALB1	0,15	0,15	0,15
USLE_K1	0,13	0,17	0,1225
SOL_EC1	0	0	0
SOL_Z2	760	300	180
SOL_BD2	1,7	1,6	1,3
SOL_AWC2	0,3	0,15	0,1393
SOL_K2	12,5	12,5	1,3
SOL_CBN2	0,2	0,6	0,4
CLAY2	29,8	24,7	76
SILT2	14,3	25,6	31
SAND2	55,9	49,7	3
ROCK2	0	0	0
SOL_ALB2	0,15	0,15	0,10
USLE_K2	0,14	0,16	0,1225
SOL_EC2	0	0	0
SOL_Z3	1.210	-	-
SOL_BD3	1,7	-	-
SOL_AWC3	0,4	-	-
SOL_K3	12,5	-	-
SOL_CBN3	0,5	-	-
CLAY3	29,5	-	-
SILT3	13,8	-	-
SAND3	56,7	-	-
ROCK3	0	-	-
SOL_ALB3	0,15	-	-
USLE_K3	0,14	-	-
SOL_EC3	0	-	-

Fonte: Adaptado de Baldissera (2005, p.74) e Lino (2009, p.92-93).

Segundo NRCS (2007 *apud* LINO, 2009, p.55) os grupos hidrológicos de solo são divididos de acordo com suas características de infiltração, em quatro grandes categorias (A, B, C e D) conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Características dos grupos hidrológicos dos solos.

Grupos hidrológicos	Características
A	Pouco potencial de escoamento superficial. O solo apresenta alta taxa de infiltração quando está completamente úmido e alta taxa de transmissividade da água. O solo é composto por menos que 10% de argila e mais que 90% de areia ou cascalho.
B	O solo tem moderada taxa de infiltração quando completamente úmido e moderada taxa de transmissividade da água. O solo apresenta argila variando entre 10 e 20% e areia variando entre 50 e 90%.
C	O solo tem baixa taxa de infiltração quando completamente úmido e baixa taxa de transmissividade da água. O solo apresenta argila variando entre 20 e 40% e areia menos que 50%.
D	Alto potencial de escoamento superficial. O solo apresenta taxa de infiltração muito baixa quando completamente úmido o que torna o movimento da água no solo restrito ou muito restrito e apresenta taxa de transmissividade da água muito baixa. O solo é constituído com mais de 40% de argila e menos que 50% de areia.

Fonte: Adaptado de NRCS (2007 *apud* LINO, 2009, p.55).

Bortolotto (2011, p.7) complementa mencionando que a classificação dos grupos hidrológicos dos solos, indica a partir das características de infiltração, qual o potencial de geração de escoamento superficial.

Outro item editado no banco de dados de tipo de solo foi a textura, onde todos os solos foram classificadas como do tipo silte argiloso (SILT LOAM), que segundo Leyton (2012, p.144) é definido pelo código SIL-SICL-SC-WB.

Após edição do banco de dados dos tipos de solo, iniciou-se o processo de entrada de dados e simulação, adotando a seguinte sequência:

- Discretização da Bacia;
- Definição das Unidades de Resposta Hidrológica;
- Entrada de dados climáticos e
- Simulação.

O processo de discretização da Bacia hidrográfica deu-se por meio do modelo digital de elevação do terreno anteriormente gerado. O mapa foi anexado á base de dados, sendo então definido automaticamente com base na elevação do terreno, o divisor de águas da bacia, a direção do fluxo acumulado e os exutórios das sub-bacias.

Para uma melhor distribuição das sub-bacias foi editado manualmente os exutórios, tomando como base a ramificação da bacia principal, obtendo-se desta forma 18 sub-bacias, conforme apresentado na Figura 20.

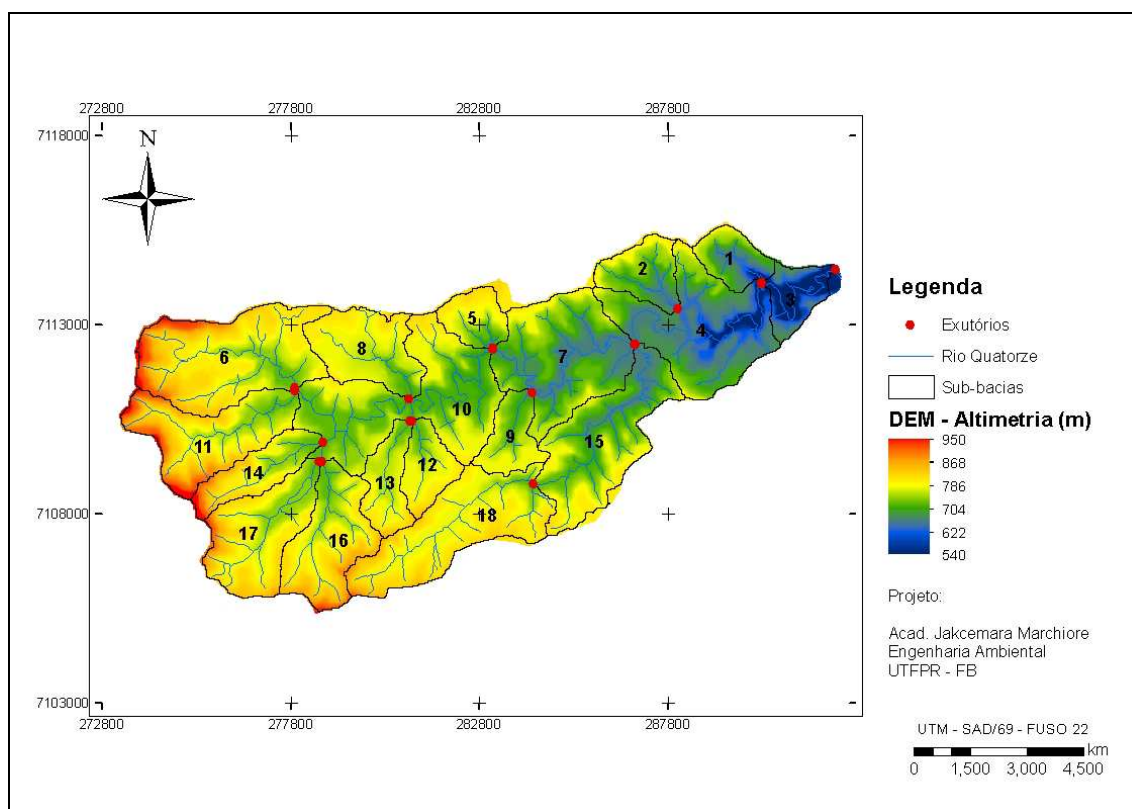


Figura 20 - Sub-bacias do Rio Quatorze e seus respectivos exutórios.

Fonte: Autoria própria.

Realizada a discretização da bacia, procedeu-se a definição das unidades de resposta hidrológica (*Hydrologic Response Units - HRU's*), que segundo Castro (2013, p.54) e Bonumá *et. al.* (2009, p.2) podem ser definidas como partes de uma sub-bacia que possuem uma combinação exclusiva do relevo, tipo de solos e uso da terra. Segundo Gassman *et. al.* (2007 *apud* ANDRADE; MELLO; BESKOW, 2012, p. 71-72) subdividir a bacia em área com combinações exclusivas, possibilita o modelo identificar diferenças na evapotranspiração e em outras condições hidrológicas, fornecendo maior precisão á simulação.

Desta forma para a definição das HRU's, fez-se necessário reclassificar o uso e tipos do solo, adequando estes ao banco de dados existente no programa. Como o banco de dados do SWAT foi criado em relação às culturas empregadas na América do Norte, adotou-se culturas com características semelhantes às existentes no Brasil, a fim de representar melhor a realidade da Bacia em estudo. Assim, a reclassificação do

uso e ocupação do solo deu-se pela associação das classes conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Classes de uso e ocupação do solo do banco de dados do SWAT associadas à Bacia do Rio Quatorze.

<b>Uso e ocupação da Bacia do Rio Quatorze</b>	<b>Classe associada no banco de dados do SWAT</b>
Água	WATR
Solo exposto	RANGE-BRUSH
Vegetação	FRST
Pastagem	AGRL
Urbanização	URLD

Fonte: Autoria própria.

A classe água foi associada à mesma classe também existente no banco de dados do SWAT. Já a classe solo exposto foi associada à classe RANGE-BRUSH, caracterizada por apresentar vegetação esparsa com predomínio de arbustos, assemelhando-se a caatinga. Para a classe vegetação, foi escolhida a associação com a classe FRST, caracterizada por floresta mista. O uso de solo do tipo Pastagem foi associado à classe AGRL, representando a agricultura em geral. Por fim, para a classe Urbanização foi escolhido à associação com a classe URLD, sinônimo de urbanização de baixa densidade.

O mapa de reclassificação do uso e ocupação do solo da Bacia hidrográfica do Rio Quatorze - Francisco Beltrão (PR) é apresentado na Figura 21.

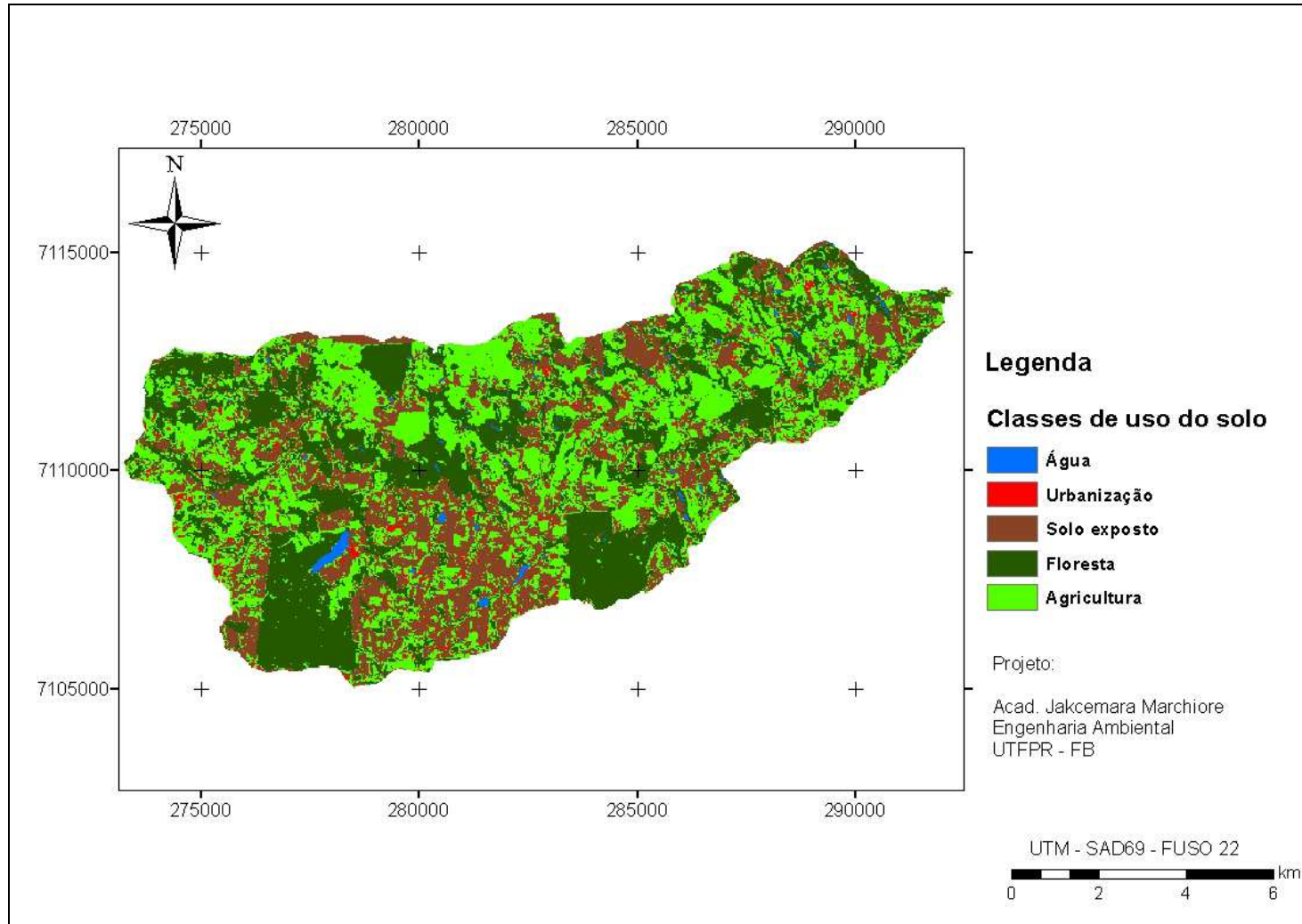


Figura 21 - Mapa de Uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze.  
Fonte: Autoria própria.

A Tabela 10 apresenta as classes de uso e ocupação do solo e suas respectivas áreas (ha) e porcentagens que cada uso ocupa na Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze.

Tabela 10 - Usos do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze.

<b>Usos do Solo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
Água - WATR	82,36	0,79
Solo exposto - RNGB	3.016,20	29,00
Vegetação - FRST	3.435,44	33,02
Pastagem - AGRL	3.722,66	35,79
Urbanização - URLD	145,54	1,40
<b>Total</b>	<b>10.402,20</b>	<b>100</b>

Fonte: Autoria própria.

Analisando a Tabela 10 observa-se que o uso predominante da bacia é de pastagem, representado aproximadamente 36% da área total, sendo seguido por vegetação (aproximadamente 33%) e por solo exposto (29%). As áreas com água e urbanização representam juntas aproximadamente 2% de toda a área ocupada, sendo representadas por 0,79% e 1,4%, respectivamente.

Terminada esta etapa procedeu-se para a reclassificação dos tipos de solo, onde cada classe do mapa de solos anteriormente gerado foi associada ao banco de dados previamente editado do SWAT. A Tabela 11 apresenta a associação das classes dos tipos de solo da Bacia do Rio Quatorze com o banco de dados do SWAT.

Tabela 11 - Classes dos tipos do solo do banco de dados do SWAT associadas à Bacia do Rio Quatorze.

<b>Tipos de solo da Bacia do Rio Quatorze</b>	<b>Classe associada no banco de dados do SWAT</b>
LVdf2	LATOSSOLO
LVdf8	LATOSSOLO
NVdf3	NITOSSOLO
NVdf6	NITOSSOLO
NVef4	NITOSSOLO
RRe9	NEOSSOLO

Fonte: Autoria própria.

O mapa de reclassificação dos tipos de solo da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze - Francisco Beltrão (PR) é apresentado na Figura 22.

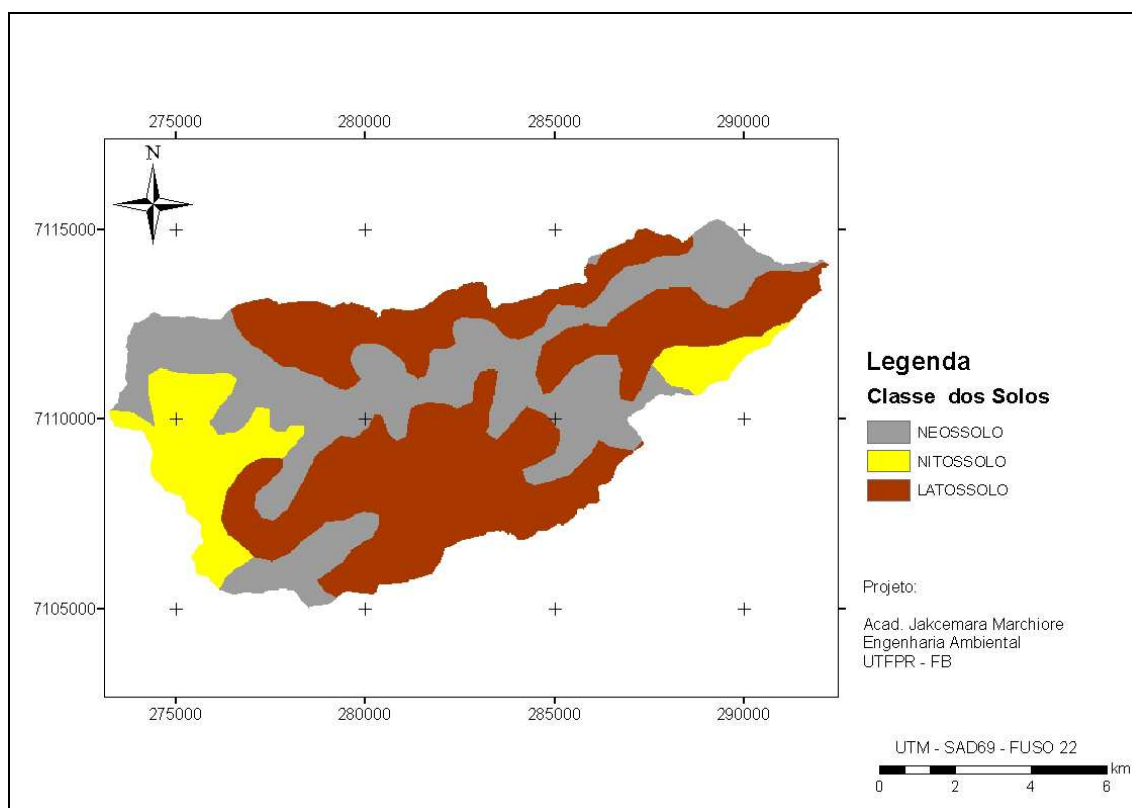


Figura 22 - Mapa dos tipos de solo da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze.

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 12 apresenta as áreas (ha) e as porcentagens que cada tipo de solo ocupa na bacia estudada.

Tabela 12- Classes de solo da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze.

<b>Classes de Solo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
LATOSSOLO	5.164,38	49,65
NEOSSOLO	3.889,08	37,39
NITOSSOLO	1.348,74	12,96
<b>Total</b>	<b>10.402,20</b>	<b>100</b>

Fonte: Autoria própria.

Pela Tabela 12 pode-se analisar a área total dos tipos de solo da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze, estando esta dividida em: LATOSSOLO, NEOSSOLO E NITOSSOLO. Como se observa, há predominância de LATOSSOLO, sendo este representante de aproximadamente 50% de toda a área ocupada pela bacia. O NEOSSOLO é o segundo tipo mais abrangente, sendo representado por aproximadamente 37% da área total ocupada. Já o NITOSSOLO aparece com aproximadamente 13%, perfazendo o restante da bacia.

Ainda nesta etapa foi classificado as declividades da bacia em estudo em 7 classes, variando estas entre 0 e 70%, conforme apresentado na Figura 23.



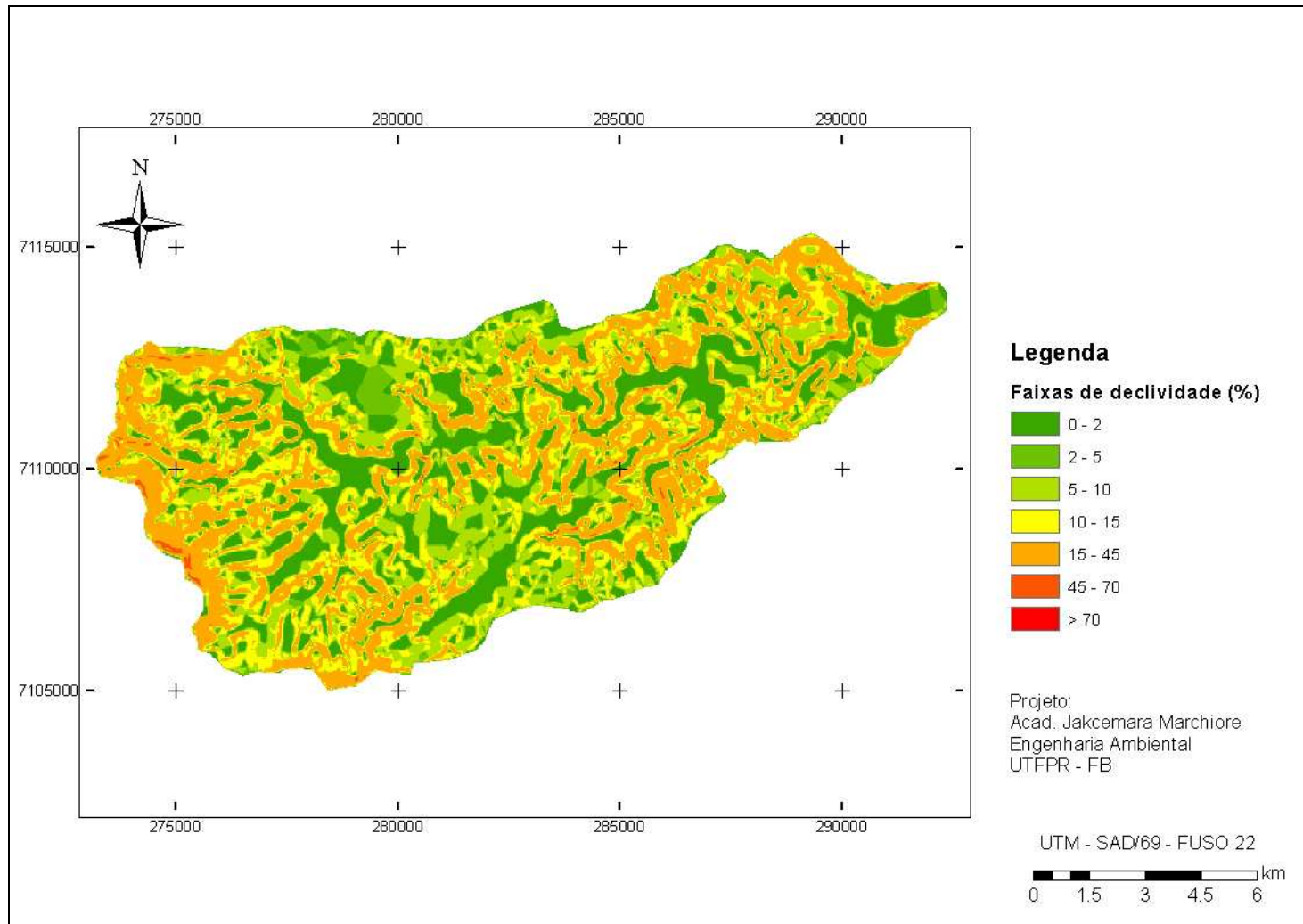


Figura 23 - Faixas de declividade da Bacia do Rio Quatorze - Francisco Beltrão (PR).  
Fonte: Autoria própria.

Terminada a definição das unidades de respostas hidrológicas, procedeu-se a entrada dos dados climáticos no modelo. Os dados requeridos são de ordem diária e foram previamente editados em arquivos \*.txt. A importação dos dados climáticos foi realizada por meio da ferramenta "*Weather Station*", sendo que os dados inseridos foram: precipitação, temperatura máxima e mínima, radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento. O período de abrangência dos dados climáticos utilizados foi de 01/01/2011 a 31/12/2011, totalizando um ano. Este período foi escolhido visando dar continuidade a estudos anteriormente desenvolvidos nesta bacia.

A Figura 24 apresenta os gráficos com o comportamento dos parâmetros climáticos de temperatura, velocidade do vento, umidade relativa do ar e radiação solar para o respectivo período.

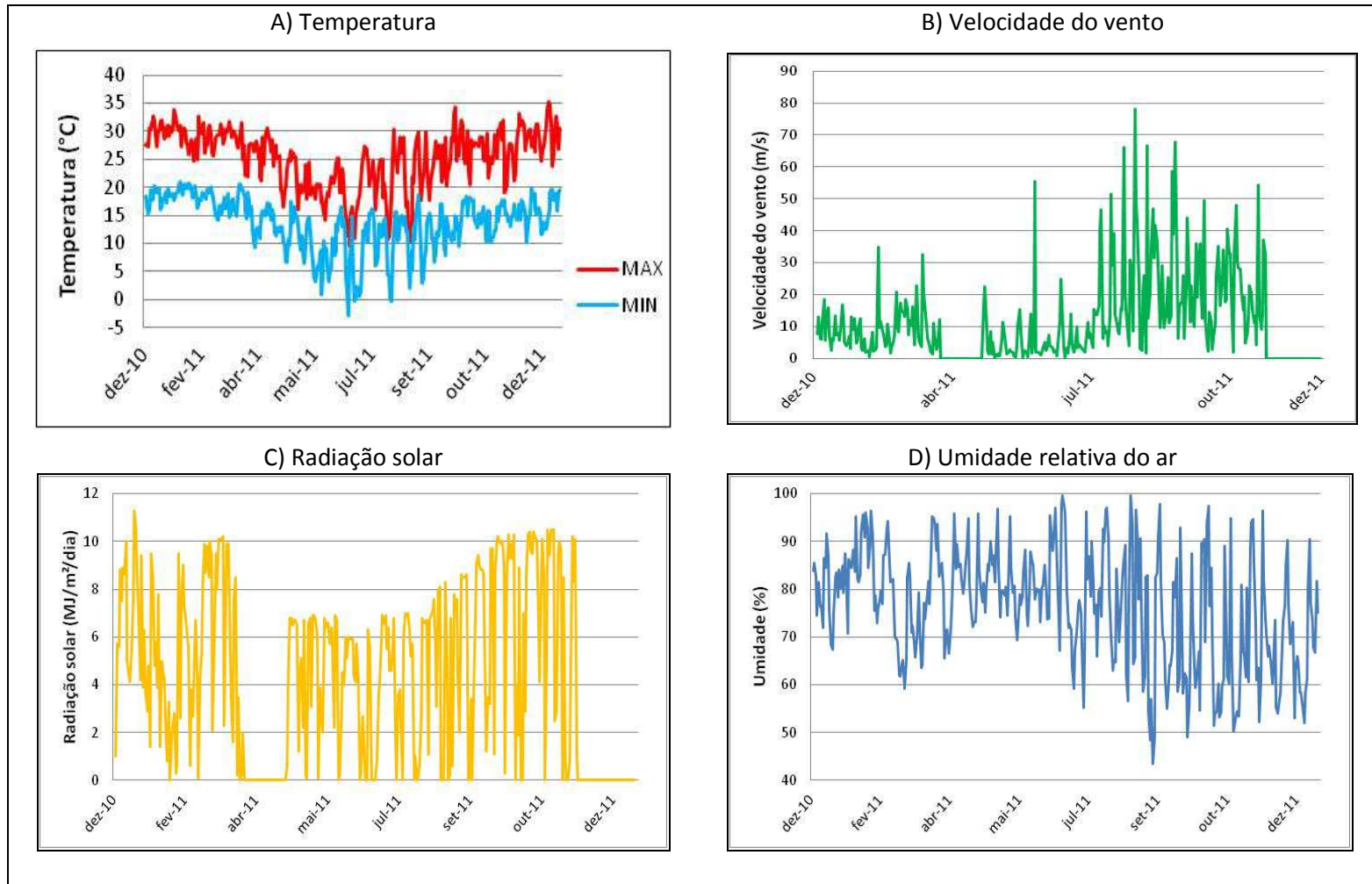


Figura 24 - Gráficos dos dados históricos climáticos. A) Temperatura; B) Velocidade do vento; C) Radiação solar; D) Umidade relativa do ar.  
Fonte: Autoria própria.

A última etapa do simulador constituiu na simulação do modelo hidrológico, sendo esta realizada por meio da ferramenta "Run SWAT". Segundo Lino (2009, p.52) a simulação hidrológica realizada por esse modelo é dividida em duas grandes fases: a fase terrestre e a fase de propagação do ciclo hidrológico.

A fase terrestre pode ser subdividida segundo Arnold *et. al.* (1998, p.75) em oito componentes: hidrologia, clima, sedimentos, temperatura do solo, crescimento vegetal, manejo agrícola, nutrientes e pesticidas. Já Lino (2009, p.52) divide a fase em apenas sete componentes, excluindo o item temperatura do solo.

A fase de propagação do ciclo hidrológico é subdividida segundo Lino (2009, p.52) em duas componentes: propagação do canal principal e propagação no reservatório. Como o intuito deste estudo foi simular a hidrossedimentologia da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze, abordou-se apenas às componentes hidrologia e sedimentos da fase da terra, sendo que as demais componentes podem ser encontradas em Neitsch *et. al.* (2002).

### **Hidrologia**

A componente hidrologia é a base para a simulação da produção de água superficial, sendo sua modelagem hidrológica regida pela equação do balanço hídrico (ARNOLD *et. al.*, 1998, p.75; NEITSCH *et. al.*, 2002, p.9; MARCHIORO, 2008, p.67; BONUMÁ, 2009, p. 2; LINO, 2009, p. 52-53; BORTOLOTTI, 2011, p.20; CASTRO, 2013, p.15), representada pela equação abaixo:

$$SW_t - SW_0 = \sum_{i=1}^t (R_i - Qs_i - ET_i - w_i - Qgw_i) \quad \text{Eq. 2}$$

onde,  $SW_t$  é a quantidade final de água no solo (mm);  $SW_0$  é a quantidade inicial de água no solo (mm);  $R_i$  é o total diário precipitado (mm);  $Qs_i$  é o total diário de escoamento superficial (mm);  $ET_i$  é o total diário de evapotranspirado (mm);  $w_i$  é o total diário percolado (mm) e  $Qgw_i$  é a vazão de retorno diária (mm).

O escoamento superficial é calculado por meio do método da Curva Número (CN - *Curve Number*). Segundo Rallison e Miller (1982 *apud* NEITSCH *et. al.*, 2002, p.94) este método foi desenvolvido na década de 1950, visando estimar o escoamento superficial de pequenas bacias rurais nos EUA, a partir dos mais variados tipos e usos do solo. A equação que rege o método da Curva Número mencionada por (ARNOLD *et. al.*, 1998, p.75; NEITSCH

*et. al.*, 2002, p.94; LINO, 2009, p. 54-55; BORTOLOTTI, 2011, p.21 e CASTRO, 2013, p.16) é dada por:

$$Q = \frac{(R-0,25)^2}{R+0,85} \quad \text{Eq. 3}$$

onde Q é o escoamento superficial diário (mm); R é a precipitação diária (mm) e S é o parâmetro de retenção de hidráulica que varia de acordo com a declividade, tipos, usos e manejo do solo. Segundo Arnold *et. al.* (1998, p.75), Neitsch *et. al.*(2002, p.94) e Bortolotto (2011, p.21) o parâmetro de retenção hidráulica é obtido por meio da relação com o número de deflúvio (CN), sendo expresso pela relação abaixo:

$$S = 254 \left( \frac{100}{CN} - 1 \right) \quad \text{Eq. 4}$$

onde CN (número de deflúvio) é um valor adimensional que variar entre 1 (cobertura muito permeável) e 100 (cobertura completamente impermeável), dependendo da umidade, tipos e usos do solo.

Segundo Marchioro (2008, p.72) e Bortolotto (2011, p.22) para o cálculo do CN, o modelo utiliza as definições de condição de umidade antecedente definidas pelo Serviço de Conservação do Solo (SCS), sendo CN1 – condições de solo seco (ponto de murcha), CN2 – condições de média umidade de solo e CN3 – condições de solo úmido (capacidade de campo). A curva número para as condições CN1 e CN3 é calculada pelo modelo a partir das equações abaixo, sendo a curva número para a condição CN2 tabelada no próprio banco de dados do programa.

$$CN1 = CN2 - \frac{20 \cdot (100 - CN2)}{100 - CN2 + \exp[2,593 - 0,0686 (100 - CN2)]} \quad \text{Eq. 5}$$

$$CN3 = CN2 \cdot \exp[0,00673 \cdot (100 - CN2)] \quad \text{Eq. 6}$$

Para cálculo da vazão de pico o modelo utiliza o Método Racional Modificado, que segundo Neitsch *et. al.*(2002, p.103-104) é amplamente utilizado na construção de valas, canais e sistemas de controle de águas pluviais. O mesmo ainda descreve vazão de pico como um indicador da capacidade erosiva, sendo muito usada para prever perdas de sedimento. A equação que rege o Método Racional Modificado é apresentada a seguir:

$$q_{peak} = \frac{C \cdot i \cdot A}{3,6} \quad \text{Eq. 7}$$

onde  $q_{peak}$  é a vazão de pico ( $m^3/s$ );  $C$  é o coeficiente de escoamento superficial;  $i$  é a intensidade de chuva ( $mm/h$ );  $A$  é a área das sub-bacias ( $km^2$ ) e 3,6 é um fator de conversão de unidades.

O coeficiente de escoamento superficial segundo Neitsch *et. al.*(2002, p.107) é obtido relacionando o escoamento superficial diário com a precipitação diária, conforme apresenta a equação abaixo:

$$C = \frac{Q}{R} \quad \text{Eq. 8}$$

onde  $C$  é o coeficiente de escoamento superficial (adimensional);  $Q$  é o escoamento superficial diário ( $mm$ ) e  $R$  é a precipitação diária ( $mm$ ).

### **Sedimentos**

A produção de sedimentos da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze foi estimada por meio da Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MUSLE – *Modified Uniserval Soil Loss Equation*). Esta equação segundo Lino (2009, p.64) é a versão modificada da Equação Universal de Perda de Solos (USLE – *Universal Soil Loss Equation*) desenvolvida por Wischmeier e Smith (1965, 1978), e tem como objetivo simular a erosão bruta e a produção de sedimentos a partir do escoamento superficial, representando assim a energia utilizada na desagregação e transporte de sedimentos. Segundo o mesmo autor a modificação na equação trouxe alguns benefícios, como eliminação da taxa de transporte, uso em eventos isolados e maior precisão no modelo.

A Equação Universal de Perda de Solo Modificada utilizada pelo modelo SWAT é apresentada pela equação a seguir:

$$sed = 11,8 \cdot (Q \cdot q_{peak} \cdot A)^{0,56} \cdot K \cdot C_{usle} \cdot P \cdot LS \cdot CRFG \quad \text{Eq. 9}$$

onde  $sed$  é a produção de sedimentos na bacia ( $t/dia$ );  $Q_{sup}$  é o escoamento superficial para a bacia ( $mm/ha$ );  $q_{peak}$  é a vazão de pico ( $m^3/s$ );  $A$  é a área da bacia ( $ha$ );  $K$  é o fator de erodibilidade do solo;  $C_{usle}$  é o fator de cobertura e manejo do solo (adimensional);  $P$  é o

fator de práticas conservacionistas (adimensional), LS é o fator de topografia (comprimento e inclinação da rampa) e CFRG é o fator de fragmento grosseiro (rochas).

O fator de erodibilidade do solo segundo Neitsch *et. al.* (2002, p.217) é determinado pela equação apresentada a seguir, desenvolvida por Wischmeier *et. al.* (1971).

$$K = \frac{0,00021.M^{1.44} \cdot (12 - OM) + 8,25 \cdot (C_{soilstr} - 2) + 2,5 \cdot (C_{perm} - 3)}{100} \quad \text{Eq. 10}$$

onde K é o fator de erodibilidade do solo; M é o parâmetro de tamanho das partículas; OM é a matéria orgânica (%);  $C_{soilstr}$  é o código da estrutura do solo e  $C_{perm}$  é a permeabilidade do perfil.

O parâmetro de tamanho das partículas segundo Neitsch *et. al.* (2002, p.217) é calculado pela equação abaixo:

$$M = (m_{silt} + m_{vfs}) \cdot (100 - m_c) \quad \text{Eq. 11}$$

onde  $m_{silt}$ ,  $m_{vfs}$  e  $m_c$  são os conteúdos de silte, de areia fina e de argila, dados em (%).

A porcentagem de matéria orgânica foi calculada pela equação apresentada por Neitsch *et. al.* (2002, p.217), apresentada a seguir:

$$OM = 1,72 \cdot orgC \quad \text{Eq. 12}$$

onde orgC é o conteúdo de carbono orgânico presente em cada camada de solo (%).

O código da estrutura do solo ( Tabela 13) e a permeabilidade do perfil (Tabela 14) são características tabeladas presentes no banco de dados do modelo SWAT.

Tabela 13 - Código da estrutura do solo ( $C_{soilstr}$ ).

$C_{soilstr}$	Definição para cada solo
1	Grãos muito finos
2	Grãos finos
3	Grãos médios ou grossos
4	Blocos, placas, prismáticos ou maciços.

Fonte: Adaptado de Neitsch *et. al.* (2002, p.118).

Tabela 14 - Permeabilidade do solo ( $C_{perm}$ ).

$C_{perm}$	Condutividade hidráulica saturada
1	Rápido (>150 mm/h)
2	Moderado a rápido (50-150 mm/h)
3	Moderado (15-50 mm/h)
4	Lento a moderado (5-15 mm/h)
5	Lento (1-5 mm/h)
6	Muito lento (< 1 mm/h)

Fonte: Adaptado de Neitsch *et. al.* (2002, p.119).

O fator de cobertura e manejo do solo é definido segundo Lino (2009, p.66) como a taxa de perda de solo durante o ciclo de crescimento da planta, sendo determinado pela equação a seguir:

$$c_{usle} = \exp\{[\ln(0,8) - \ln(C_{uslemin})] \cdot \exp[-0,00115 \cdot rsd_{surf}] + \ln[C_{uslemin}]\} \quad \text{Eq. 13}$$

onde  $C_{usle}$  é o fator de cobertura e manejo do solo;  $C_{uslemin}$  é o valor mínimo para o fator e  $rsd_{surf}$  é a quantidade de resíduo na superfície do solo (kg/ha). O valor mínimo do fator de cobertura é obtido pela equação apresentada abaixo:

$$c_{uslemin} = 1,463 \cdot \ln(C_{usleaa}) + 0,1034 \quad \text{Eq. 14}$$

onde  $C_{usleaa}$  é o fator médio anual de cobertura e manejo do solo.

Segundo Wischmeier e Smith (1978, p.34) o fator de práticas conservacionistas, expressa a relação entre a intensidade de perdas de solo quando uma prática conservacionista é empregada, e quando a cultura está plantada no sentido do declive. A Tabela 15 apresenta a relação entre as declividades do terreno e os valores do fator prática conservacionista utilizados pelo modelo.

Tabela 15 - Fator prática conservacionista (P)

Declividade do solo (%)	P
1 a 2	0,60
3 a 5	0,50
6 a 8	0,50
9 a 12	0,60
13 a 16	0,70
17 a 20	0,80
21 a 25	0,90

Fonte: Adaptado de Wischmeier e Smith (1978, p.35)



O fator comprimento e inclinação da rampa (fator topografia) segundo Marchioro (2008, p.80), é calculado pelo modelo hidrológico SWAT utilizando a equação apresentada abaixo:

$$LS = \left(\frac{L}{22,1}\right)^m \cdot (65,41 \cdot \text{sen}^2(\alpha) + 4,56 \cdot \text{sen } \alpha + 0,065) \quad \text{Eq. 15}$$

onde L é o comprimento da encosta (mm); m é o fator exponencial e  $\alpha$  é o ângulo da declividade da encosta (°). O termo exponencial é calculado pela equação a seguir:

$$m = 0,6 \cdot (1 - \exp[-35,835 \cdot \text{slp}]) \quad \text{Eq. 16}$$

onde slp é a declividade da unidade de resposta hidrológica (m/m).

Para finalizar, o modelo hidrológico SWAT calcula o fator de fragmento grosseiro do solo utilizando a equação apresentada abaixo.

$$CFRG = \exp(-0,053 \cdot \text{rock}) \quad \text{Eq. 17}$$

onde rock é a quantidade de cascalho presente na primeira camada do solo (%).

#### 4.11 Calibração do modelo

Segundo Bravo *et. al.* (2007, p.5) a calibração consiste em uma técnica de otimização dos parâmetros do modelo hidrológico, buscando adequar os dados simulados com os dados reais. Esta técnica pode ser realizada de forma manual, pelo próprio modelador, ou automática, utilizando *softwares* complementares.

A calibração manual segundo Bravo *et. al.* (2007, p.6) é um processo moroso, que exige muito tempo e experiência do usuário, a qual é adquirida somente com anos de experiência. A principal deficiência deste tipo de calibração é a falta de dados reais para a comparação com os dados simulados. Já a calibração automática é considerada um processo rápido e eficiente, exigindo apenas um algoritmo de otimização e dados observados de vazão (Bravo *et. al.*, 2007, p.8).

Segundo Marchioro (2008, p.166) para a calibração do modelo SWAT, é necessário um banco de dados climático, vazão e concentração de sólidos em suspensão monitorados por um período de no mínimo 5 a 10 anos, visando assim minimizar os erros durante a calibração.

Bonumá (2009, p.3) menciona que o modelo hidrológico SWAT foi criado para simular a hidrossedimentologia de bacias norte-americanas, necessitando de pouca ou mesmo nenhuma calibração. Já quando o modelo é aplicado em regiões com poucos dados e com características de solo, clima e manejo diferentes do banco de dados, faz-se necessário calibrar os parâmetros para obter melhores resultados. Arnold *et. al.* (1998, p.74-75) complementa afirmando que caso não existam informações de qualidade disponíveis para a calibração, deve-se dispensar esta etapa, pois esta não é requerida pelo modelo para realizar a simulação.

Uzeika (2009, p.115) e Castro (2013, p.14) afirmam em seus estudos que o modelo SWAT sem calibração apresentou um bom desempenho na estimativa do escoamento superficial, vazões líquidas e evapotranspiração. Já na simulação de produção de sedimentos não obtiveram resultados satisfatórios, pois os valores simulados foram subestimados.

Desta forma, para realizar a simulação hidrossedimentológica da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze - Francisco Beltrão (PR) foi dispensada a calibração do modelo, devido a bacia não ser instrumentada, faltando dados monitorados de vazão pelo período mínimo requerido.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado da simulação obteve-se a distribuição espacial do tipo e uso do solo, do escoamento superficial anual e da produção anual de sedimentos das 18 sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze - Francisco Beltrão (PR).

A Tabela 16 apresenta a distribuição das classes de uso e ocupação do solo, assim como as classes de tipos de solos segundo a classificação da Embrapa, para cada sub-bacia do Rio Quatorze, simuladas pelo modelo hidrológico SWAT.

Tabela 16 - Tipo e uso do solo para cada sub-bacia do Rio Quatorze.

Sub-bacias	Uso do solo (%)					Tipo de solo
	Água	Solo exposto	Floresta	Agricultura	Urbanização	
1	1.26	19.86	38.85	36.58	3.45	NEOSSOLO
2	0.74	22.37	30.28	44.70	1.91	LATOSSOLO
3	1.12	37.13	26.79	34.49	0.46	LATOSSOLO
4	0.93	26.13	27.08	44.35	1.50	LATOSSOLO
5	0.91	32.89	15.52	49.44	1.24	LATOSSOLO
6	0.27	21.58	38.89	38.44	0.82	NEOSSOLO
7	0.42	30.32	25.38	42.81	1.08	NEOSSOLO
8	0.43	15.27	37.60	46.27	0.43	LATOSSOLO
9	0.04	30.57	23.23	44.51	1.66	LATOSSOLO
10	0.55	24.12	35.65	38.63	1.04	NEOSSOLO
11	0.26	30.08	26.68	40.47	2.51	NITOSSOLO
12	0.57	53.94	17.01	26.25	2.23	LATOSSOLO
13	1.58	53.20	14.80	27.67	2.75	LATOSSOLO
14	0.05	27.32	34.78	35.72	2.13	NITOSSOLO
15	0.80	25.13	40.97	32.53	0.56	NEOSSOLO
16	0.04	34.25	37.47	26.48	1.76	NEOSSOLO
17	3.72	24.88	56.58	13.94	0.88	LATOSSOLO
18	1.03	42.46	29.52	25.04	1.96	LATOSSOLO

Fonte: Autoria própria.

O uso e ocupação do solo está dividido em cinco classes, sendo estas: água, solo exposto, floresta, agricultura e urbanização. Para as sub-bacias 3, 12, 13 e 18 a classe de uso e ocupação do solo que predomina é o solo exposto, representando 37,13%, 53,94%, 53,20% e 42,46%, respectivamente. Já para as sub-bacias 1, 6, 15, 16 e 17, a classe predominante é floresta, representando 38,85%, 38,89%, 40,97%, 37,47% e 56,58%, respectivamente. As sub-bacias 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11 e 14 são ocupadas em sua grande maioria pela classe agricultura, sendo representadas por 44,70%, 44,35%, 49,44%, 42,81%, 46,27%, 44,51%, 38,63%, 40,47% e 35,72%, respectivamente.

As classes água e urbanização não predominaram em nenhuma das sub-bacias sendo representadas por no máximo 1,58%, na sub-bacia 13 e 3,45%, na sub-bacia1, respectivamente.

Com relação à classificação dos tipos de solo, a classe que apareceu com maior frequência foi o LATOSSOLO, representando cerca de 56% de toda a Bacia do Rio Quatorze. As sub-bacias que apresentaram predomínio da classe do tipo LATOSSOLO foram: 2, 3, 4, 5, 8, 9, 12, 13, 17 e 18. Já a classe de solo do tipo NEOSSOLO foi a segunda com maior frequência, representando cerca de 33% de toda a bacia. As sub-bacias que compuseram esta classe de tipo de solo foram: 1, 6, 7, 10, 15 e 16. A classe de solo do tipo NITOSSOLO predomina apenas as sub-bacias 11 e 14, representando cerca de 11% da bacia total.

A Figura 25 apresenta a distribuição espacial do escoamento superficial (mm) produzido no ano de 2011 nas sub-bacias do Rio Quatorze.

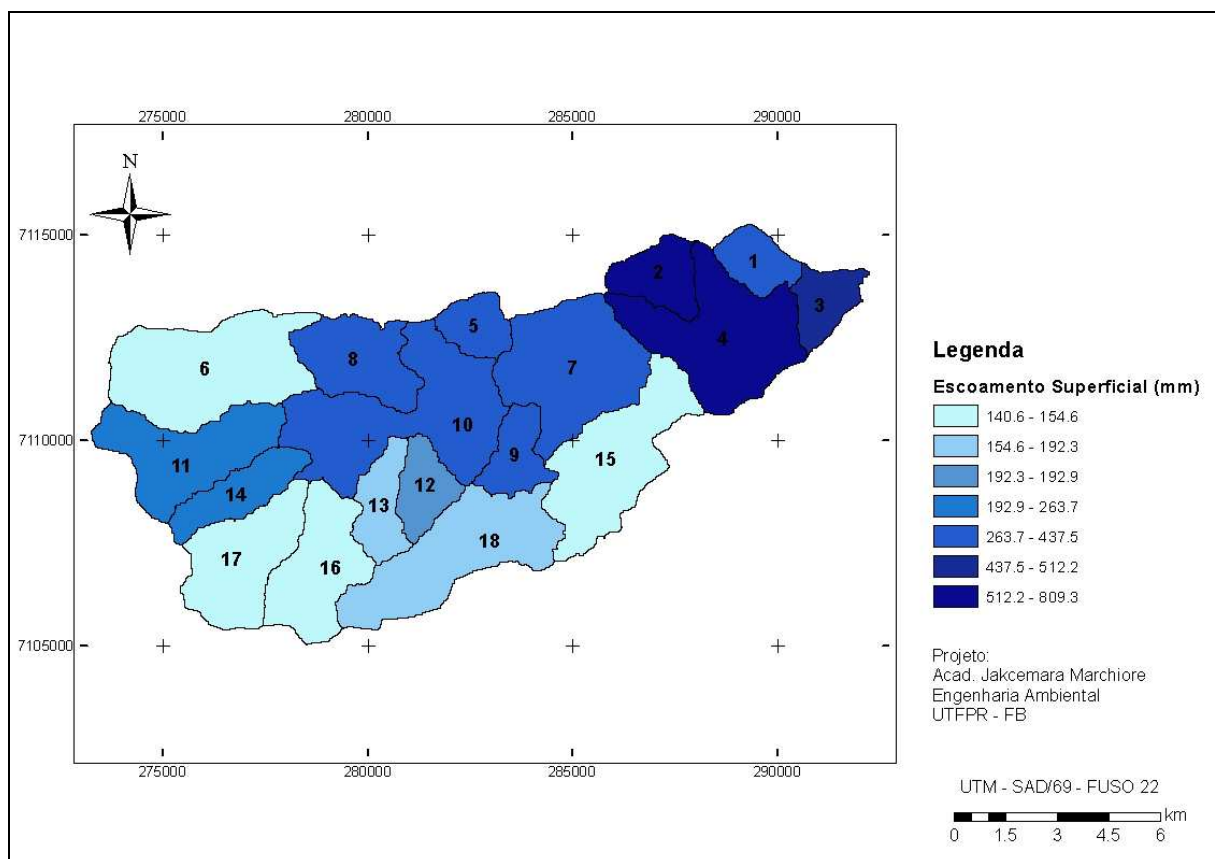


Figura 25 - Distribuição espacial do escoamento superficial das sub-bacias do Rio Quatorze para o ano de 2011.

Fonte: Autoria própria.

O escoamento superficial simulado pelo SWAT para a Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze variou de 140,6 a 809,3 mm durante o ano de 2011. As sub-bacias que

apresentaram maior escoamento superficial foram a 2 e a 4, variando de 512,2 a 809,3 mm por ano. Este elevado escoamento superficial pode ser explicado pelo fato do solo das sub-bacias serem do tipo LATOSSOLO e o uso e ocupação predominante nestas áreas ser a agricultura. Segundo Ruthes, Tomazoni e Gomes (2012, p.4-5) solos com textura argilosa ou muito argilosa como os LATOSSOLOS, tendem a uma maior agregação das partículas causando selagem da cobertura do solo, o que diminui a capacidade de infiltração e consequentemente aumenta o escoamento superficial. O uso do solo pela agricultura pode influenciar no aumento do escoamento superficial, devido à aplicação de práticas inadequadas de manejo durante a preparação para o cultivo (LEPSCH, 2010, p.195).

As sub-bacias 6, 15, 16 e 17 apresentaram os menores valores de escoamento superficial variando de 140,6 a 154,6 mm. Isto pode ser evidenciado visto que a cobertura do solo predominante nestas sub-bacias pertence à classe floresta, incluindo desde áreas de reflorestamento até mesmo remanescentes da Mata Atlântica.

A sub-bacia 3 apresentou escoamento superficial diferencial, sendo a única com variação estimada entre 437,5 e 512,2 mm. Esta sub-bacia está localizada na foz da Bacia do Rio Quatorze, recebendo todo o escoamento superficial gerado. O tipo de solo predominante nesta sub-bacia é o LATOSSOLO, sendo seu uso classificado como solo exposto, devido ao seu recente processo de urbanização. As sub-bacias 12, 13 e 18 apresentaram as mesmas características do solo da sub-bacia 3, sendo diferenciadas desta apenas pelo escoamento superficial, que varia de 154,6 a 192,9 mm.

As sub-bacias 11 e 14 apresentaram escoamento superficial variando entre 192,9 e 263,7 mm, tendo o uso do solo classificado como predomínio de agricultura. Estas sub-bacias possuem como característica diferencial o tipo de solo predominante, sendo as únicas representantes do NITOSSOLO.

As outras sub-bacias encontram-se classificadas quanto ao escoamento superficial na faixa que varia de 263,7 a 437,5 mm. Estas sub-bacias apresentam uso do solo com predomínio agrícola (excetuando a sub-bacia 1 que é floresta), diferenciando-se pelo tipo de solo dominante, sendo estes representados por LATOSSOLO (sub-bacias 5, 8 e 9) e NEOSSOLO (sub-bacias 1,7 e 10).

A Figura 26 apresenta a distribuição espacial da produção de sedimentos (t/ha) nas sub-bacias do Rio Quatorze - Francisco Beltrão (PR), no ano de 2011.

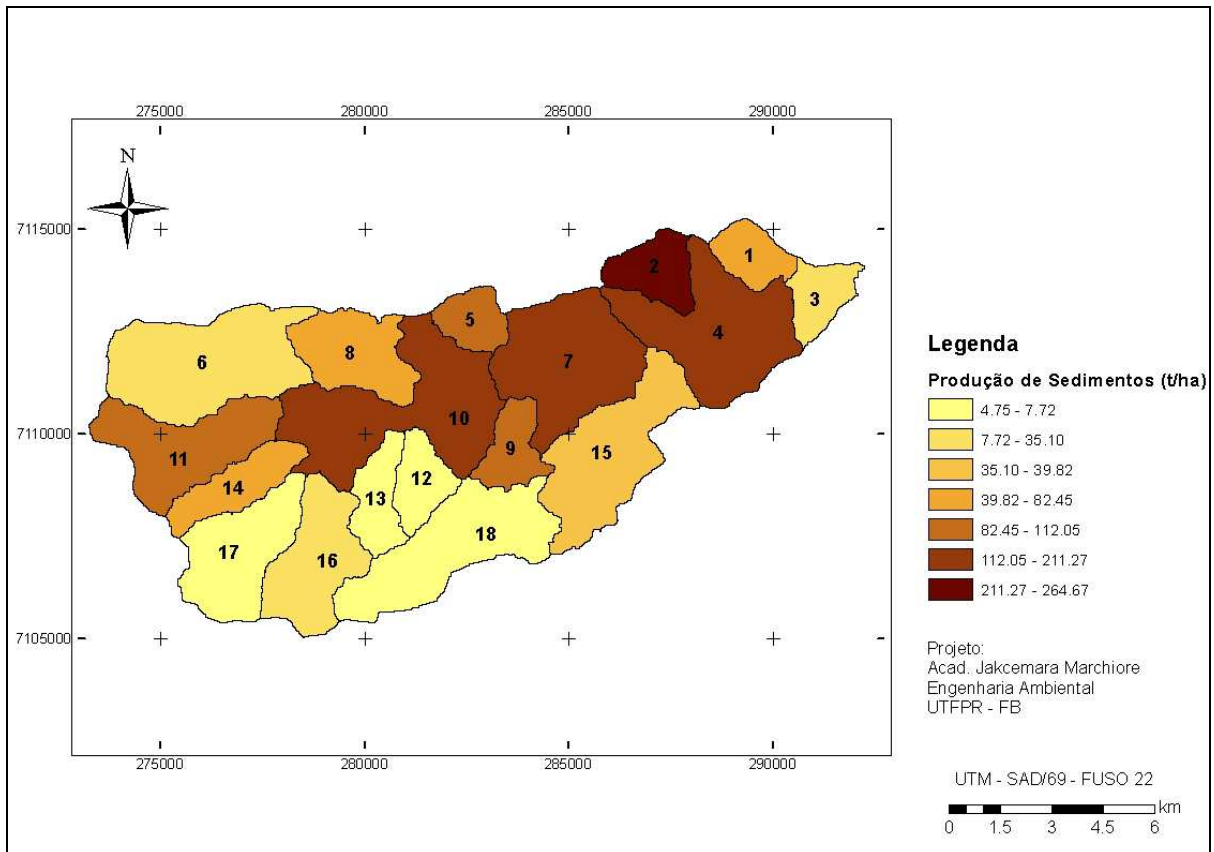


Figura 26 - Distribuição espacial da produção de sedimento nas sub-bacias do Rio Quatorze para o ano de 2011.

Fonte: Autoria própria.

A produção de sedimentos simulada pelo SWAT variou de 4,75 a 264,67 t/ha durante o ano de 2011. A sub-bacia 2 apresentou a maior produção de sedimentos durante o período simulado, fato este que pode ter ocorrido devido seu elevado escoamento superficial, que segundo Pruski (2009 *apud* BORTOLOTTI, 2009, p.57) favorece o desprendimento das partículas do solo por meio de tensões cisalhantes. A falta de cobertura vegetal densa (uso agrícola) segundo Bortolotto (2009, p.57-58) pode colaborar com este processo, diminuindo a resistência da passagem da água, e conseqüentemente reduzindo a infiltração.

As sub-bacias 12, 13, 17 e 18 apresentaram os menores valores de produção de sedimentos, variando na faixa de 4,75 a 7,72 t/ha. Este fato pode ser explicado pelo baixo escoamento superficial que varia de 140,6 a 192,9 mm. O uso do solo para as sub-bacias 12, 13 e 18 foi classificado como solo exposto, no entanto esta classificação não influenciou de forma significativa a produção de sedimentos, pois a declividade do terreno nestas áreas varia entre 0 e 15% (terreno plano), sendo o tipo de solo classificado como LATOSSOLO. Já a

sub-bacia 17 apresenta predomínio de floresta, justificando de forma complementar a baixa produção de sedimentos.

Para as sub-bacias 4, 7 e 10 a produção de sedimentos variou de 112,05 a 211,27 t/ha, sendo a segunda faixa maior em produção. A cobertura do solo das sub-bacias 7 e 10 é predominada pela agricultura, o que juntamente com o escoamento superficial explica a alta produção de sedimentos. Já para a sub-bacia 4 os fatores de relevância na produção de sedimentos foram: a declividade que variou de 0 a 45% (plano a forte ondulado) e o elevado escoamento superficial (263,7 - 437,5 mm).

As sub-bacias 3, 6 e 16 apresentaram a segunda menor produção de sedimentos da bacia, variando entre 7,72 e 35,10 t/ha. Para as sub-bacias 6 e 16 este fato pode ser explicado pelo baixo escoamento superficial (140,6 - 154,6 mm), sendo que o mesmo não serve de regra para a sub-bacia 3, visto que sua produção de escoamento superficial é elevada, justificando-se assim pela baixa declividade do terreno (0 - 15%).

As outras sub-bacias apresentaram valores médios de produção de sedimentos, variando entre 35,10 e 112,05 t/ha. Para as sub-bacias 5, 8, 9, 11 e 14 este fato pode ser explicado pela combinação uso do solo agrícola e escoamento superficial médio, variando de 182,3 a 437,5%. Para as sub-bacias 1 e 15 a produção de sedimentos média pode ser justificada pela combinação de altas declividade e ocupação do solo com florestas.

A Figura 27 apresenta a relação entre os dados simulados de produção de sedimentos [t/ha] e escoamento superficial [mm] e os dados de precipitação [mm] observados.

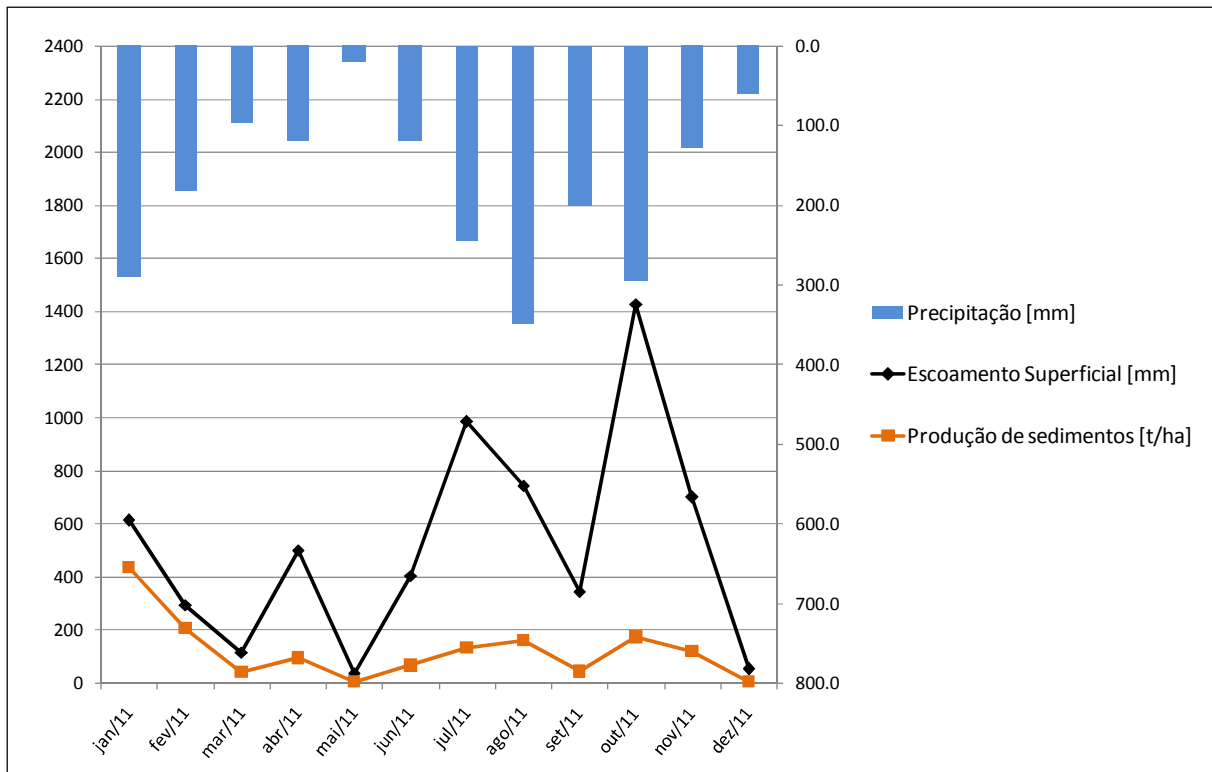


Figura 27 - Relação entre produção de sedimentos, escoamento superficial e precipitação.  
Fonte: Autoria própria.

Analisando a Figura 27 constata-se em geral o bom desempenho do modelo ao simular o escoamento superficial durante o ano de 2011, acompanhando os picos de precipitação. Cabe uma ressalva ao mês de agosto, onde o modelo simulou uma redução do escoamento superficial, sendo que a precipitação neste mês aumentou. Este fato pode ser justificado pela ausência de calibração e pela série de dados utilizada ser de apenas 1 ano. Já para os dados de produção de sedimentos, a simulação apresentou um ótimo desempenho, acompanhando todos os picos de precipitação.

Cabe ressaltar ainda que os dados de escoamento superficial e produção de sedimentos do mês de janeiro parece ter sido sub-estimado, fato que pode ser justificado pela série de dados históricos ter início em 01 de janeiro 2011, não havendo período de aquecimento, que segundo Collischonn (2001, p.106) nada mais é do que a atenuação dos efeitos das condições iniciais.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Visando avaliar a dinâmica espacial do escoamento superficial e da produção de sedimentos em relação aos diferentes usos e ocupações do solo, o presente estudo simulou por meio do modelo hidrológico SWAT a hidrossedimentologia da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze - Francisco Beltrão (PR). Com base nos resultados obtidos e nas condições em que foi realizado esse estudo, aferem-se as seguintes conclusões.

As classes de uso e ocupação do solo demonstraram estar influenciando quase que diretamente os processos hidrossedimentológicos da bacia em estudo, visto que as sub-bacias ocupadas em sua grande maioria por florestas apresentaram as menores produções de sedimentos e as sub-bacias em que o uso do solo é do tipo agrícola a produção foi elevada. A topografia do terreno também apresentou influência sobre a geração de sedimentos, sendo encontrados nas sub-bacias mais planas os menores valores de perdas de solo. A interação entre as características desses dois fatores influenciam na produção de escoamento superficial, o qual se relaciona diretamente com a produção de sedimentos.

O modelo hidrológico computacional SWAT permitiu simular a hidrossedimentologia da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze, reproduzindo por meio dos mapas de escoamento superficial e produção de sedimentos, a geração e arraste das partículas de solo pelo impacto e escoamento da chuva durante o período estipulado. Apesar das restrições dos dados de entrada e da não calibração, o modelo demonstrou ser relativamente eficaz, permitindo relacionar os dados de topografia, uso e ocupação do solo, tipos de solo, escoamento superficial e produção de sedimentos.

A aplicação do modelo mesmo sem calibração visa apresentar soluções para o gerenciamento de bacias hidrográficas, possibilitando o apoio à tomada de decisão dos órgãos de gestão ambiental com relação ao processo de uso, ocupação e manejo inadequado do solo, reduzindo assim os impactos ambientais sobre os recursos hídricos.

## 7 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao final deste estudo hidrossedimentológico recomenda-se a sua continuidade, levando em conta os seguintes aspectos:

- Inserir períodos de precipitação anteriores ao ano que se deseja iniciar a simulação para realizar o aquecimento do modelo, evitando assim obter valores subestimados;
- Levantamento a campo de características dos solos com pelo menos 3 níveis categóricos da classificação da Embrapa (2006), visando a criação de um banco de dados de solo brasileiro;
- Monitoramento dos dados climáticos da Bacia do Rio Quatorze, por um período mínimo de 5 anos;
- Monitoramento da vazão e produção de sólidos suspensos na foz da Bacia do Rio Quatorze, para a calibração e validação do modelo;
- Calibração do modelo de forma manual e automática, utilizando o aplicativo acessório: SWAT-CUP;
- Repetição do estudo hidrossedimentológico, a fim de representar a realidade por meio da calibração e validação do modelo.

## REFERÊNCIAS

ANA, Agência Nacional de Águas. **Dados hidrológicos:** séries históricas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 05 jan. 2014.

AGUIAR, Wagner de. **Estimativa de taxas de denudação mecânica da bacia hidrográfica do Rio Quatorze (PR) pela análise de sólidos em suspensão.** 2012. 106 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Humanas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Francisco Beltrão, 2012.

ANDRADE, Márcio A.; MELLO, Carlos R.; BESKOW, Samuel. Simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica representativa dos Latossolos na região Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande, v.17, n.1, p. 69-76, out. 2012.

ARAUJO, Gustavo Henrique de Souza; ALMEIDA, Josimar Ribeiro de; GUERRA, Antonio José Teixeira. **Gestão ambiental de áreas degradadas.** 9.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013. 322p.

ARCGIS, Resource Center. **Professional Library:** IDW (Spatial Analyst). Disponível em: <<http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help./index.html#//009z0000006m000000.htm>>. Acesso em: 4 dez. 2013.

ARNOLD *et. al.*. Large area hydrologic modeling and assessment - Part I: model development. **Journal of the American water resources association.** Texas, v.34, n.1, p. 73-89, fev. 1998.

BERTONI, José; NETO, Francisco Lombardi. **Conservação do solo.** 6.ed. São Paulo: Ícone, 2008. 355p.

BONUMÁ, Nadia B. *et. al.*. **Simulação da produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica rural no sul do Brasil.** In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 32. Não paginado. Fortaleza, 2009. Disponível em: <[http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=25&Itemid=41](http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=25&Itemid=41)>. Acesso em: 24 jan. 2014.

BORTOLOTTO, Nadine L. **Avaliação hidrossedimentológica da Bacia do Rio Cunha, município de Rio Dos Cedros, Santa Catarina com o modelo SWAT.** 2011. Paginação irregular. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

BRADY, Nyle C.; WELL, Raymond R.. **The Nature and properties of soil.** 11.ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1996. 740p.

BRAVO, Juan M. *et al.*. **Avaliação visual e numérica da calibração do modelo hidrológico IPH II com fins educacionais**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 17. 20 p. São Paulo: ABRH, 2007. Disponível em: <[http://www.rhama.net/artigos\\_interna.asp?cat=4](http://www.rhama.net/artigos_interna.asp?cat=4)>. Acesso em: 29 jan. 2014.

CARVALHO, Newton de Oliveira. **Hidrossedimentologia prática**. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 599p.

CASTRO, Kássia B. de. **Avaliação do modelo SWAT na simulação da vazão em bacia agrícola do cerrado intensamente monitorada**. 2013. 122 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências Aplicadas (Geoprocessamento e Análise Ambiental), Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

CERVO, Amado L.; BERVIAN, Pedro A.; DA SILVA, Roberto. **Metodologia científica**. 6.ed. São Paulo: Pearson, 2012. 162p.

COLLISCHONN, Walter. **Simulação hidrológica de grandes bacias**. 2001. 270 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

DALEFFE, Ediane C. **Geoinformação aplicada no estudo ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Catorze**. 2010. In: Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, 15. , 2010, Curitiba. Anais do SICITE 2010. Curitiba: Editora da UTFPR, 2010. Disponível em: Disponível em:<<http://eventos.cp.utfpr.edu.br/index.php/sicite/2010/paper/downloadSuppFile/1118/773>>. Acesso em: 20 ago. 2013.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

FENDRICH, Roberto *et al.*. **Drenagem e controle da erosão urbana**. 4.ed. Curitiba: Champagnat, 1997. 486 p.

GALETI, Paulo Anestar. **Práticas de controle à erosão**. 1.ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1987. 278p.

GUERRA, Antonio José Teixeira; SILVA, Antonio Soares da; BOTELHO, Rosangela Garrido Machado. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 4.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. 340p.

IAPAR, Instituto Agrônomo do Paraná. **Cartas Climáticas do Paraná: Precipitação – Média anual**. 2012a. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=595>>. Acesso em: 19 ago. 2013.

\_\_\_\_\_. **Médias históricas** – Francisco Beltrão. 2012b. Disponível em: <[http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias\\_Historicas/Francisco\\_Beltrao.htm](http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Francisco_Beltrao.htm)>. Acesso em: 19 ago. 2013.

\_\_\_\_\_. Planilha contendo dados da estação meteorológica convencional de Francisco Beltrão. Mensagem recebida por <[sam@iapar.br](mailto:sam@iapar.br)> em 07 jan 2014.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Manual Técnico de Pedologia**. 2.ed. Rio de Janeiro, RJ. 2007. 316p.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Dados de satélites**: catálogo de imagens. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 11 nov. 2013.

IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Caderno estatístico**: Município de Francisco Beltrão. Paraná, 2013. 31 f.

ITCG, Instituto de Terras, Cartografia e Geociências. **Cartas topográficas**: cartas coloridas. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=51>>. Acesso em:

LEPSCH, Igo Fernando. **Formação e conservação dos solos**. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 216p.

LEYTON, Javier M. O. **Assessment of SWAT to enable development of watershed management plans for agricultural dominated systems under data-poor conditions**. 2012. 144 f. Dissertation (Doctor of Philosophy in Biological Systems Engineering) - Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 2012.

LINO, João F. de L. **Análise da dinâmica hidrossedimentológica da Bacia Hidrográfica do Rio Preto (SC) com o modelo SWAT**. 2009. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

LOPES, Eymar S. S., **SPRING Básico**: tutorial 10 aulas – SPRING 5.1. INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Ago2009.

LUZ, Constantino E. da. **Tendências granulométricas dos sedimentos de fundo no Rio Marrecas, Região Sudoeste do Paraná**. 2011. 76 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciências Humanas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Francisco Beltrão, 2011.

MARCHIORO, Eberval. **Modelagem hidrossedimentológica na bacia do córrego Santa Maria**: subsídios à aplicação de práticas de conservação de água e solo no noroeste Fluminense. 2008. 196 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

MARQUES, Paulo Jorge P. **Riscos de erosão do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze, Município de Francisco Beltrão – PR, por meio de geoprocessamento.** 2010. 54 f. Monografia (Especialização em Gestão de Defesa Agropecuária) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2010.

MINEROPAR, Minerais do Paraná S/A. **Projeto Riquezas Minerais: Avaliação do potencial e consultoria técnica no Município de Francisco Beltrão.** Curitiba, 2002, 66 p.

NEITSCH, S. L. *et. al.* **Soil and Water Assessment Tool:** theoretical documentation. Texas, 2002. 506 p.

RODRIGUES, Miriam F. **Monitoramento e modelagem dos processos hidrossedimentológicos em Bacias Hidrográficas florestais no Sul do Brasil.** 2011. 202 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

RUTHES, Juliane M.; TOMAZONI, Júlio C.; GOMES, Tayoná C. **Propriedades do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Catorze que contribuem no processo erosivo laminar.** In: Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, 17. 2012, Curitiba. Anais do SICITE 2012. Curitiba: Editora da UTFPR, 2012. Disponível em: <<http://conferencias.utfpr.edu.br/ocs/index.php/sicite/2012/paper/view/121>>. Acesso em: 06 ago. 2013.

SAVINI, John; KAMMERER, John.C. **Urban Growth and the Water Regimen.** United States Geological Survey publication, 1591A, 1961. A-43 p.

SILVA, Alexandre Marco da; SCHULZ, Harry Edmar; CAMARGO, Plínio Barbosa de Camargo. **Erosão e hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas.** 2.ed. São Carlos: RiMa, 2007. 158p.

SILVA, Michael P. da. *et. al.* **Geração de modelo digital de elevação e obtenção automática da hidrografia da bacia do rio Grande.** Notas de aula. Instituto de Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentável – Universidade Federal da Bahia. 2010.

SANTOS, Alexandre R. dos; LOUZADA, Franciane L. R. de O.; EUGÊNIO, Fernando C.. **ARCGIS 9.3 total:** aplicações para dados espaciais. 2.ed. Alegre, ES: CAUFES, 2010. 184p.

TOMAZONI, Julio Caetano *et. al.* **Banco de dados da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze.** Francisco Beltrão, 2010. 1 arquivo (5,86 GB); Mídia removível 8 GB.

TOMINAGA, Lídia Keiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosangela do. **Desastres naturais: conhecer para prevenir.** 1.ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196p.

TURRIONI, João Batista; MELLO, Carlos Henrique P. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção:** Estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas. UNIFEI – Universidade Federal de Itabira. 2012. Disponível em: <

[http://www.carlosmello.unifei.edu.br/Disciplinas/Mestrado/PCM-10/Apostila-Mestrado/Apostila\\_Metodologia\\_Completa\\_2012.pdf](http://www.carlosmello.unifei.edu.br/Disciplinas/Mestrado/PCM-10/Apostila-Mestrado/Apostila_Metodologia_Completa_2012.pdf) >. Acesso em: 30 ago. 2013.

UZEIKA, Talita. **Aplicabilidade do modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) na simulação da produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica rural**. 2009. 132 f. Dissertação (Mestrado em recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de pesquisas hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

VARELLA, Carlos A. A. e SENA, Darly G. J. **Estudo do interpolador IDW para utilização em agricultura de precisão**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008. 26 p.

WINCHELL, M. *et. al.*. **ArcSWAT interface for SWAT2012: user's guide**. Texas, 2013. 459 p.

WISCHMEIER, Walter H. e SMITH, Dwight D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Agriculture Handbook N° 537. Washington: U.S. Government Printing Office, 1978. 69 p.

**ANEXOS**



## ANEXO A - Precipitação diária do município de Ampére (PR) durante o ano de 2011.

Dia	Precipitação (mm)											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	0.0	4.6	0.0	0.0	12.8	0.0	56.9	47.3	0.0	0.0	0.0	1.2
2	4.4	9.5	0.0	3.1	0.0	0.0	2.6	8.9	0.0	13.2	0.0	0.0
3	0.3	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	9.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	4.1	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	10.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	9.1	0.0
7	0.0	5.2	0.0	0.0	0.0	34.3	0.0	0.0	15.2	0.0	2.3	0.0
8	0.0	38.6	0.0	0.0	0.0	5.4	0.0	0.0	40.6	0.0	0.0	4.4
9	0.2	20.1	0.0	0.0	0.0	7.2	0.0	33.3	46.9	43.8	0.0	26.4
10	0.0	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3	0.0	13.2
11	7.8	0.0	7.7	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0
12	14.0	45.4	75.7	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	1.3	43.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	81.5	8.0	0.0
14	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.6	22.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	48.4	17.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.8	0.0
16	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.9	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	6.1	0.0	0.0	13.6	0.0	0.4	62.2	8.7	0.7	0.0	0.0	0.0
19	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	76.3	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	21.8	8.9	0.0	0.0	0.0
21	0.2	0.0	0.0	50.1	0.0	0.0	48.2	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
22	0.6	0.0	0.0	0.4	0.0	7.9	2.7	3.3	0.0	0.0	54.7	0.0
23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	25.6	21.1	0.0	3.3	0.0
24	0.0	4.9	0.0	30.2	5.6	0.0	0.0	0.0	17.4	0.0	0.0	3.2
25	0.0	7.3	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.4	0.0	0.8
26	0.0	17.1	0.0	0.0	0.0	29.0	0.0	0.0	0.0	6.9	0.0	0.0
27	0.0	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28	0.0	0.0	26.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	51.9	-	29.8	0.0	0.0	2.1	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30	0.0	-	0.9	0.0	0.0	1.9	4.6	4.3	0.0	73.4	0.0	0.0
31	0.0	-	16.3	-	0.0	-	1.8	0.4	-	0.7	-	6.1

Fonte: Adaptado de ANA (2014).

## ANEXO B - Precipitação diária do município de Enéas Marques (PR) durante o ano de 2011.

Dia	Precipitação (mm)											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	0.0	0.0	0.0	0.0	14.1	0.0	74.9	67.4	0.0	0.0	0.0	0.0
2	12.1	56.7	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	5.6	0.0	21.7	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	2.1	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	20.9	0.0
7	0.0	21.3	0.0	0.0	0.0	26.7	0.0	0.0	16.1	0.0	0.0	0.0
8	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	9.8	0.0	0.0	36.9	0.0	0.0	9.2
9	5.3	14.3	0.0	0.0	0.0	8.6	0.0	26.3	54.3	35.1	0.0	8.2
10	0.0	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.7	0.0	0.0
11	24.7	0.0	9.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	0.0
12	27.9	26.3	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	19.8	52.2	19.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.8	4.2	0.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	40.3	16.9	0.0
15	0.0	0.0	0.0	29.1	20.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.1	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	85.3	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	35.8	0.0	0.0	0.0	0.0	99.9	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	21.3	6.5	0.0	0.0	0.0
21	0.0	0.0	0.0	34.1	0.0	0.0	37.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	5.4	8.5	0.0	0.0	56.5	0.0
23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	23.7	20.1	0.0	0.0	0.0
24	0.0	20.2	0.0	17.9	6.7	0.0	0.0	0.0	16.8	0.0	0.0	0.0
25	0.0	15.2	9.6	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	21.2	0.0	12.4
26	10.1	3.4	0.0	0.0	0.0	24.8	0.0	0.0	0.0	12.6	0.0	0.0
27	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28	26.3	5.5	14.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	15.2	-	12.6	0.0	0.0	0.0	0.0	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0
30	0.0	-	0.0	0.0	0.0	4.3	4.3	26.2	0.0	60.5	0.0	0.0
31	12.7	-	11.1	-	0.0	-	1.4	0.0	-	0.0	-	6.2

Fonte: Adaptado de ANA (2014).

## ANEXO C - Precipitação do município de Francisco Beltrão (PR) durante o ano de 2011.

Dia	Precipitação (mm)											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	0.0	0.0	0.0	0.0	16.0	0.0	40.6	*	*	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	16.0	0.0	0.0	*	*	*	20.0	0.0	0.0
3	44.8	13.6	0.0	0.0	0.0	0.0	*	*	*	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*	*	*	0.0	0.0	0.0
5	0.0	*	0.0	0.0	0.0	0.0	*	*	*	0.0	0.0	0.0
6	0.0	*	0.0	0.0	0.0	0.0	*	*	*	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.3	*	*	*	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.3	*	*	*	0.0	0.0	0.0
9	0.0	30.5	0.0	0.0	0.0	0.0	*	*	*	44.0	0.0	23.7
10	0.0	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	*	*	*	0.0	0.0	0.0
11	16.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	*	*	*	0.0	0.0	0.0
12	54.6	*	32.0	0.0	0.0	0.0	*	*	*	0.0	0.0	0.0
13	0.0	*	0.0	0.0	0.0	0.0	*	*	*	65.3	9.0	0.0
14	0.0	*	0.0	0.0	0.0	0.0	*	*	*	31.8	14.4	0.0
15	0.0	*	0.0	0.0	27.0	0.0	*	*	*	0.0	45.6	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*	*	*	0.0	20.2	0.0
17	0.0	0.0	0.0	33.4	0.0	0.0	*	*	*	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*	*	*	0.0	0.0	0.0
19	11.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*	*	*	0.0	0.0	0.0
20	10.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*	*	*	0.0	0.0	0.0
21	0.0	0.0	0.0	46.7	0.0	15.0	*	*	*	0.0	0.0	0.0
22	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	35.0	*	*	0.0	0.0	52.3	0.0
23	0.0	0.0	0.0	30.0	0.0	0.0	*	*	19.1	0.0	0.0	0.0
24	0.0	*	0.0	0.0	0.0	0.0	*	*	18.7	0.0	0.0	0.0
25	0.0	*	0.0	0.0	0.0	13.0	*	*	0.0	21.6	0.0	8.0
26	0.0	*	0.0	0.0	0.0	25.2	*	*	0.0	0.0	0.0	0.0
27	7.1	*	0.0	0.0	0.0	0.0	*	*	0.0	0.0	0.0	0.0
28	17.2	*	7.0	0.0	0.0	0.0	*	*	0.0	0.0	0.0	0.0
29	35.1	-	43.5	0.0	0.0	5.5	*	*	0.0	0.0	0.0	0.0
30	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	*	*	0.0	65.2	0.0	0.0
31	0.0	-	22.5	-	0.0	-	*	*	-	0.0	-	2.1

\* Dados faltantes

Fonte: Adaptado de ANA (2014).

## ANEXO D - Precipitação diária do município de Flor da Serra do sul (PR) durante o ano de 2011.

Dia	Precipitação (mm)											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	0.0	2.3	0.0	2.1	21.4	0.0	85.6	51.8	0.0	4.5	0.0	0.0
2	32.1	4.8	7.5	0.0	2.1	0.0	0.0	16.1	0.0	24.5	0.0	0.0
3	22.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	2.7	0.0	4.2	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	3.1	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.5	0.0	19.8	0.0
7	0.0	8.4	0.0	0.0	0.0	34.7	0.0	0.0	28.5	0.0	2.5	0.0
8	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	7.8	0.0	0.0	89.5	0.0	0.0	0.0
9	0.0	28.9	0.0	0.0	0.0	5.4	0.0	45.9	51.0	35.7	0.0	28.8
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	0.0	35.8
11	11.9	0.0	9.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	31.2	60.8	48.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	56.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.2	15.9	0.0
14	0.0	12.3	0.0	0.0	13.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.2	17.0
15	0.0	0.0	0.0	42.1	9.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.5	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.8	0.0	0.0
17	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	72.9	13.8	4.2	0.0	0.0	0.0
19	0.0	6.7	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	78.4	0.0	0.0	0.0	0.0
20	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.1	20.5	25.1	0.0	0.0	0.0
21	15.7	0.0	0.0	43.5	0.0	10.7	62.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.8	0.0	7.5	0.0	0.0	69.6	0.0
23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3	0.0	34.4	27.5	0.0	0.0	0.0
24	0.0	13.8	0.0	28.4	0.0	0.0	0.0	0.0	14.3	16.8	0.0	0.0
25	22.8	12.4	22.1	0.0	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	6.9	0.0	0.0
26	0.0	9.9	0.0	0.0	0.0	24.7	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0
27	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28	0.0	7.9	29.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	23.5	-	34.4	0.0	0.0	3.4	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0
30	0.0	-	0.0	0.0	0.0	8.7	34.0	50.5	0.0	81.4	3.5	0.0
31	26.0	-	67.1	-	0.0	-	3.8	4.9	-	0.0	-	0.0

Fonte: Adaptado de ANA (2014).

## ANEXO E - Precipitação diária do município de Itapejara do Oeste (PR) durante o ano de 2011.

Dia	Precipitação (mm)											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	0.0	29.5	4.8	0.0	11.2	0.0	40.2	*	0.0	0.0	0.0	0.0
2	5.6	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	35.7	*	0.0	5.7	0.0	0.0
3	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.8	*	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	45.9	0.0	6.8	0.0	0.0	0.0	*	0.0	0.0	2.3	0.0
6	0.0	28.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*	24.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.5	0.0	*	17.6	0.0	0.0	19.6
9	2.9	29.4	0.0	0.0	0.0	9.3	0.0	*	50.7	41.2	0.0	9.3
10	0.0	12.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0	17.3	0.0	0.0
11	0.0	0.0	32.7	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0	0.0	4.7	0.0
12	98.3	30.8	44.8	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0	0.0	0.0	0.0
13	7.6	18.3	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0	69.7	3.7	5.5
14	0.0	22.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0	28.7	18.4	3.9
15	0.0	0.0	0.0	18.3	19.6	0.0	0.0	*	0.0	0.0	3.5	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0	48.5	56.7	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0	0.0	0.0	0.0
18	38.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	79.0	*	0.0	0.0	0.0	0.0
19	4.5	0.0	13.2	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	*	8.6	0.0	0.0	0.0
21	1.2	0.0	0.0	36.7	0.0	0.0	31.1	*	0.0	0.0	0.0	0.0
22	10.2	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	0.0	*	0.0	0.0	46.2	0.0
23	0.0	12.9	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	*	39.8	0.0	0.0	0.0
24	0.0	3.5	0.0	15.3	0.0	0.0	0.0	*	0.0	0.0	0.0	0.0
25	0.0	3.7	22.6	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0	9.6	0.0	37.3
26	0.0	14.1	0.0	0.0	0.0	16.5	0.0	*	0.0	25.3	0.0	0.0
27	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0	0.0	8.3	0.0
28	19.7	0.0	27.7	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0	0.0	0.0	0.0
29	23.5	-	20.6	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0	0.0	0.0	0.0
30	9.1	-	0.0	0.0	0.0	21.1	25.7	*	0.0	63.2	0.0	0.0
31	0.0	-	23.4	-	0.0	-	15.5	*	-	0.0	-	0.0

\* Dados faltantes

Fonte: Adaptado de ANA (2014).

## ANEXO F - Precipitação diária do município de Marmeleiro (PR) durante o ano de 2011.

Dia	Precipitação (mm)											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	0.0	0.0	0.0	0.0	23.0	0.0	84.6	44.6	0.0	0.0	0.0	3.1
2	5.6	8.5	0.0	7.8	0.0	0.0	2.9	5.2	0.0	26.7	0.0	0.0
3	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0	8.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	26.5	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4	0.0	10.8	0.0
7	20.8	5.3	0.0	0.0	0.0	41.1	0.0	0.0	23.0	0.0	3.6	0.0
8	0.0	20.9	0.0	0.0	0.0	10.4	0.0	0.0	77.6	0.0	0.0	8.1
9	0.0	29.1	0.0	0.0	0.0	3.8	0.0	16.3	52.3	18.2	0.0	38.2
10	0.8	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0
11	0.2	0.0	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	38.9	45.7	40.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	1.9	38.0	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.0	29.0	0.0
14	0.0	8.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	1.9
15	0.0	0.0	0.0	53.0	19.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.3	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	2.3	0.0
17	0.4	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0
18	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	73.2	2.1	3.2	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0	6.9	59.5	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	56.2	20.0	16.8	0.0	0.0	0.0
21	11.7	0.0	0.0	26.7	0.0	4.5	5.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0
22	20.1	0.0	0.0	4.0	0.0	62.8	0.0	1.3	0.0	0.0	58.3	0.0
23	0.0	0.0	9.6	18.2	2.1	21.4	0.0	38.5	35.0	0.0	6.0	0.0
24	1.6	2.3	11.9	0.5	7.2	0.0	0.0	0.4	9.5	0.0	0.0	0.0
25	15.9	9.6	2.2	0.0	0.0	11.6	0.0	0.0	0.0	31.5	0.0	16.1
26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	30.5	0.0	3.6	0.0	1.7	0.0	0.0
27	1.3	2.5	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28	36.7	0.0	40.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	8.4	-	41.3	0.0	0.0	1.6	0.3	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0
30	13.2	-	14.5	0.0	0.0	2.6	29.3	17.7	0.0	71.8	0.0	0.0
31	0.0	-	21.3	-	0.0	-	0.4	1.5	-	0.0	-	3.1

Fonte: Adaptado de ANA (2014).

## ANEXO G - Precipitação diária do município de Marmeleiro (PR) durante o ano de 2011.

Dia	Precipitação (mm)											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	0.0	0.0	0.0	0.0	14.9	0.0	29.4	58.8	0.0	0.0	*	0.0
2	2.2	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	0.0	0.0	25.5	*	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0
4	27.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0
5	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0
6	63.8	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.5	0.0	0.0	17.2	0.0	*	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.1	0.0	0.0	132.0	0.0	*	0.0
9	0.0	39.8	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	42.0	11.0	17.0	*	19.7
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0
11	12.2	0.0	29.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	*	0.0
12	58.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.5	*	0.0
14	0.0	46.0	0.0	0.0	7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	10.9	*	0.0
15	0.0	0.0	0.0	24.0	12.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	79.0	0.0	0.0	*	0.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0
21	0.0	0.0	0.0	14.2	0.0	0.0	26.4	0.0	0.0	0.0	*	0.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.2	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0
23	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.2	7.5	0.0	*	0.0
24	0.0	14.6	0.0	7.4	6.2	42.0	0.0	0.0	0.0	24.6	*	0.0
25	0.0	12.2	6.2	14.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	*	6.2
26	3.2	16.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0
27	12.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0
28	37.2	0.0	42.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0
29	29.2	-	50.2	0.0	0.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*	0.0
30	0.0	-	0.0	0.0	0.0	4.2	9.0	17.4	0.0	72.9	*	0.0
31	9.1	-	12.5	-	0.0	-	24.2	0.0	-	0.0	-	0.0

\* Dados faltantes

Fonte: Adaptado de ANA (2014).

## ANEXO H - Precipitação diária do município de Salgado Filho (PR) durante o ano de 2011.

Dia	Precipitação (mm)											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0	91.8	63.5	0.0	0.0	0.0	0.0
2	16.3	20.6	0.0	6.5	0.0	0.0	3.3	7.8	0.0	10.1	0.0	0.0
3	15.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	27.0	0.0	0.0	8.2	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	15.5	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.7	0.0	12.0	0.0
7	0.0	16.3	0.0	0.0	0.0	40.0	0.0	0.0	18.1	0.0	4.7	0.0
8	0.0	8.1	0.0	0.0	0.0	6.7	0.0	0.0	59.6	0.0	0.0	0.0
9	3.8	37.1	0.0	0.0	0.0	6.9	0.0	46.5	54.4	38.1	0.0	34.0
10	8.2	17.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.3	0.0	16.4
11	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	22.5	57.6	56.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	34.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.0	8.0	0.0
14	0.0	28.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.1	17.3	0.0
15	0.0	0.0	0.0	70.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	64.5	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.7	0.0
18	41.0	0.0	0.0	4.0	0.0	4.5	66.5	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	104.3	3.5	0.0	0.0	0.0
20	0.0	6.4	0.0	39.5	0.0	0.0	9.8	32.3	12.5	0.0	0.0	0.0
21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	57.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	36.4	0.0	5.0	0.0	0.0	49.0	0.0
23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	0.0	33.8	30.0	0.0	4.1	0.0
24	0.0	0.0	0.0	24.0	7.5	0.0	0.0	0.0	16.5	0.0	0.0	0.0
25	7.7	10.0	11.0	0.0	0.0	6.1	0.0	0.0	0.0	31.0	0.0	0.0
26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	12.0
27	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28	26.0	22.6	14.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	40.2	-	62.0	0.0	0.0	1.9	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0
30	0.0	-	2.0	10.0	0.0	4.0	23.1	30.1	0.0	0.0	0.0	0.0
31	0.0	-	49.5	-	0.0	-	0.0	2.0	-	76.3	-	0.0

Fonte: Adaptado de ANA (2014).



## ANEXO I - Precipitação diária do município de Francisco Beltrão (PR) durante o ano de 2011.

Dia	Precipitação (mm)											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	0.0	66.0	56.6	0.0	0.0	0.0	0.0
2	24.1	6.5	0.0	0.6	0.0	0.0	3.8	3.6	0.0	21.0	0.0	0.0
3	4.0	1.8	0.0	0.0	0.3	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	17.0	0.0	0.0	13.6	0.0	0.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	16.0	0.0	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	37.6	27.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	16.2	0.0
7	7.0	13.0	0.0	0.0	0.0	30.5	0.0	0.0	26.0	0.0	2.0	0.0
8	4.2	2.4	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	59.6	0.0	0.0	0.0
9	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	27.8	50.8	45.4	0.0	22.6
10	1.3	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	0.0	17.4
11	5.4	0.0	7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.7	1.1	0.0
12	53.0	24.7	11.6	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
13	1.1	16.4	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.8	2.0	0.0
14	0.0	0.5	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	32.6	21.2	0.2
15	0.0	0.0	0.0	29.6	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.6	0.1	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0
18	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	88.2	20.0	0.3	0.0	0.0	0.0
19	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	152.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	19.8	17.4	0.0	0.0	0.0
21	43.0	0.0	0.0	36.0	0.0	0.4	54.0	0.0	0.0	0.0	10.2	0.0
22	11.6	4.6	0.0	2.2	0.0	32.6	1.0	3.3	0.0	0.0	42.0	0.0
23	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	25.4	39.0	0.0	0.8	0.0
24	0.3	45.4	0.2	21.8	3.6	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	0.2
25	2.0	9.2	7.8	0.0	0.0	7.3	0.0	0.0	0.0	24.8	0.0	10.4
26	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	25.4	0.0	0.3	0.0	3.8	0.0	8.0
27	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0
28	25.7	0.0	18.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	40.5	-	19.3	0.0	0.0	1.3	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0
30	0.3	-	3.3	8.6	0.0	3.8	9.2	36.8	0.0	87.4	0.0	0.0
31	0.0	-	25.4	-	0.0	-	9.6	0.0	-	0.0	-	1.6

Fonte: Adaptado de IAPAR (2014).

## ANEXO J - Temperatura mínima diária do município de Francisco Beltrão (PR) durante o ano de 2011.

Dia	Temperatura mínima (°C)											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	18.4	19.3	18.0	19.0	12.8	6.0	15.0	10.6	3.0	14.4	10.2	15.1
2	16.6	18.6	16.0	17.7	10.2	5.8	12.4	4.4	3.6	12.4	11.2	10.1
3	15.4	20.6	16.5	14.9	10.0	8.4	4.0	4.4	7.2	13.6	11.2	12.7
4	16.0	20.5	15.0	16.5	6.6	8.8	-0.4	0.2	8.9	9.4	12.4	14.7
5	19.6	19.8	14.5	12.2	6.7	0.8	0.6	-0.4	13.8	12.0	12.4	15.2
6	17.8	20.4	14.2	10.2	10.6	4.2	2.2	8.0	14.8	14.4	16.6	19.8
7	18.0	19.8	16.7	9.3	9.8	10.4	0.6	11.8	14.0	17.4	14.0	18.9
8	18.4	20.8	16.0	12.5	13.6	7.6	0.6	15.6	15.4	17.8	16.0	17.6
9	20.2	20.6	15.4	12.7	17.4	9.0	1.4	15.6	14.4	17.2	16.9	18.8
10	19.8	19.6	17.0	12.0	16.4	5.4	6.2	10.4	10.8	18.4	17.8	16.0
11	19.2	18.2	18.2	11.0	13.8	3.2	12.4	10.8	11.0	15.0	16.8	15.2
12	19.2	19.0	16.4	12.2	16.5	5.0	11.2	10.8	6.6	17.7	17.8	16.4
13	19.8	20.2	16.2	15.0	14.8	5.6	13.4	14.4	8.4	18.2	17.0	16.4
14	16.0	18.6	18.8	15.9	14.8	11.0	13.8	15.0	12.1	17.8	15.2	15.6
15	16.5	16.2	14.6	15.6	13.2	8.6	10.4	15.0	11.1	17.4	15.4	11.6
16	18.0	16.9	14.8	14.8	10.6	7.8	10.2	13.2	12.6	17.8	14.0	11.8
17	18.0	17.9	15.2	16.0	8.8	8.8	15.4	14.6	17.0	14.8	14.2	13.7
18	19.0	17.6	17.4	17.2	11.4	13.4	15.2	12.0	17.0	14.0	13.0	13.6
19	17.2	17.7	18.0	15.2	8.0	12.2	16.0	12.4	12.8	13.4	14.8	12.6
20	19.7	19.0	15.9	16.9	6.4	14.8	16.0	6.1	14.4	12.9	14.8	13.9
21	19.0	18.8	15.6	14.2	9.3	14.8	13.0	2.0	9.2	15.4	17.0	15.2
22	18.8	18.4	14.8	16.1	9.4	16.6	6.0	7.2	7.8	14.3	15.3	16.2
23	18.5	18.0	18.5	14.8	13.2	13.1	6.4	8.8	14.6	13.6	14.2	19.0
24	18.3	19.6	20.4	11.9	14.4	14.4	7.6	5.4	13.0	15.6	15.1	19.6
25	18.8	19.8	20.6	12.7	14.6	12.8	13.4	13.1	11.4	16.6	15.7	19.6
26	17.8	19.2	19.6	11.4	11.8	3.8	12.3	10.8	11.2	15.2	16.9	17.6
27	18.4	20.0	19.6	12.3	8.8	1.0	11.2	15.6	10.4	10.5	14.3	18.0
28	19.2	18.8	18.6	12.7	6.7	-2.8	11.4	17.0	12.2	10.4	17.6	18.9
29	19.2	-	18.2	12.2	4.0	7.2	13.4	18.6	10.6	15.8	17.3	15.8
30	20.6	-	15.8	13.1	3.2	9.4	14.2	14.2	15.0	15.6	16.4	19.2
31	21.0	-	14.4	-	4.4	-	14.5	9.0	-	11.2	-	19.5

Fonte: Adaptado de IAPAR (2014).

## ANEXO K - Temperatura máxima diária do município de Francisco Beltrão (PR) durante o ano de 2011.

Dia	Temperatura máxima (°C)											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	27.6	27.2	25.6	21.8	19.2	20.5	16.6	15.8	20.2	24.6	25.4	26.6
2	27.8	30.0	27.0	27.6	16.6	20.1	15.2	10.6	22.2	26.6	24.3	28.4
3	27.2	29.6	27.0	27.7	19.0	20.6	12.4	11.2	24.8	25.6	25.6	29.1
4	30.6	30.6	29.0	27.8	20.3	17.3	11.0	13.8	29.8	27.0	29.4	30.0
5	30.2	30.4	29.2	27.4	23.2	18.4	15.4	18.4	23.4	30.4	28.3	30.2
6	31.5	28.0	29.4	26.4	25.0	16.8	16.2	25.2	20.4	32.0	25.2	27.2
7	32.2	27.4	29.4	27.8	25.0	15.4	17.8	30.2	20.8	31.0	30.2	28.8
8	32.6	25.8	31.3	28.3	26.6	14.3	18.4	24.6	17.6	25.2	30.0	27.6
9	32.0	27.2	30.6	26.8	24.7	18.0	20.8	24.4	21.2	24.2	31.4	26.4
10	29.2	28.4	27.8	25.2	26.0	19.0	24.0	22.6	22.5	25.8	28.4	30.0
11	27.3	28.0	28.4	27.0	26.0	18.4	25.4	23.4	23.8	30.0	32.0	31.3
12	30.0	24.8	30.2	21.6	25.2	20.3	27.2	26.0	25.7	22.6	24.8	31.2
13	30.0	26.6	29.8	21.2	25.4	22.0	27.0	29.0	28.2	20.4	19.0	29.4
14	31.8	28.6	30.4	28.8	20.8	21.6	26.8	26.0	25.2	28.4	19.6	27.1
15	32.0	24.9	31.8	23.9	16.0	20.8	25.9	26.8	25.2	28.0	20.6	24.8
16	30.5	30.0	31.0	28.6	20.0	21.8	24.8	28.8	27.4	27.2	25.6	26.6
17	28.7	32.6	30.8	29.9	20.6	24.4	20.2	21.2	26.8	27.7	27.7	27.2
18	28.8	30.4	29.0	30.6	19.2	23.0	21.6	16.5	21.0	28.0	27.8	28.9
19	30.8	29.6	30.0	29.1	19.4	25.2	21.8	17.5	27.4	27.8	27.4	31.1
20	31.0	29.8	29.8	28.2	19.8	25.2	24.8	12.4	21.6	27.8	24.6	34.0
21	29.2	31.4	29.2	26.4	22.6	19.0	22.0	13.4	24.2	27.2	21.2	35.3
22	29.1	26.2	28.0	28.5	24.0	19.0	16.0	10.2	28.8	28.8	22.6	34.7
23	30.7	27.6	27.0	23.7	18.0	23.4	19.8	14.6	20.2	29.0	27.7	34.3
24	29.8	27.6	28.6	26.1	23.4	21.0	21.6	22.0	23.1	29.0	30.0	31.4
25	30.2	30.7	29.6	27.5	24.4	16.8	23.8	20.8	23.2	25.0	31.0	23.7
26	33.7	31.0	31.5	25.3	18.6	14.5	25.0	26.4	25.0	24.6	33.1	25.6
27	32.8	29.4	25.0	25.1	19.6	11.4	24.4	28.0	28.8	26.6	31.1	30.0
28	31.4	26.2	27.6	25.5	20.0	14.2	25.0	29.2	28.2	29.6	32.0	32.6
29	30.5	-	22.2	25.6	19.2	9.4	18.2	29.8	33.0	21.6	31.6	30.7
30	30.0	-	23.0	19.5	17.9	15.6	20.8	22.8	34.2	23.2	31.0	26.7
31	31.0	-	23.4	-	20.4	-	18.8	17.6	-	24.6	-	30.6

Fonte: Adaptado de IAPAR (2014).

## ANEXO L - Radiação solar diária do município de Francisco Beltrão (PR) durante o ano de 2011.

Dia	Radiação Solar (MJ/m <sup>2</sup> /dia)											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	1.0	1.4	4.2	*	0.6	6.4	0.0	0.0	8.5	0.3	9.4	*
2	5.7	5.0	5.4	*	3.9	5.7	0.0	0.7	8.5	8.4	10.5	*
3	5.6	4.6	8.1	*	6.8	2.2	0.8	2.8	8.5	10.3	10.5	*
4	8.8	4.2	9.9	*	6.8	6.9	3.6	6.8	8.6	9.3	10.5	*
5	7.5	2.6	8.7	*	6.5	6.7	4.1	6.6	0.0	9.9	2.5	*
6	8.9	0.8	9.8	*	6.7	0.0	5.8	6.6	0.0	9.3	2.9	*
7	8.6	3.3	8.5	*	6.7	0.2	6.9	6.7	3.4	10.3	9.5	*
8	10.0	0.0	10.0	*	6.5	2.4	6.6	1.1	0.0	0.0	10.0	*
9	5.0	1.7	9.4	*	1.2	4.5	6.9	6.7	3.8	4.0	9.7	*
10	4.4	2.2	2.1	*	4.5	4.0	5.5	6.9	7.1	1.9	0.0	*
11	4.1	2.8	5.8	*	5.1	6.0	6.4	7.1	9.1	8.9	8.5	*
12	5.4	0.3	9.5	*	2.2	5.1	4.6	7.6	9.4	0.0	0.7	*
13	7.6	0.7	8.0	*	6.7	6.0	4.6	5.5	9.0	0.0	0.0	*
14	11.3	9.5	10.1	*	0.2	5.9	5.7	3.1	8.8	7.0	0.0	*
15	10.5	2.6	10.1	*	0.1	5.9	6.8	7.9	8.8	2.9	0.9	*
16	8.9	7.4	10.1	*	6.6	5.9	1.7	8.1	8.6	8.5	4.5	*
17	6.8	9.0	10.2	*	6.8	4.4	0.0	0.0	3.7	10.3	10.2	*
18	4.2	7.3	2.3	*	3.1	4.1	3.6	0.0	1.2	10.4	8.3	*
19	9.4	6.7	7.6	*	6.9	5.7	3.8	0.0	3.5	9.6	10.1	*
20	3.9	5.9	9.9	*	6.9	4.2	2.2	8.3	3.2	9.5	1.0	*
21	6.3	5.6	9.9	*	6.7	0.0	0.0	4.9	9.7	10.4	0.0	*
22	3.6	0.6	5.4	*	6.0	0.3	6.0	0.0	9.7	10.2	*	*
23	2.9	3.8	3.4	*	0.1	2.7	7.0	0.2	1.1	10.0	*	*
24	4.8	2.7	1.6	*	3.9	1.8	6.9	6.8	8.7	8.3	*	*
25	1.4	5.5	7.6	*	2.9	0.0	7.0	0.6	10.0	4.1	*	*
26	9.5	6.7	8.5	*	2.0	0.0	6.1	7.8	10.2	6.7	*	*
27	8.5	4.3	0.2	*	6.8	6.3	5.2	7.2	10.0	10.1	*	*
28	4.8	0.1	3.5	*	6.4	5.5	5.7	7.6	9.9	8.6	*	*
29	5.8	-	0.0	*	6.6	0.0	0.0	4.3	10.0	0.0	*	*
30	3.9	-	0.3	*	6.6	0.0	1.0	2.0	9.1	5.3	*	*
31	7.8	-	2.0	-	5.7	-	0.0	8.6	-	10.5	-	*

\* Dados faltantes

Fonte: Adaptado de IAPAR (2014).

## ANEXO M - Umidade relativa do ar do município de Francisco Beltrão (PR) durante o ano de 2011.

Dia	Umidade Relativa do ar (fração de cem)											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	0.838	0.953	0.699	0.936	0.842	0.785	0.975	0.970	0.484	0.874	0.515	0.553
2	0.854	0.823	0.695	0.827	0.800	0.834	0.959	0.906	0.571	0.741	0.536	0.541
3	0.827	0.815	0.689	0.845	0.774	0.883	0.795	0.791	0.435	0.638	0.545	0.557
4	0.745	0.830	0.620	0.854	0.813	0.748	0.719	0.698	0.490	0.594	0.535	0.584
5	0.814	0.920	0.618	0.794	0.752	0.723	0.727	0.629	0.824	0.623	0.653	0.632
6	0.764	0.956	0.644	0.656	0.799	0.801	0.715	0.651	0.835	0.670	0.809	0.733
7	0.765	0.908	0.652	0.713	0.853	0.878	0.638	0.648	0.906	0.547	0.670	0.767
8	0.719	0.960	0.592	0.715	0.838	0.857	0.592	0.842	0.978	0.897	0.664	0.849
9	0.864	0.931	0.652	0.665	0.900	0.851	0.672	0.753	0.817	0.888	0.616	0.903
10	0.845	0.844	0.825	0.716	0.851	0.779	0.708	0.690	0.706	0.905	0.803	0.769
11	0.917	0.893	0.854	0.754	0.870	0.801	0.768	0.760	0.687	0.689	0.605	0.686
12	0.867	0.964	0.826	0.866	0.814	0.795	0.777	0.832	0.610	0.938	0.886	0.703
13	0.758	0.913	0.709	0.959	0.875	0.799	0.752	0.857	0.551	0.975	0.941	0.731
14	0.684	0.755	0.723	0.843	0.968	0.732	0.680	0.893	0.578	0.766	0.946	0.530
15	0.673	0.788	0.686	0.895	0.846	0.804	0.553	0.619	0.641	0.844	0.855	0.632
16	0.751	0.729	0.657	0.846	0.742	0.807	0.654	0.566	0.639	0.708	0.731	0.660
17	0.824	0.760	0.700	0.853	0.796	0.851	0.962	0.779	0.671	0.515	0.609	0.645
18	0.835	0.778	0.794	0.820	0.796	0.788	0.820	0.997	0.815	0.539	0.636	0.585
19	0.783	0.797	0.721	0.791	0.787	0.738	0.869	0.936	0.783	0.544	0.522	0.584
20	0.840	0.770	0.635	0.804	0.804	0.740	0.785	0.643	0.865	0.601	0.609	0.554
21	0.802	0.871	0.642	0.859	0.746	0.954	0.901	0.657	0.586	0.532	0.964	0.520
22	0.849	0.872	0.772	0.878	0.803	0.901	0.811	0.966	0.613	0.542	0.824	0.583
23	0.793	0.927	0.738	0.949	0.952	0.881	0.750	0.896	0.928	0.596	0.740	0.611
24	0.875	0.943	0.778	0.815	0.846	0.937	0.767	0.780	0.698	0.611	0.708	0.803
25	0.836	0.857	0.817	0.758	0.794	0.971	0.660	0.907	0.583	0.891	0.659	0.904
26	0.708	0.814	0.769	0.722	0.806	0.846	0.796	0.766	0.623	0.706	0.681	0.771
27	0.862	0.818	0.882	0.732	0.741	0.739	0.802	0.587	0.613	0.618	0.648	0.736
28	0.851	0.820	0.953	0.731	0.693	0.672	0.743	0.618	0.491	0.602	0.602	0.677
29	0.844	-	0.949	0.776	0.727	0.979	0.927	0.824	0.555	0.948	0.642	0.667
30	0.882	-	0.938	0.959	0.790	0.997	0.899	0.829	0.629	0.666	0.736	0.817
31	0.836	-	0.881	-	0.767	-	0.967	0.545	-	0.502	-	0.751

Fonte: Adaptado de IAPAR (2014).

## ANEXO N - Velocidade do vento do município de Francisco Beltrão (PR) durante o ano de 2011.

Dia	Velocidade do vento (m/s)											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	*	9.6	10.1	*	777.7	2.5	3.2	13.2	47.0	10.0	30.2	*
2	7.5	12.5	8.1	*	16.5	1.6	1.7	51.4	31.3	36.0	28.3	*
3	13.1	3.1	17.4	*	22.6	0.4	7.6	29.0	41.7	19.0	28.1	*
4	6.1	2.4	14.7	*	9.8	4.5	14.0	39.3	36.9	30.1	21.2	*
5	6.0	6.2	14.4	*	2.3	14.0	4.5	13.6	28.6	35.9	15.0	*
6	11.5	1.9	13.0	*	1.2	1.7	1.9	10.9	9.7	20.4	19.4	*
7	18.4	2.3	18.6	*	8.5	5.8	3.3	8.5	14.9	12.5	4.8	*
8	5.5	2.4	15.6	*	1.3	55.6	9.9	7.7	29.0	49.6	7.8	*
9	13.3	0.5	7.2	*	5.1	1.8	3.4	15.9	9.6	12.3	12.8	*
10	15.8	5.7	12.0	*	0.3	2.0	4.5	15.1	12.3	4.1	22.8	*
11	7.0	8.3	10.2	*	1.4	1.9	3.5	66.1	13.1	2.1	20.6	*
12	2.4	2.1	16.2	*	0.6	0.9	3.0	21.1	25.4	14.5	15.1	*
13	6.3	2.8	4.3	*	1.5	1.8	2.7	14.9	11.0	11.3	11.2	*
14	5.7	3.2	13.7	*	0.8	3.2	2.0	6.8	13.3	2.8	13.3	*
15	13.4	34.8	22.8	*	5.5	5.0	5.4	3.9	58.6	6.2	4.1	*
16	7.2	9.7	6.4	*	11.4	2.4	11.3	30.9	38.9	10.9	54.5	*
17	7.8	11.5	5.0	*	6.7	3.1	6.4	24.5	67.9	26.0	14.2	*
18	5.5	8.9	3.6	*	4.0	7.3	7.9	8.5	46.2	35.1	9.0	*
19	8.7	7.4	32.5	*	1.4	3.8	4.5	78.3	6.2	24.4	13.7	*
20	16.8	3.5	20.5	*	2.0	3.5	3.3	49.3	15.8	16.6	37.2	*
21	12.8	4.1	13.6	*	2.6	3.0	15.4	42.6	17.2	26.0	32.5	*
22	4.9	10.9	10.0	*	2.1	1.9	13.6	23.7	17.9	33.9	*	*
23	3.9	5.7	6.3	*	2.0	2.5	13.6	2.9	25.9	17.6	*	*
24	4.8	1.7	4.0	*	0.6	0.7	16.6	2.4	6.1	18.2	*	*
25	7.1	3.2	2.2	*	0.5	8.1	39.9	21.4	21.8	40.7	*	*
26	3.1	5.3	1.3	*	3.9	11.7	46.5	26.0	43.9	33.0	*	*
27	13.2	7.5	11.2	*	10.4	24.8	6.1	1.7	24.5	32.8	*	*
28	9.0	20.7	6.7	*	15.4	9.5	10.2	66.8	11.3	20.9	*	*
29	12.6	-	2.8	*	8.9	3.0	8.0	12.6	22.8	2.0	*	*
30	4.8	-	4.1	*	0.1	0.3	8.6	20.5	12.0	34.0	*	*
31	5.5	-	12.1	-	1.8	-	3.9	34.5	-	48.1	-	*

\* Dados faltantes

Fonte: Adaptado de IAPAR (2014).