

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**SOLO DO RIO GRANDE DO SUL E SUA  
RELAÇÃO COM O CLIMA**

**TESE DE DOUTORADO**

**Elsbeth Léia Spode Becker**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2008**

**SOLO DO RIO GRANDE DO SUL E SUA  
RELAÇÃO COM O CLIMA**

por

**Elsbeth Léia Spode Becker**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para a obtenção do grau de **Doutora em Agronomia**

**Orientador: Prof. Nereu Augusto Streck**

Santa Maria, RS, Brasil

2008

B395s

Becker, Elsbeth Léia Spode

Solo do Rio Grande do Sul e sua relação com o clima /  
Elsbeth Léia Spode Becker; orientador Nereu Augusto Streck  
– Santa Maria, 2008.

99 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria,  
Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-graduação em  
Agronomia, RS, 2008

1. Agronomia 2. Intemperismo 3. Precipitação pluvial  
4. Temperatura 5. Modelos edafoclimáticos 6. Solos zonais  
I. Streck, Nereu Augusto, orient. II. Título

CDU 931/635

Ficha catalográfica elaborada por Eunice de Olivera CRB – 10/1491

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Tese de Doutorado

**SOLO DO RIO GRANDE DO SUL E SUA  
RELAÇÃO COM O CLIMA**

elaborada por  
**Elsbeth Leia Spode Becker**

como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Doutora em Agronomia**

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

**Nereu Augusto Streck, Ph.D. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Afranio Almir Righes, Ph.D. (UNIFRA)**

---

**Galileo Adeli Buriol, Dr. (UNIFRA)**

---

**Mauro Kumpfer Werlang, Dr. (UFSM)**

---

**Rodrigo Ferreira da Silva, Dr. (UNIFRA)**

Santa Maria, 19 de dezembro de 2008.

## A GUAÍPECA VAVIS

Peço perdão às pessoas por dedicar esta tese a um cachorro. Tenho uma desculpa séria: esse cachorro é um grande amigo que possuo no mundo. Tenho outra desculpa: esse cachorro é capaz de compreender todas as coisas, até mesmo uma tese de doutorado. Tenho ainda uma terceira desculpa: esse cachorro oferece sua vida, de forma incondicional, a mim, às minhas queridas filhas, Kalinca e Dahianne e à minha família. Se todas essas desculpas não bastam, eu dedico esta tese a todas as pessoas que destinam suas vidas à paz na família e tratam os animais com respeito. Corrijo, portanto, a dedicatória:

## A GUAÍPECA VAVIS

e a todos aqueles que revelam generosidade.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar minha gratidão às várias pessoas que me deram sua ajuda e seu apoio durante o tempo em que cursei o programa de pós-graduação e trabalhei nesta tese. Seria impossível mencionar a todas. Entretanto, estou especialmente grata a(o):

Prof. Dr. PhD. Nereu Augusto Streck, por ter participado durante todo o processo de minha formação no curso e de elaboração da tese, pelas conversas objetivas, enriquecedoras e estimulantes e por desafiar meu pensamento científico.

Prof. Dr. Galileo Adeli Buriol, por sua criatividade e inspiração científica, minha fonte mais rica de conhecimento e discussões, por compartilhar generosamente comigo suas idéias e sua excelência na pesquisa.

Sara Ceron Hentges, acadêmica do Curso de Engenharia Ambiental - UNIFRA, por sua eficiência e dedicação em contribuir na digitalização dos dados e na elaboração dos gráficos.

Leosane Bosco, pela espontaneidade e disponibilidade na troca de informações, materiais, discussões e conversas informais sobre as relações entre a agronomia e a geografia.

Todos meus alunos, grandes e pequenos, pequenos e grandes, sem ordem de preferência, de todas as cores, caras e idades, amigos de muitas horas e de toda uma vida. Com o tempo não compartilhamos mais do mesmo espaço, mas o tempo sim, em tudo somos contemporâneos. Não consigo imaginar uma melhor vida que não seja a minha. Obrigada!

### **A mutação**

*“Ao término de um período de decadência sobrevêm o ponto de mutação. A luz poderosa que fora banida ressurge. Há movimento, mas este não é gerado pela força... O movimento é natural, surge espontaneamente. Por esta razão, a transformação do antigo torna-se fácil. O velho é descartado, e o novo é introduzido. Ambas as medidas se harmonizam com o tempo, não resultando daí, portanto, nenhum dano”.*

I Ching (+- 3000 anos)

### **Poeminha do contra**

*“Todos estes que aí estão  
atravancando o meu caminho,  
eles passarão.  
Eu passarinho!”*

Mário Quintana  
(1906-1994)

## **RESUMO**

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### **SOLO DO RIO GRANDE DO SUL E SUA RELAÇÃO COM O CLIMA**

AUTORA: ELSBETH LÉIA SPODE BECKER

ORIENTADOR: NEREU AUGUSTO STRECK

Local de data da Defesa: Santa Maria, 19 de dezembro de 2008.

A relação entre solo e clima têm sido, ao longo do tempo, a base do mapeamento dos solos e da vegetação em escala global. No Rio Grande do Sul ainda existem poucos estudos que relacionam a formação do solo com o clima. A formação do solo decorre do intemperismo das rochas. Os elementos climáticos, precipitação pluvial e temperatura do ar, determinam a natureza e a velocidade das reações químicas nas rochas e influenciam na pedogênese. A relação entre solo e clima pode ser estudada por meio de modelos edafoclimáticos e de intemperismo. Assim, os objetivos nesta tese foram: (i) determinar a influência das disponibilidades climáticas no tipo de intemperismo e na formação dos solos do Rio Grande do Sul; (ii) determinar a relação entre solo e clima no Estado do Rio Grande do Sul por meio da utilização de modelos edafoclimáticos; e (iii) evidenciar os solos zonais do Rio Grande do Sul e determinar sua localização geográfica. Para atingir os objetivos, foram utilizados três modelos matemáticos a fim de determinar as características do intemperismo. No cálculo, e representação gráfica dos modelos, utilizaram-se as médias anuais de temperatura do ar e de precipitação pluvial de 41 estações meteorológicas pertencentes ao 8º Distrito de Meteorologia (8º DISME), período 1931-1960. A relação do solo do Rio Grande do Sul com as disponibilidades climáticas regionais foi estudada por meio de sete modelos edafoclimáticos. Constatou-se que os solos do Estado são submetidos a condições de zonas temperadas quentes, que favorecem o intemperismo químico e as condições de alteração e de lixiviação típicas da zona de monossialitização. O Estado do Rio Grande do Sul é uma região com características de solos com perfis profundos e bem desenvolvidos que podem condicionar uma vegetação natural do tipo bosque. Assim, apenas uma parte da área do Rio Grande do Sul é explicada em função das disponibilidades climáticas vigentes, especialmente aquelas que são mapeadas como sendo de Latossolos, Chernossolos, Argissolos e de Nitossolos e Argissolos, predominantemente localizados no Planalto Norte-rio-grandense e na Depressão Central, respectivamente. Os solos zonais do Rio Grande do Sul dividem-se em dois grupos, os Lateríticos e os Pedalférricos, porém a relação entre o clima e a diversidade dos tipos de solos existentes no Estado não pode ser explicada unicamente por meio das disponibilidades climáticas.

Palavras-chave: intemperismo; precipitação pluvial; temperatura; modelos edafoclimáticos; solos zonais.



## **ABSTRACT**

Doctoral Thesis  
Graduate Program in Agronomy  
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

### **SOIL OF RIO GRANDE DO SUL AND ITS RELATIONSHIP WITH THE CLIMATE**

**AUTHOR: ELSBETH LÉIA SPODE BECKER**

**ADVISOR: NEREU AUGUSTO STRECK**

Location and data of defense: Santa Maria, December 19<sup>th</sup>, 2008.

The relationship among soil and climate has been for a long time the basis for mapping soils and vegetation on a global scale. In Rio Grande do Sul, there still are few studies that relate soil formation with climate. Soil formation occurs through the weathering of rocks. Rainfall and temperature are major climate factors that determine the nature and rate of chemical reactions in the rocks and define the pedogenesis. This relationship can be studied through edaphoclimatological models and weathering. Thus, the objectives of this thesis were: (i) to determine the influence of climatic availability on the type of weathering and on the formation of soils of the Rio Grande do Sul State, (ii) to determine the relationship between soil and climate in Rio Grande do Sul State through the use of edaphoclimatological models, and (iii) to validate zonal soils of Rio Grande do Sul and to determine their geographical location. To achieve these objectives, three mathematical models were used to determine the characteristics of weathering. In the calculation and graphic representation of models, the average annual temperature and rainfall of 41 meteorological stations of belonging to the 8th District of Meteorology, 1931-1960 period, were used. The relationship between soil of Rio Grande do Sul and regional climate was studied using seven edaphoclimatological models. Results showed that the soils of the State are exposed to conditions of warm temperate zones, which favor chemical weathering and conditions of change and leaching of typical monossialitization zone of the area. The soil of Rio Grande do Sul with the existing regional climate was studied by edaphoclimatological models. According to these models, Rio Grande do Sul State is a region with characteristics of soil with deep and well developed profiles that can support a natural woody-type vegetation. Thus, only a part of the soil area of Rio Grande do Sul State is explained according to the current climate, particularly those which are mapped as being of Oxisols, Chernosols, Argisols, and Nitossols and Argisols, predominantly located in the North-Riograndense Plateau and Central-Depression, respectively. Zonal soils in Rio Grande do Sul State can be grouped as Laterites and Pedalfers, but the relationship between climate and the existing diversity of soil types in the State can not be explained only by climate.

Key words: weathering, rainfall, temperature; edaphoclimatological models; zone soils.

## LISTA DE QUADROS

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

QUADRO 1 – Sistema de classificação de solos de Marbut .....	31
QUADRO 2 – Sistema de classificação de solos de Marbut (1935), de Baldwin (1938) e modificado de Thorp e Smith (1949).....	32
QUADRO 3 – Classes de solos SiBCS (BRASIL, 1973, EMBRAPA, 1999), SiBCS (EMBRAPA, 2006) e <i>Soil Taxonomy</i> , em Alto Nível Categórico.....	33

### CAPÍTULO I

QUADRO 1 – Coordenadas geográficas e médias anuais da temperatura do ar (T) e médias dos totais anuais de precipitação pluvial (P) das estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul pertencentes ao 8° DISME utilizadas no estudo, período 1931-1960.....	40
---	----

### CAPÍTULO II

QUADRO 1 - Altitude e coordenadas geográficas das estações meteorológicas pertencentes ao 8° DISME, cujos dados meteorológicos foram utilizados no estudo.....	57
QUADRO 2 – Coordenadas geográficas das estações meteorológicas pertencentes à Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) cujos dados de radiação solar global foram utilizados nos cálculos do modelo edafoclimático de Budyco (1963).....	58

### CAPÍTULO III

QUADRO 1 - Médias dos totais anuais da temperatura do ar (T) e médias dos totais anuais de precipitação pluvial (P) das estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul, pertencentes ao 8° DISME, utilizadas no estudo, período 1931-1960.....	75
QUADRO 2 – Evapotranspiração potencial das estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul pertencentes ao 8° DISME utilizadas no estudo, período 1941-1970 (pelo diagrama de CAMARGO, 1960). .....	76

## LISTA DE FIGURAS

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

FIGURA 1 – Esquema de evolução dos solos em função dos fatores de formação.....	23
FIGURA 2 – Esquema da influência das condições climáticas na formação da paisagem natural.....	25

### CAPÍTULO I

FIGURA 1 - Enquadramento das médias anuais de temperatura do ar e das médias dos totais anuais de precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Estado, utilizadas no modelo de intemperismo apresentado em Teixeira et al., (2003).....	42
FIGURA 2 - Distribuição geográfica das condições de intemperismo segundo enquadramento das médias anuais de temperatura do ar e das médias dos totais anuais de precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Estado, utilizadas no modelo de intemperismo apresentado em Teixeira et al., (2003). ....	43
FIGURA 3 - Distribuição geográfica das médias dos totais anuais de precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Estado, entre 1931 e 1960.....	44
FIGURA 4 - Distribuição geográfica das médias dos totais anuais de temperatura do ar das 41 estações meteorológicas do Estado, entre 1931 e 1960.....	45
FIGURA 5 – Enquadramento das médias anuais de temperatura do ar e das médias dos totais anuais de precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Estado, utilizadas no modelo de intemperismo apresentado em Suguio (2003) (modificado).....	47
FIGURA 6 - Enquadramento das médias anuais de temperatura do ar e das médias dos totais anuais de precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Estado, utilizadas no modelo de intemperismo apresentado em Teixeira et al. (2003).....	48
FIGURA 7 - Enquadramento das médias anuais de temperatura do ar e das médias dos totais anuais de precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Estado, utilizadas no modelo edafoclimático de Géze (1959).....	49

### CAPÍTULO II

FIGURA 1 – Modelo edafoclimático de Lang (1915) com representação das médias anuais de temperatura do ar e de precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul. ....	59
--	----

FIGURA 2 - Modelo edafoclimático de Prescott (1931) com representação das médias anuais de temperatura do ar e de precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul.....	59
FIGURA 3 - Modelo edafoclimático de Thornthwaite (1931) com representação das médias anuais de temperatura do ar e de precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul.....	61
FIGURA 4 – Modelo edafoclimático de Aubert e Henin (1945) com representação das médias anuais de temperatura do ar e de precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul.....	64
FIGURA 5 - Modelo edafoclimático de Thornthwaite e Hare (1955) com representação das médias anuais de temperatura do ar e de precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul.....	65
FIGURA 6 - Modelo edafoclimático de Budyco (1956) com representação das médias anuais de temperatura do ar e de precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul.....	65
FIGURA 7 - Modelo edafoclimático de Kohnke (1968) com representação das médias anuais de temperatura do ar e de precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul.....	66

### **CAPÍTULO III**

FIGURA 1 – Mapa de solos do Estado do Rio Grande do Sul (modificado de EMATER/DIT – UFRGS/DEP. SOLOS) e perfil de Neossolo, Chernossolo e Latossolo com substrato de basalto e respectiva paisagem (adaptado de Streck et al., 2008).....	77
FIGURA 2 – Mapa de solos do Estado do Rio Grande do Sul (modificado de EMATER/DIT – UFRGS/DEP. SOLOS) e perfil de Neossolo, Cambissolo e Argissolo com substrato de granito e respectiva paisagem (adaptado de Streck et al., 2008).....	78
FIGURA 3 – Distribuição geográfica do intemperismo químico forte e químico moderado nas unidades geomorfológicas do Rio Grande do Sul.....	80
FIGURA 4 – Zoneamento dos solos zonais no Rio Grande do Sul.....	81
FIGURA 5 – Climograma relacionando evapotranspiração potencial e precipitação pluvial, médias dos totais anuais da estação meteorológica de Santo Ângelo (adaptado de Camargo, 1960).....	84

FIGURA 6 – Climograma relacionando evapotranspiração potencial e precipitação pluvial, médias dos totais anuais da estação meteorológica de Iraí (adaptado de Camargo, 1960).....	84
FIGURA 7 – Climograma relacionando evapotranspiração potencial e precipitação pluvial, médias dos totais anuais da estação meteorológica de Encruzilhada do Sul (adaptado de Camargo, 1960).....	86
FIGURA 8 – Climograma relacionando evapotranspiração potencial e precipitação pluvial, médias dos totais anuais da estação meteorológica de Piratini (adaptado de Camargo, 1960).....	87

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>13</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Aspectos geológicos e geomorfológicos do Rio Grande do Sul.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Solo e sua relação com o clima.....</b>	<b>20</b>
<b>2.3 Clima e sua influência no intemperismo.....</b>	<b>23</b>
<b>2.4 Intemperismo das rochas.....</b>	<b>26</b>
<b>2.5 Uso de modelos na relação entre solo e clima.....</b>	<b>28</b>
<b>2.6 Equivalência entre as classificações de solos.....</b>	<b>30</b>
<b>CAPÍTULO I - CLIMA E INTEMPERISMO NA FORMAÇÃO DOS SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.....</b>	<b>35</b>
INTRODUÇÃO.....	35
MATERIAL E MÉTODOS.....	38
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
CONCLUSÕES.....	50
REFERÊNCIAS.....	51
<b>CAPÍTULO II - RELAÇÃO ENTRE SOLO E CLIMA NO RIO GRANDE DO SUL SEGUNDO DIFERENTES MODELOS EDAFOCLIMÁTICOS.....</b>	<b>53</b>
INTRODUÇÃO.....	53
MATERIAL E MÉTODOS.....	55
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
CONCLUSÕES.....	68
REFERÊNCIAS.....	68
<b>CAPÍTULO III - CLIMA E DISTRIBUIÇÃO DOS SOLOS ZONAIS NO RIO GRANDE DO SU, BRASIL.....</b>	<b>72</b>
INTRODUÇÃO.....	72
MATERIAL E MÉTODOS.....	74
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	79
CONCLUSÕES.....	87
REFERÊNCIAS.....	88
<b>3 CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>90</b>
<b>4 RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....</b>	<b>92</b>
<b>5 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>94</b>

# 1 INTRODUÇÃO GERAL

O solo é um componente fundamental do ecossistema terrestre. É o principal substrato utilizado pelas plantas para o seu crescimento e disseminação, fornecendo água, ar e nutrientes. Exerce influência na morfologia da paisagem, na distribuição dos biomas e regula, em parte, a distribuição da população humana sobre o planeta. A gênese dos solos está relacionada ao intemperismo condicionado, essencialmente, pelo clima. No entanto, no Rio Grande do Sul, Brasil, ainda existe pouco conhecimento sobre a relação entre solo e clima. Nesse sentido, a utilização de modelos que relacionam os solos com as disponibilidades climáticas são ferramentas úteis e apropriadas para avaliar o intemperismo e a influência do clima na formação do solo.

O clima, além de interferir diretamente na temperatura e no fornecimento de água para as reações de alteração da rocha, influencia, ainda, no desenvolvimento dos organismos vivos que, também, afetam a formação do solo. A compreensão do processo de formação do solo é importante, pois é uma sucessão de fenômenos desde o início do intemperismo sobre a rocha até a classe em que o solo se encaixa atualmente. Essa compreensão permite um detalhamento do comportamento do solo em relação à vegetação natural e a determinados manejos. Assim, o clima e os solos agem simultaneamente na distribuição da vegetação natural sobre a superfície terrestre: o clima determina a formação vegetal e os solos as suas variações locais. Essas relações entre solos e clima têm sido, ao longo do tempo, a base do mapeamento dos solos e da vegetação em escala mundial. O condicionamento climático e os solos, também, foram determinantes na Divisão Internacional do Trabalho (DIT) e na regionalização da produção de alimentos destinados à espécie humana.

O pouco conhecimento sobre a relação entre solo e clima, em parte, decorre do entendimento que a “formação do solo é resultante de cinco fatores: clima, relevo, seres vivos, material de origem e tempo” (JENNY, 1941). O entendimento sobre o efeito integrado dos fatores de formação do solo é fundamental para estudos locais e de pequenas áreas. É importante, no entanto, para estudos preliminares, relacionar clima e solo, considerando que, entre os fatores de formação do solo, o clima é aquele que, isoladamente, mais influencia no intemperismo da rocha. Por isso, é essencial o conhecimento da relação solo e clima no Rio Grande do Sul. Neste estudo, o objetivo foi verificar-se a relação entre solo e clima, no Rio Grande do Sul, com vistas a entender a atuação do clima na formação do solo. Para

encaminhar essa questão, o presente estudo foi estruturado em três capítulos, além da introdução, da revisão bibliográfica e das conclusões.

No primeiro capítulo, “clima e intemperismo na formação dos solos do Rio Grande do Sul”, determinou-se a influência das disponibilidades climáticas na variação do tipo de intemperismo e na formação dos solos do Rio Grande do Sul. Foram utilizados três modelos matemáticos para determinar as características do intemperismo e um para evidenciar as características edafoclimáticas e sua distribuição geográfica.

No segundo capítulo, “relação entre solo e clima no Rio Grande do Sul, segundo diferentes modelos edafoclimáticos”, estudou-se a relação dos solos do Rio Grande do Sul com as disponibilidades climáticas regionais por meio de modelos edafoclimáticos. Foram utilizadas as médias anuais de radiação solar global, a temperatura média e a média das máximas e mínimas anuais do ar, além da média dos totais anuais de precipitações pluviais. Com esses dados, calcularam-se os índices para sete modelos edafoclimáticos.

No terceiro capítulo, “clima e distribuição dos solos zonais no Rio Grande do Sul”, relacionaram-se as condições climáticas com os grupos de solos zonais e sua distribuição geográfica. Foram elaborados climogramas e selecionados perfis de solos, originados a partir de uma mesma rocha matriz e relacionados com os climogramas de estações meteorológicas localizadas nas áreas de ocorrência destes solos.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Aspectos geológicos e geomorfológicos do Rio Grande do Sul

As características litológicas da crosta terrestre decorrem das rochas. A rocha é um conjunto de minerais ou apenas um mineral consolidado que, submetida ao processo de intemperismo, origina os solos. As rochas classificam-se, quanto à sua origem, em três grupos: ígneas, metamórficas e sedimentares (GUERRA, 1989).

As rochas ígneas (ou magmáticas) são formadas a partir da consolidação do magma proveniente do interior da Terra. Sua formação ocorreu em altas temperaturas, a partir da matéria mineral fundida em grandes profundidades e que, muitas vezes, extravasa à superfície do planeta por meio de vulcões. Por isso, as rochas ígneas são divididas em plutônicas e vulcânicas (CARROLL, 1970).

As rochas plutônicas são cristalizadas em profundidade e submetidas a condições de alta pressão e temperatura (entre 700 a 1.200°C), por isso, seu resfriamento é lento e, geralmente, em consequência disso, a textura dos minerais que a compõem é grossa e as rochas são ácidas. São classificadas como rochas ácidas as que apresentam mais que 65% de SiO<sub>2</sub> em sua composição. Nos granitóides, existe o predomínio de minerais como os feldspatos, as hornblendas, a muscovita, a biotita, o granito, o graniodiorito, o sienito, o gabro e outros (MENDES, 1984).

No Brasil, a ocorrência de rochas plutônicas, por exemplo, o granito, está relacionada aos escudos cristalinos nos compartimentos de relevo dos embasamentos e faixas de dobramentos. A presença de gnaisses, geralmente, está associada ao metamorfismo do granito. As rochas cristalinas ácidas são constituídas, principalmente, por feldspatos sódicos e potássicos, além de quartzo (KRAUSKOF, 1972).

As rochas vulcânicas originam-se da consolidação das lavas que representam o material rochoso em estado de fusão que extravasa na superfície da Terra. A lava, em contato com a superfície terrestre, alcança um resfriamento mais rápido e, geralmente, em consequência disso, a granulometria dos minerais que a compõem é mais fina. As lavas basálticas constituem o tipo mais comum nos derrames vulcânicos, caracterizando-se pela cor preta e temperatura de erupção entre 1.000 e 1.200°C. As propriedades físicas e químicas das

lavas basálticas, tais como a baixa viscosidade, menor retenção de gases dissolvidos e alta temperatura fazem com que o fluxo seja menos espesso e atinja áreas distantes em relação à erupção. Derrames enormes ocorreram em diversos continentes e ilhas, alguns deles originados durante eventos geológicos gigantescos como é o caso dos derrames da Bacia do Paraná (América do Sul), que originaram a Formação Serra Geral (MENDES, 1984). Segundo Müller Filho (1970), esses derrames estendem-se por mais de 1 milhão de quilômetros quadrados desde o sul de Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, além de abrangerem terras do Paraguai, Argentina e Uruguai, e também uma contraparte na África, estando separados pelo Oceano Atlântico.

Os derrames foram gerados entre 133 e 129 milhões de anos atrás (na Era Mesozóica), sendo constituídos, especialmente, por lavas basálticas que se sobrepueram aos paleorelevos sedimentares paleozóicos e mesozóicos da Bacia do Paraná, formando o compartimento geomorfológico denominado Planalto Norte-rio-grandense (ou Planalto Meridional Brasileiro) (PEREL'MANN, 1970). A origem do vulcanismo Serra Geral, ainda é debatida, porém Müller Filho (1970) denomina-o vulcanismo de fissura, que, intermitentemente, lançou camadas de lavas em extensas áreas que se acomodaram às estruturas já existentes. Esse vulcanismo, por sua vez, associou-se à fragmentação do supercontinente Gondwana, que culminou com formação do assoalho do oceano Atlântico, em processo até os dias atuais.

As rochas sedimentares e metamórficas derivam da decomposição, deposição e transformação das rochas ígneas. Essas rochas podem ser constituídas por uma associação de minerais argilosos e não argilosos. Àquelas com maior conteúdo de argila podem alterar-se e desagregar-se mais rapidamente do que àquelas com menor teor. As argilas não agregam fortemente os minerais e, por isso, se expandem e se contraem com mais facilidades, dependendo do conteúdo de umidade (água no solo) (WILLIAMS et al., 1970).

Entre as rochas metamórficas mais comuns, estão os gnaisses, os granulitos e os xistos, além dos quartzitos e mármore, entre outros. Os xistos pela presença de minerais filiticos orientados (xistosidade) tornam-se mais susceptíveis à infiltração dos agentes da alteração. Os granulitos de composição quartzo feldspática e textura granular são mais resistentes e intemperizam-se de forma similar aos granitos (WILLIAMS et al., 1970).

A estrutura geológica-geomorfológica do Estado do Rio Grande do Sul apresenta-se significativamente diferenciada, dividindo-se em quatro compartimentos com condições rochosas e geomorfológicas diferentes: Escudo Sul-rio-grandense, Planalto Norte-rio-grandense, Depressão Central e Planície Litorânea (MOREIRA, 2003).

O Escudo Sul-rio-grandense é o mais antigo, situado no sul-sudeste, ocupa cerca de pouco menos de 1/3 da área do Estado, na qual se situam municípios como Porto Alegre, Camaquã, Piratini, entre outros. A constituição litológica é representada por rochas metamórficas e ígneas, ambas de ampla variação composicional e rochas sedimentares muito antigas, dobradas ou não, representadas, predominantemente, por arenitos, conglomerados, subordinadamente, lutitos (MEDEIROS, et al., 1995). Nesse compartimento, a variedade litológica, de rochas ígneas ou de rochas metamórficas, é muito significativa. Contudo, alguns tipos são de maior ocorrência superficial. Assim, sobressaem-se as rochas do antigo grupo Cambaí, representado por migmatitos<sup>1</sup>, granulitos, gnaisses e cataclasitos<sup>2</sup>. Essas rochas têm uma grande expressão superficial a sudeste do Escudo Sul-rio-grandense, abrangendo municípios como Pinheiro Machado, Piratini, Canguçu e Camaquã, bem como a sudoeste, em municípios como Bagé, Lavras do Sul e Dom Pedrito. Os granitos são expressivos em várias áreas como São Sepé, Caçapava do Sul, Lavras do Sul, Dom Feliciano, Encruzilhada do Sul (DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL, 1984a; MEDEIROS, et al., 1995).

As rochas metamórficas pertencentes ao grupo Porongos, representado por sericita-muscovita-xistos; talco-clorita-xistos, mármore e quartzitos têm, da mesma forma, expressão superficial significativa, alongando-se no sentido SW-NE (DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL, 1984a; MEDEIROS et al., 1995).

No Escudo Sul-rio-grandense, as rochas sedimentares datam de, aproximadamente, 400 milhões de anos, representadas, em especial, pelos conglomerados da Formação Guaritas e pelos arenitos arcoseanos e siltitos da Formação Santa Bárbara. Essas rochas são muito expressivas, em área, na parte central do Escudo, também alongando-se no sentido SW-NE (DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL, 1984b; MEDEIROS et al., 1995).

Em função das características de relevo e, fundamentalmente, da litologia, em geral, os solos do Escudo Sul-rio-grandense são bem drenados a imperfeitamente drenados, com baixa CTC. Os que apresentam perfil mais desenvolvido situam-se nas bordas do Escudo, especialmente, sobre os gnaisses (plagioclásio sódico, feldspato, quartzo, biotita e outros)

---

<sup>1</sup> Migmatitos: rochas formadas nos níveis mais profundos da crosta terrestre, na qual os fenômenos ígneos e metamórficos fundem-se imperceptivelmente. São compostos de um material hospedeiro metamórfico com faixas e veios de granito. Ocorrem em escala regional em áreas metamórficas de alto grau.

<sup>2</sup> Cataclasitos: rochas que se deformam por fragmentação, sem restituição química. Incluem os milonitos.

(MEDEIROS, 1995). Na área de sedimentos antigos, a presença de um perfil desenvolvido é bastante incomum (AZEVEDO et al., 2006).

O Planalto Norte-rio-grandense ou Planalto Meridional Brasileiro, ocupa quase a metade da área do Estado e situa-se do centro para o norte, onde se localizam municípios como Passo Fundo, Santo Ângelo, Vacaria e Irai. É constituído por rochas vulcânicas desde básicas (maior área) até ácidas, do tipo riodacito (granófiro ácido), sendo essas significativas na região nordeste do Estado, conhecida como Campos de Cima da Serra. No conjunto, constituem a Formação Serra Geral. Nas proximidades de Júlio de Castilhos/Tupanciretã e de Cruz Alta/Santa Bárbara, ocorre um sedimento arenoso friável denominado Formação Tupanciretã, sobrejacente às vulcânicas da Serra Geral (MENDES, 1984; MEDEIROS et al., 1995).

Nesse compartimento, Planalto Norte-rio-grandense, a sucessão e o número de derrames (corridas de lavas distintas no tempo e, também, na composição) varia de local para local. Assim, por exemplo, na parte nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, na Serra do Pinto (estrada denominada “Rota do Sol” – Estrela – Caxias do Sul – Torres), existem cerca de 23 derrames, com uma espessura total de cerca de 1.000 metros (MENDES, 1984). Os derrames mais superiores são de características riodacíticas, com predominância de feldspatos alcalinos, quartzo e alguma biotita. Já na região de Santa Maria – Itaara, os derrames são em número de quatro, com uma espessura total de, aproximadamente, 200 a 250 metros. O derrame superior também é espesso e de características riodacíticas (MENDES, 1984; MEDEIROS, et al., 1995).

O desenvolvimento de solos, no Planalto Norte-rio-grandense, é distinto, especialmente, entre os da fronteira oeste, para os Campos de Cima da Serra (nordeste do Rio Grande do Sul) e para a maior parte deste compartimento geomorfológico. Os solos mais espessos e mais desenvolvidos estão sobrepostos aos basaltos do Planalto Norte-rio-grandense (STRECK et al., 2008).

Na faixa central do Estado, numa largura de, aproximadamente, 50 Km no sentido norte-sul, estende-se a Depressão Central ou Periférica, que tem, ao norte e a oeste, as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral e ao sul e a sudeste, as rochas cristalinas do Escudo Sul-rio-grandense. Nas imediações de Manoel Viana, inflete para o sul, circundando o Escudo até o município de Candiota (MEDEIROS et al., 1995).

Litologicamente, a Depressão Central, é constituída por sedimentos da Bacia do Paraná e de sedimentos mais modernos que datam de, aproximadamente, 65 milhões de anos. No sentido N-S, em toda a sua largura, a litologia e a geomorfologia da Depressão Central

mostram aspectos similares entre si, representados por sedimentos marinhos e lagunares e relevo com baixas altitudes e coxilhas alongadas. Porém, nas áreas da Depressão Central mais próximas ao Planalto Norte-rio-grandense, na direção oeste, a litologia evidencia aspectos bem distintos em relação à sua porção leste. No oeste, predomina uma cobertura arenítica muito friável, na qual são acentuados os processos de arenização (MEDEIROS et al., 1995).

Nas áreas da Depressão Central próximas ao Escudo-sul-riograndense afloram sedimentos da base da Bacia do Paraná, representados pelos arenitos, contendo camadas de carvão, da Formação Rio Bonito e pelos sedimentos finos (lutitos) das formações Palermo, Irati e Estrada Nova. Os arenitos da Formação Rio Bonito são basicamente quartzosos, com cimento ferruginoso, às vezes, silicoso. São comuns, além das camadas de carvão, camadas pouco espessas (aproximadamente um metro) de argila refratária (1:1). Os sedimentos finos das formações Palermo, Irati e Estrada Nova são marinhos, em geral, do tipo folhelho síltico-argiloso com concreções calcárias (Irati e Estrada Nova) (MEDEIROS et al., 1995). O relevo é formado de coxilhas não muito convexas, o que determina amplitude moderada entre os interflúvios e os talwegues (<50 metros), facilitando a formação e permanência de solos não muito profundos, em geral, o horizonte superficial chernozêmico, especialmente, ebânico carbonático (STRECK et al., 2008).

Nas áreas da Depressão Central próximas ao Planalto Norte-rio-grandense predominam sedimentos continentais arenosos, finos, quartzosos, micáceos (muscovita, localmente, biotita), ferruginosos da Formação Rosário do Sul. Topograficamente, essa Formação também não mostra relevo acidentado, exceto quando processos tectônicos se fazem presentes. As características de relevo e o substrato rochoso não contribuíram para o desenvolvimento de perfis de solo profundos, a não ser junto às drenagens (Jaguari, Cacequi, Ibicuí) (MEDEIROS et al., 1995).

Medeiros et al. (1995) ainda salienta que há presença significativa de sedimentos arenosos, pouco litificados, na direção oeste da Depressão Central. Tais sedimentos estendem-se, às vezes, de maneira descontínua, desde Santa Maria (oeste), passando por São Pedro do Sul, São Vicente do Sul, Cacequi, São Francisco de Assis, Manuel Viana, Alegrete, Maçambará, ocupando área significativa no Estado. São sedimentos areno- quartzosos, pouco consolidados, com espessura variável (podem atingir > 20 metros), cimento ferruginoso (apresenta níveis concrecionários), friável e extremamente susceptível a processos erosivos (vossorocamento). Por suas características mais acentuadas de relevo e pelo substrato rochoso, os solos são pouco desenvolvidos, sendo que apresentam somente o horizonte O.

A Planície Costeira ou Litorânea está situada a sudeste do Estado, numa faixa litorânea que se alonga no sentido N-S. É constituída pelos sedimentos, predominantemente, marinhos e faz parte da Bacia de Pelotas. O relevo é plano, recebendo até hoje, por erosão e transporte, sedimentos das partes altas (Escudo e Planalto) que a cercam pelo lado oeste. Os sedimentos que ocupam essa área são os pertencentes ao Grupo Patos, em que se salientam as formações Graxaim, Chuí, Guaíba e Itapoá.

A Formação Graxaim pouco aparece em superfície (nas proximidades de São Lourenço) e é constituída por areia, oriunda de rochas graníticas. A Formação Chuí tem expressão em superfície como afloramentos esparsos, nas proximidades de Rio Grande, Chuí, Mostardas, Cidreira e Lagoa dos Barros. São areias quartzosas, amarelo-avermelhadas, semiconsolidadas, pleistocênicas. A Formação Guaíba é constituída por depósitos marinhos, finos (siltico-argiloso) e ocorre junto ao Estuário do Guaíba. A Formação Itapoá, com expressão na península de Itapoá, no município de Viamão, que separa a Laguna dos Patos do Rio Guaíba, de Idade Quaternária, é constituída por areia quartzosa, fina a média, com espessura média > 50 metros. Apresenta um grau de laterização muito significativo (MEDEIROS et al., 1995).

Todos os compartimentos evidenciam solos distintos entre si. Os solos são distintos, também, dentro de um mesmo compartimento, o que demonstra, entre outras coisas, a heterogeneidade do substrato rochoso e, algumas vezes, a sua pouca maturidade. Diante dessa evidência, é importante estudar os solos e sua relação com o clima do Rio Grande do Sul.

## **2.2 Solo e sua relação com o clima**

O solo é um recurso lentamente renovável, encontrado na superfície terrestre que resulta da alteração de rochas e sedimentos pela ação das variações climáticas (intensidade de chuvas, variação de temperatura) e dos organismos vivos (fauna e flora), relevo (inclinação das vertentes), ao longo do tempo (STRECK et al., 2008).

As rochas são uma ocorrência natural de minerais agregados que têm suas propriedades geológicas formadas no processo de origem. Quando expostas à superfície, ficam sujeitas às condições ambientais muito diferentes daquelas em que se encontravam no interior da Terra. Devido a essas condições, as rochas sofrem uma série de transformações por processos

físicos, químicos e biológicos e passam a representar um corpo diferenciado e denominado de solo.

A alteração das rochas decorre especialmente das mudanças de ambiente que se manifestam na interface da atmosfera com a litosfera. Esse ambiente condiciona, especialmente, a rocha e dá origem à pedogênese. A formação do solo, portanto, decorre do intemperismo das rochas na superfície terrestre, provocado pela ação integrada de fatores como clima, material de origem, relevo, organismos e tempo (JENNY, 1941).

A idéia de solo como corpo natural organizado, ocupando um lugar independente na superfície terrestre, porém dependente de fatores ambientais, deve-se, primeiramente, ao geólogo russo Dokuchaev (1846-1903). Para Dokuchaev, solo é “um produto de origem específica, distinto do material originário”. Esse cientista ampliou seus estudos e publicou novo conceito, em 1883, definindo solo como “um produto de interações complexas entre clima, plantas e animais, rochas, relevo e idade das paisagens”. Glinka (1867-1929) enfatizou o conceito de solos como “uma crosta intemperizada que exhibe feições zonais correspondentes a zonas climáticas”. Marbut aliou trabalhos de campo a esses conceitos e produziu um sistema pedológico de classificação de solos, em 1927. Desde então, esses conceitos e o sistema pedológico foram adotados, ampliados e aplicados na caracterização, classificação e mapeamento de solo até chegar ao conceito de solo proposto por Jenny (1941) e ao de Simonsen (1959) que reconheceu a diferenciação dos horizontes do solo como o resultado de vários processos (FANNING; FANNING, 1989).

O *Soil Taxonomy* (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE) define solo como uma coleção de corpos naturais na superfície terrestre, localmente modificado ou mesmo construído pelo homem a partir de materiais terrestres, contendo matéria viva e suportando ou sendo capaz de suportar plantas ao ar livre (FANNING; FANNING, 1989).

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2006) define solo como 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 planeta, contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza, onde ocorrem. Ocasionalmente podem ter sido modificados por atividades antrópicas.

Azevedo e Dalmolin (2006) consideram solo como um sistema e o definem como qualquer entidade que pode ser decomposta em partes menores, e que para existir e funcionar, depende da organização harmônica destas partes.

Drew (1986) comenta que os solos vivem em equilíbrio dinâmico com os fatores que determinam as suas características: o clima, os materiais de origem, a topografia, a biota e o tempo. A formação dos solos de uma região ou local, portanto, depende da combinação de fatores endógenos que originam a rocha e de um conjunto de fatores exógenos desencadeados pelo clima, relevo e pelos organismos vivos. Esses processos pedogenéticos, no decorrer do tempo, determinam as feições do solo como cor, espessura de horizontes, quantidade de areia, silte, argila e matéria orgânica.

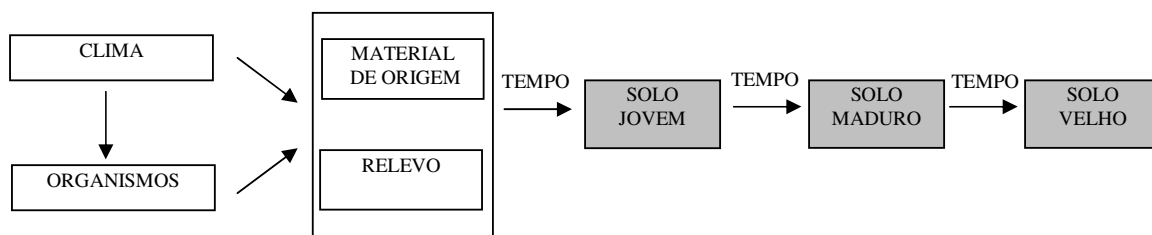
O Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos - SiBCS (EMBRAPA, 2006) salienta que é de suma importância a compreensão do processo de formação do solo, pois considera que existe uma sucessão de fenômenos desde o início do intemperismo sobre a rocha até a classe em que o solo se encaixa atualmente.

Bueno (1984) comenta que o clima determina o intemperismo e influencia de maneira rigorosa a pedogênese que, em escala mundial, o mapa das zonas climáticas corresponde, aproximadamente, com o mapa de solos do mundo.

Silva et. al. (2004) mostraram que a ação do clima, na gênese dos solos, pode ser constatada em ambientes simplicados como serras quartzíticas, sem aporte de materiais de outras litologias, constituindo, assim, ambientes especiais para a constatação de eventos cíclicos relacionados à dinâmica do clima.

Segundo Vieira (1975), o clima atua na pedogênese de duas formas: diretamente, proporcionando água e calor para a realização de reações químicas nas rochas; e indiretamente determinando a flora e a fauna local que, por sua vez, agem efetivamente no processo evolutivo do solo. A partir disso, o clima e, conseqüentemente por influência deste, os organismos (flora e fauna) podem ser considerados como fatores ativos, ou seja, aqueles que fornecem energia e que promovem mudanças através dos processos. A estrutura geológica é o fator passivo ou fator de estado inicial. O relevo e o tempo, que fornecem condições, podem também ser considerados como passivos. Dessa forma, a litologia recebe implicações da ação integrada do clima, relevo, organismos e tempo. O clima é condicionante dessa ação integrada e todos os demais fatores são condicionados, conforme ilustrado na figura 1.





**Figura 1 - Esquema de evolução dos solos em função dos fatores de formação (modificado de JENNY, H., 1941).**

O clima é o fator que, isoladamente, mais influencia no intemperismo. O intemperismo físico predomina nas áreas, onde a temperatura e a precipitação pluvial é baixa. Ao contrário, as zonas, em que predominam temperatura e precipitação pluvial altas, favorecem o intemperismo químico (TEIXEIRA et al., 2006).

A vegetação é o reflexo zonal do clima e dos solos. Segundo Rambo (1956), o clima e os solos agem simultaneamente na distribuição da vegetação natural sobre a superfície terrestre: o clima determina a formação vegetal e os solos, as suas variações locais.

Existe uma intrínseca relação entre solo e clima. As condições de temperatura e de precipitação pluvial determinam o intemperismo que, por sua vez, tem grande influência na formação dos solos. A combinação de solo e clima origina uma grande variedade de paisagens que contribuem para os diferentes padrões de ocupação e uso das terras (AYOADE, 1991). Portanto, fica evidente que tanto os seres vivos, animais e vegetais quanto os elementos naturais, como o solo e rochas, possuem estreita relação com as disponibilidades climáticas da região ou local de origem.

### **2.3 Clima e sua influência no intemperismo**

O clima de uma região e/ou lugar pode ser definido como o conjunto dos fenômenos meteorológicos que caracterizam o estado médio da atmosfera que aí predomina. É geralmente definido como “tempo meteorológico médio” ou como a descrição estatística das condições e mudanças do tempo meteorológico num período de tempo, que vai de meses a

milhões de anos. O período de tempo clássico é de 30 anos, definido pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM).

Mendonça e Danni-Oliveira (2007) mencionam alguns conceitos elaborados sobre o clima e observam que Julius Hann (1908) elaborou o conceito clássico de clima, considerando-o “o conjunto dos fenômenos meteorológicos que caracterizam a condição média da atmosfera sobre cada lugar da Terra”. Posteriormente, Max Sorre (1955) formulou outra definição e concebe o clima como “a série dos estados atmosféricos acima de um lugar em sua sucessão habitual”. Ayoade (1991) caracteriza-o como “a síntese do tempo num determinado lugar durante um período de 30-35 anos”.

As classificações climáticas, para a identificação e caracterização dos diferentes tipos de climas da Terra, foram estruturadas nos elementos climáticos que constituem o clima, e nos fatores geográficos do clima que condicionam os elementos climáticos. Os principais elementos climáticos de uma região ou local são radiação solar, temperatura do ar, umidade do ar, precipitação pluvial, vento, evaporação e evapotranspiração. Esses elementos, em suas diferentes manifestações, são condicionados, espacial e temporalmente, em decorrência dos fatores geográficos do clima como a latitude, a altitude, a maritimidade, a continentalidade, a vegetação, os ventos dominantes, as massas de ar e as atividades humanas. No Brasil, as classificações climáticas mais utilizadas são a de Köppen (1948) e a de Thornthwaite (1948).

Köppen (1948) e Köppen et al. (1953) consideraram as médias mensais e anuais de temperatura e a precipitação pluvial para definir os grupos e os subgrupos da classificação climática e relacionaram os limites da classificação climática aos limites que correspondem, aproximadamente, com os tipos de vegetação mais importantes (STRAHLER e STRAHLER, 2005). Desta relação observa-se que as plantas são sensíveis ao clima, se adaptam às condições de temperatura e de precipitação pluvial e, conseqüentemente, evidenciam diferentes paisagens.

A configuração climática do Brasil, conhecida como tropical, expressa-se especialmente na considerável luminosidade e nas elevadas temperaturas. A distribuição espacial do território brasileiro encontra-se quase completamente dentro da faixa intertropical da Terra, área de mais intensa radiação solar do globo, aliada aos altos valores de precipitação pluvial. Essas condições caracterizam o Brasil como um território em que predominam os climas quentes e úmidos.

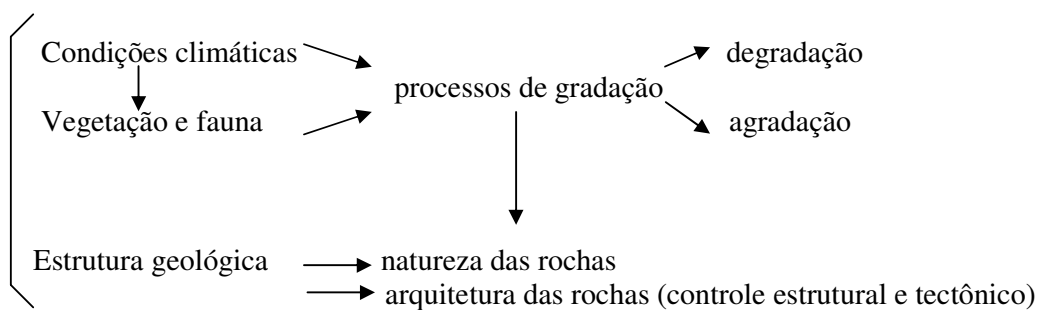
O sul do Brasil situa-se na faixa extratropical, na transição do clima tropical para o temperado. Conforme a classificação climática de Köppen et al. (1953), o Rio Grande do Sul se enquadra na zona temperada ou “C” e no tipo “Cf” ou temperado úmido. No Estado, o tipo

"Cf" se subdivide em duas variedades específicas, "Cfa" e "Cfb" (MORENO, 1961). A variedade "b" se restringe ao Planalto Norte-rio-grandense e ao Escudo Sul-rio-grandense, enquanto que as demais áreas pertencem à variedade "a".

Entre as regiões geográficas da Terra, bem regadas por precipitação pluvial, o sul do Brasil é, segundo Nimer (1990), a que apresenta distribuição espacial mais uniforme. No entanto, Moreno (1961) salienta que existe uma variação quantitativa de chuvas nas várias regiões do Estado. A região com os menores índices de precipitação pluvial localiza-se no litoral e no sul do Estado, na divisa com a República Oriental do Uruguai. Para Mota (1985), as chuvas ocorrem bem distribuídas durante todos os meses do ano. A amplitude de variação entre os meses de máxima e mínima não chega a ser significativa para caracterizar o clima como tendo um período chuvoso e outro seco. Há, portanto, uma relativa uniformidade do regime de precipitação pluvial do Estado que reside, principalmente, na forma pela qual as chuvas se distribuem ao longo do ano.

A temperatura, no sul do Brasil, apesar de apresentar variações durante o ano, mantém uma relativa semelhança que não permite a determinação de áreas intra-regionais distintas como se verifica em outras regiões geográficas do Brasil. É comum associar as regiões temperadas da Terra como aquelas que não têm calor, no entanto, na Região Sul do Brasil, a inclinação dos raios solares, em dezembro e janeiro, é muito pequena, semelhante ao Equador, decorrendo daí, ser comum a ocorrência de forte calor durante o verão (NIMER, 1990).

A precipitação pluvial e a temperatura do ar são elementos meteorológicos que mais afetam a evolução do perfil do solo (TEIXEIRA et al., 2003) e, também modificam, em parte, a paisagem natural, formada pelo relevo e vegetação (figura 2).



**Figura 2 – Esquema da influência das condições climáticas na formação da paisagem natural (modificado de JENNY, H., 1941).**

As condições climáticas influem sobre a meteorização e erosão, modificando as rochas por reações complexas e a paisagem por construção e abrasão. O clima, também, condiciona a cobertura vegetal e a fauna (o bioma) e, esses são importantes fatores sobre a intensidade da meteorização e da erosão.

A estrutura geológica (natureza das rochas e arquitetura das rochas) regula a velocidade do escoamento superficial das águas pluviais (que também depende da cobertura vegetal) e, portanto, “controla” a quantidade de água que se infiltra.

Na desagregação da rocha, a precipitação pluvial, além de sua contribuição preponderante no intemperismo químico, atua, também, no intemperismo físico num trabalho mecânico de destruição das rochas. A temperatura é outro fator climático de elevada importância na formação dos solos. Atua comumente com a água na velocidade e intensidade das reações químicas e na vida microbiana nos solos. Assim, a quantidade de água disponível no perfil de alteração, fornecida pela precipitação pluvial, bem como a temperatura agem para acelerar ou retardar as reações do intemperismo.

Portanto, é importante verificar o tipo e a eficácia do intemperismo em função das disponibilidades climáticas e sua influência na formação dos solos.

## **2.4 Intemperismo das rochas**

Entende-se por intemperismo o conjunto de processos químicos, físicos e biológicos que provocam a alteração *in situ* das rochas (GUERRA, 1989). Os materiais originados a partir do intemperismo das rochas são variáveis e o processo de alteração inicia-se na superfície em direção ao interior da litosfera. Conseqüentemente, num mesmo local, existem materiais em níveis de alteração bem distintos, o que confere ao conjunto, tanto do perfil quanto da área, um aspecto diferenciado em estágios de alteração. Na superfície, há um material em estado avançado de desagregação e decomposição, diferentemente do material mais profundo no perfil, onde se encontra uma mistura de material não alterado com material alterado.

O conjunto do material alterado, independentemente de seu estado, é denominado de regolito ou manto de decomposição. O material superficial do perfil, geralmente, em estado mais avançado de alteração e lixiviação, associado à matéria orgânica, é chamado de solo (CHRISTOFOLETTI, 1974; GUERRA, 1989).

Press et al. (2006) consideram que o intemperismo é dependente do clima. Tanto o regolito quanto o solo serão, continuamente, produto da interação do clima com as rochas. Uma mesma rocha, em climas diferentes, produzirá solos distintos.

O ambiente em que a maioria das rochas se originam é muito diferente do ambiente na superfície da crosta terrestre. As rochas são, geralmente, formadas em ambientes com temperatura e pressão elevadas e constantes, em ausência de luz, organismos, ventos e água (TEIXEIRA et al., 2006). Essas rochas, quando expostas na superfície da crosta terrestre, encontram condições bem diferentes: temperaturas menores e com variação ao longo do dia e noite e das estações do ano, presença de organismos e, especialmente, presença de umidade. Essas condições induzem à desagregação e desestruturação das rochas e é denominado intemperismo, que pode ser: químico, físico e biológico (PRESS et al., 2006). Na prática, essa divisão é problemática, porque os três ocorrem juntos, apesar de, muitas vezes, tanto o químico como o físico predominarem um sobre o outro, dependendo do clima (das condições de temperatura e de precipitação pluvial) (BIGARELLA, 1994).

O intemperismo físico é composto pelos processos que levam à fragmentação da rocha, sem modificação significativa em sua estrutura química ou mineralógica. Essas alterações ocorrem em consequência de vários processos como: variação de temperatura, existência de raízes, congelamento da água, precipitação de sais (PRIMAVESI, 2002).

Com a variação de temperatura, as rochas, compostas por diversos minerais, dilatam-se e se contraem de maneira diferente, pois os diversos minerais que compõem a rocha também se dilatam se contraem em direções e com intensidades diferentes. Esse fenômeno cria tensões no corpo da rocha, levando à fadiga do material e seu fraturamento (LEINZ et al., 1985). Nas rochas máficas (de coloração escura, como o basalto), esse processo é ainda mais intenso devido à maior absorção de calor (VIEIRA, 1975).

A existência de raízes e o seu crescimento e desenvolvimento pode exercer grandes pressões nas rochas, desencadear fendas e fissuras e, portanto, aumentar a superfície exposta ao ar e à água, facilitando o intemperismo químico (TEIXEIRA et al., 2006).

O congelamento da água, apesar de não ser comum no clima atual do Brasil, a formação de gelo na água acumulada em fendas, nas rochas, aumentam de volume e exercem pressão nas paredes, causando esforços que terminam por aumentar a rede de fraturas e fragmentar a rocha (BIGARELLA, 1994; TEIXEIRA et al., 2006).

A precipitação de sais é consequência do acúmulo de porções de água rica em sais que se acondicionam em fendas na rocha e podem ocasionar o fraturamento, quando a água evapora e os sais iniciam o processo de cristalização. O intemperismo químico é o conjunto

de reações que levam à modificação da estrutura dos minerais que compõem a rocha. Na natureza, é praticamente impossível separar o intemperismo físico do intemperismo químico, uma vez que ocorrem simultaneamente (BIGARELLA, 1994). O intemperismo químico, entretanto, torna-se mais acelerado, à medida que o intemperismo físico avança, devido ao aumento de Área Superficial Específica (ASE) dos minerais. O aumento de ASE é a maior contribuição do intemperismo físico para o avanço do intemperismo químico e a pedogênese. Portanto, a fragmentação da rocha é acompanhada por um aumento significativo da superfície exposta à ação dos agentes intempéricos químicos: hidratação, dissolução, hidrólise e oxidação.

Em vista do exposto, fica evidenciado que o intemperismo desencadeado, especialmente, pela precipitação pluvial e pela temperatura, é responsável pela reação que ocorre na rocha e inicia o processo de desintegração da mesma. Conhecer o tipo e a intensidade do intemperismo de uma área ou região, em função dos índices de precipitação pluvial e da temperatura, é importante para determinar os solos que podem ser formados a partir da influência do clima. Modelos de intemperismo podem ser utilizados em conjunto com outros modelos, como por exemplo, modelos edafoclimáticos.

## **2.5 Uso de modelos na relação entre solo e clima**

Modelos são representações de um sistema em determinada forma de linguagem, não necessariamente a linguagem matemática. A escolha da forma de descrição mais fidedigna à representação pretendida no sistema está relacionada, diretamente, aos objetivos envolvidos no estudo (BERRY, 1995).

O sistema é estudado sob determinado objetivo e tudo o que não afeta esse objetivo é eliminado. As simplificações que decorrem dessa interdependência estrutural foram denominadas de modelos. Assim, modelo é uma estruturação simplificada da realidade. Os modelos, porém, são apenas esquemas representativos da realidade e aproximações altamente subjetivas. Por isso, são analogias e não a realidade em si (CHORLEY; HAGGET, 1974).

Nesse sentido, Chorley e Hagget (1975) apresentam uma definição bastante adequada, assinalando que modelo é uma estruturação simplificada da realidade que supostamente apresenta, de forma generalizada, características ou relações importantes.

Berry (1995) considera que o modelo é uma representação da realidade sob uma forma material (representação tangível) ou forma simbólica (representação abstrata). Contempla, ainda, que a modelagem, no campo dos sistemas de informação geográfica, envolve representação simbólica das propriedades locacionais (onde), assim como dos atributos temáticos (o que) e temporais (quando), descrevendo condições do espaço e tempo.

Os modelos alcançaram importância em todos os campos científicos por constituírem mediação entre a técnica, a observação e a teoria. Preocupam-se com os princípios da redução, da conexão, da experimentação, da globalização, da explicação e da correlação (CHRISTOFOLETTI, 1974).

A modelagem e a simulação ajudam o pesquisador a formular hipóteses sobre processos e interações relevantes, a quantificar a influência de variáveis simples sobre o desempenho do sistema e sugerir novas necessidades de experimentação (WULLSCHLEGER et al, 1994).

Os modelos que integram diferentes variáveis desenvolveram-se em função da necessidade de se manter a coerência avaliativa das condições climáticas nas relações entre os aspectos sociais, políticos e econômicos e entre os aspectos físicos e biológicos (Rotmans et al. (1994) citado por CHRISTOFOLETTI, 1974).

A construção dos modelos integrados de avaliação depende dos objetivos do estudo. Podem ser escalonadas poucas equações, representando respostas simples para a relação existente entre solo e clima. Ou podem ser considerados conjuntos muito complexos de equações, procurando captar todos os processos (humanos e físicos) relacionados ao clima. No primeiro caso, o *input* do modelo pode ser a temperatura média anual, acompanhando a espacialização dos tipos de solos.

Burgos (1969, 1970) realizou diversos estudos por meio da utilização de modelos integrados. Nesses estudos, contemplou, também, uma análise para a relação entre os tipos de solos existentes na Província de Buenos Aires e Região Nordeste da Argentina e as condições climáticas. Utilizou os modelos edafoclimáticos de Lang (1915), Prescott (1931), Thornthwaite (1948), Aubert e Henin (1945), Thornthwaite e Hare (1955) e Budyko (1956). Os resultados obtidos foram contraditórios, mas o autor recomendou que o uso desses modelos auxiliaram a interpretar a evolução e a dinâmica dos tipos de solos aí existentes.

Teixeira et al. (2003) utilizaram modelos de intemperismo para evidenciar os tipos de intemperismo existentes em diversas regiões da América. Concluíram que o papel do clima é preponderante na determinação do tipo e eficácia do intemperismo.

Suguio (2003) mostrou o efeito combinado da precipitação pluvial, temperatura e vegetação sobre o desenvolvimento do perfil de alteração e evidenciou que as áreas localizadas em baixas latitudes apresentam perfis mais profundos.

Assim, conclui-se que há riqueza de proposições a partir do uso de modelos, pois as proposições, de modo prático, se orientam para objetivos específicos, temáticos ou de uso de técnicas, e empregam critérios satisfatórios à solução da hipótese enunciada. Por essa razão, é importante testar a aplicabilidade de modelos de intemperismo e edafoclimáticos em função do solo e do clima do Rio Grande do Sul. No Estado, a formação dos solos e sua relação com as condições climáticas ainda é pouco estudada por meio da aplicação de modelos.

## **2.6 Equivalência entre as classificações de solos**

Os modelos edafoclimáticos, mundialmente utilizados, como de Lang (1915), de Budyko (1956), Thornthwaite (1931), Thornthwaite e Hare (1955), Aubert e Henin (1945), Prescott (1931) e Kohnke et. al. (1968) são embasados nos grandes grupos de solos do mundo, definidos por Marbut (1935) (Quadro 1), de Baldwin (1938) e modificado por Thorp e Smith (1949) (Quadro 2). Contudo, pelas constantes atualizações que permitem sempre o aperfeiçoamento das classificações de solos, é necessário fazer uma correlação entre o Sistema de Classificação de Marbut (1935), de Baldwin (1938) e modificado por Thorp e Smith (1949), da *Soil Taxonomy*, e do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 1999; EMBRAPA, 2006).



<b>Ordem Zonal</b>	<b>Grandes grupos de solos</b>
Solos claros podzolizados de regiões com bosques	Podzólicos Podzólicos pardos Podzólicos cinza-pardo Podzólico vermelho-amarelo
Solos lateríticos de regiões cálidas, subtropicais úmidas, tropicais e equatoriais	Latossolos: Lateríticos marrom-vermelho Tropicais negros e cinza-escuros
Solos de bosques e praderas de transição Solos escuros de praderas semiáridas, subúmidas e úmidas	Chernozem degradado Pradera (Bruniziem) Vermelhos de pradera Chernozem Castanhos Castanhos vermelhos e pardo-vermelho
Solos de regiões áridas	Pardos Desérticos cinza (sierozem) Desérticos vermelhos Tundra Bosques árticos pardos
<b>Ordem Intrazonal</b>	<b>Grandes grupos de solos</b>
Solos hidromórficos, pântanos, altiplanos  Solos halomorfos de regiões áridas, pouca drenagem, depósitos costeiros Solos calcimorfos	Pantanosos Prados Prados alpinos Planossolos Salinos (solonchak) Alcalinos (solonetz) Rendzinas
<b>Ordem Azonal</b>	<b>Grandes grupos de solos</b>
Litossolos Regossolos	Aluviais Areias

**Quadro 1 – Sistema de Classificação de Solos de Marbut (1935).**

Fonte: STRAHLER; STRAHLER, 2005.

Ordem	Subordem	Grandes grupos	Subordem	Grandes grupos
Solos zonais	1. Solos da zona fria	Solos de tundra	4. Solos de transição campo floresta	Chernozem degradado
	2. Solos claros de regiões áridas	Solos desérticos Solos desérticos vermelhos Sierozem Solos brunos Solos bruno-avermelhados	5. Solos podzolizados	Podzol Podzólico bruno Podzólico bruno-acinzentado Podzólico vermelho-amarelo
	3. Solos escuros de campos úmidos, sub-úmidos e semiárido	Chestrut Chestrut avermelhado Chernozem Prairie Prairie avermelhado	6. Solos lateríticos de florestas temperadas e regiões tropicais	Laterítico bruno-avermelhado Laterítico bruno-amarelado Lateríticos
Solos intrazonais	Solos halomórficos de regiões áridas e litorâneas	Solonchak Solonetz Soloth	3. Solos hidromórficos	Glei húmico Glei pouco húmico Planossolo Podzol hidromórfico Laterita Hidromórfica Solos “bog” e “Half-bog” Solos alpinos
	2. Solos calcimórficos	Solos bruno de florestas Rendzina		
Solos azonais		Litossolos Regossolos Solos aluviais		

**Quadro 2 – Sistema de Classificação de Solos de Marbut (1935), de Baldwin (1938) e modificado por Thorp e Smith (1949).**

Fonte: SMITH, 1983.

A atual classificação pedológica do Brasil consiste na evolução do antigo sistema americano, formulado por Baldwin et al. (1938), modificada por Thorp e Smith (1949). Os conceitos e as denominações centrais deste antigo sistema americano evoluíram e originaram a *Soil Taxonomy* e formam a base da atual classificação brasileira, cuja esquematização atual deriva de modificações de critérios, alteração de conceitos, criação de novas classes, desmembramento de algumas classes originais e formalização de reconhecimento de subclasses, conforme Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos - SiBCS (EMBRAPA, 2006) (Quadro 3).

<b>SiBCS (BRASIL, 1973), EMBRAPA, (1999)</b>	<b>SiBCS (EMBRAPA, 2006)</b>	<b>Soil Taxonomy</b>
Podzólico Vermelho-Amarelo, Podzólico Amarelo, Podzólico Vermelho-Escuro, Terras Roxas e Brunas Estruturadas.	Argissolos	Ultisols, Oxisols
Cambissolos e solos aluviais.	Cambissolos	Inceptisols
Brunizém Avermelhado e Rendzinas.	Chernossolos	Molissols
Podzol e Podzol Hidromórfico.	Espodossolos	Spodosols
Glei e Solonchak	Gleissolos	Entisols
Latossolos	Latossolos	Oxisols
Podzólico Vermelho-Amarelo, Podzólico Vermelho-Escuro, Solos Brunos Não Cálcicos e Podzólicos Bruno-Acinzentados.	Luvissolos	Alfisols, Aridisols
Litólicos, Regossolos, Aluviais e Areias Quartzosas.	Neossolos	Entisols
Terra Roxa, Terra Bruna e Podzólico Vermelho-Escuro.	Nitossolos	Ultisols, Oxisols, Alfisols
Orgânico, Semiorgânico e Litólicos Turfosos.	Organossolos	Histosols
Planossolos, Solonetz Solodizados e Hirdromórficos.	Planossolos	Alfisols
Plintossolos, Lateritas Hidromórficas.	Plintossolos	Oxisols, Ultisols, Alfisols, Entisols, Inceptosols
Vertissolos e Vertissolos Hidromórficos.	Vertissolos	Vertisols

**Quadro 3 – Classes de solos segundo SiBCS (BRASIL, 1973; EMBRAPA, 1999), SiBCS (EMBRAPA, 2006) e Soil Taxonomy, em Alto Nível Categórico.**

Fonte: STRAHLER,.; STRAHLER, 2005; EMBRAPA, 2006 (adaptado).

As principais classes de solos identificadas no Rio Grande do Sul levam em consideração os perfis de solos descritos, especialmente, no Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul (BRASIL, 1973) e no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 1999; EMBRAPA, 2006).

Streck et al. (2008) definem doze classes de solos para o Rio Grande do Sul: Argissolo, Cambissolo, Chernossolo, Gleissolo, Latossolo, Luvisolo, Neossolo, Nitossolo, Organossolo, Planossolo, Plintossolo e Vertissolo.

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS – é um sistema dinâmico que permite seu constante aperfeiçoamento e atualização que provêm de estudos com informações detalhadas da distribuição dos diferentes solos. Streck et al. (2008) comenta que os inventários detalhados de solos ainda são raros na maior parte do Rio Grande do Sul.

No Rio Grande do Sul existe falta de estudos sobre a relação do solo e clima. Nesse sentido, a utilização de modelos que relacionam os solos com as disponibilidades climáticas são ferramentas úteis e apropriadas para avaliar o intemperismo e a influência do clima na formação do solo. Assim, esta tese está dividida em três capítulos, cujos objetivos foram:

- determinar a influência das disponibilidades climáticas na variação do tipo de intemperismo no Rio Grande do Sul;

- determinar a relação dos solos do Rio Grande do Sul com as disponibilidades climáticas regionais por meio de modelos edafoclimáticos;
- evidenciar os solos zonais do Rio Grande do Sul e determinar sua localização.

## **CAPÍTULO I**

### **CLIMA E INTEMPERISMO NA FORMAÇÃO DOS SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**

#### **INTRODUÇÃO**

A formação dos diferentes tipos de solos está diretamente relacionada ao intemperismo das rochas da superfície terrestre, provocado pela ação integrada de fatores, como clima, material de origem, relevo, organismos e tempo (JENNY, 1941). Dentre esses, o clima é aquele que, isoladamente, mais influencia no intemperismo (TEIXEIRA et al., 2003). Os dois elementos climáticos mais importantes no intemperismo, precipitação pluvial e temperatura, determinam a natureza e a velocidade das reações químicas nas rochas e definem a formação dos solos.

No processo de pedogênese, a desagregação das rochas é função, basicamente, da temperatura e a sua decomposição (ou alteração) é decorrente, principalmente, do conteúdo de água e, portanto, da precipitação pluvial. Ao mesmo tempo, o desenvolvimento de microorganismos e da vegetação, importantes para a evolução dos solos, está diretamente relacionado a esses elementos climáticos (JENNY, 1941).

A ação dos elementos climáticos no ambiente natural pode ser física, química e biológica. O processo físico predomina nas áreas onde a precipitação pluvial é baixa e as temperaturas podendo ser altas ou baixas ou, ainda, com elevadas amplitudes térmicas. A deficiência hídrica e as temperaturas extremas provocam a abertura de fissuras no solo, facilitando a desagregação. No processo químico, prevalece, igualmente, a ação da temperatura e da umidade no solo. Nas regiões mais úmidas, a água que se infiltra leva para as camadas inferiores elementos químicos solúveis, provocando a lixiviação da superfície e a acumulação desses em profundidade. O processo biológico é facilitado pela atuação da precipitação pluvial e da temperatura que auxiliam na decomposição da matéria orgânica e no desenvolvimento de microorganismos (BURGOS, 1969, 1970; MURCK et al., 1996). Nesse contexto, a gênese dos diferentes tipos de solos na superfície terrestre é influenciada,

principalmente, pelas disponibilidades climáticas, entre elas a temperatura e a precipitação pluvial.

Nos processos de alteração da superfície terrestre, em função dos fatores climáticos, distinguem-se, basicamente, dois grandes domínios edafoclimáticos: regiões sem e com alteração química. As regiões sem alteração química (deve-se considerar que sempre há alguma alteração, porém, é mínima), que correspondem a, aproximadamente, 14% da superfície continental, são aquelas caracterizadas por uma acentuada carência de água no estado líquido. E as regiões com alteração química, que abrangem o resto do globo. Distinguem-se, ao mesmo tempo, por uma frequência de água no solo e pela existência de cobertura vegetal mais ou menos desenvolvida. Este último caso constitui-se um domínio edafoclimático heterogêneo, subdividido em quatro zonas latitudinais de distribuição, em função das características climáticas: zona de acidólise, zona de alitização, zona de monossilitização e zona de bissialitização (SKINNER; PORTER, 1995).

A zona de acidólise corresponde, aproximadamente, a 16% da superfície continental da Terra e localiza-se na região circumpolar do hemisfério norte. Esse tipo de intemperismo é mais comum em regiões de clima frio onde a decomposição da matéria orgânica não é completa, levando à formação de ácidos orgânicos e turfas, sendo os solos resultantes ricos em quartzo e em matéria orgânica (SKINNER; PORTER, 1995). No Brasil, a acidólise não é um fenômeno comum na formação de solo, porém no Rio Grande do Sul ocorrem os Argissolos, predominantemente, na Depressão Central e, de forma esparsa, em outras regiões do Estado.

A zona de alitização ou ferralitização abrange em torno de 13% da superfície continental do planeta e corresponde às regiões de domínio tropical, próximas ao Equador, caracterizadas por precipitação pluvial elevada e vegetação densa (SKINNER; PORTER, 1995). Nesses ambientes, a dessilicação e lixiviação são intensas, ou atuaram durante um longo tempo sem que houvesse um rejuvenescimento do solo pelo aporte de material. Predomina o intemperismo químico através de hidrólise total e formação de óxidos e hidróxidos de alumínio, especialmente, os argilominerais como a Gibbsita (óxido de Alumínio) e Hematita e Goethita (óxidos de Ferro) (LOUGHNAN, 1969). É típico no Brasil Central, originando Latossolos gibbsíticos e férricos (THOMAS, 1994; BIGARELLA, 1994).

A zona de monossilitização compreende 18% da superfície continental da Terra e está contida no domínio tropical típico, em áreas de latitudes médias do Hemisfério Sul e Norte (SKINNER; PORTER, 1995). A monossilitização ocorre no caso de hidrólise parcial em que são originados argilominerais do tipo caulinita, em que a relação de átomos Si:Al é

1:1 (um átomo de silício para um de alumínio na molécula). Nessas condições, predominam os solos das zonas temperadas quentes com tendência à formação de perfis de solos profundos como os Latossolos, Nitossolos e os Chernossolos (LOUGHNAN, 1969; BIGARELLA, 1994). É a que ocorre em grande parte do Rio Grande do Sul e influencia, preferencialmente, na formação dos solos do Estado com aptidão para agricultura.

A zona de bissialitização corresponde a, aproximadamente, 39% da superfície continental do globo e localiza-se nas zonas temperadas e áridas (SKINNER; PORTER, 1995). Nesses ambientes, pode ocorrer a hidrólise parcial, em que são formados argilominerais do tipo esmectita, em que a relação Si:Al é 2:1 (dois átomos de silício para um de alumínio na molécula). Típica de ambientes com drenagem lenta, impedida e freqüente em regiões semi-áridas (SKINNER; PORTER, 1995). Nesses ambientes, formam-se os solos das zonas temperadas médias (BIGARELLA, 1994). No Rio Grande do Sul, ocorre na Região da Campanha Gaúcha, originando os Vertissolos, em relevo de coxilhas suavemente onduladas (STRECK et al., 2008).

Uma das maneiras de sintetizar a influência e a interdependência entre os solos e os elementos do clima têm sido a utilização de modelos de intemperismo e modelos edafoclimáticos. Na determinação do tipo e eficácia do intemperismo, há os modelos apresentados por Suguio (2003) e Teixeira et al. (2003). Entre os modelos edafoclimáticos, mundialmente utilizados, está o de Géze (1959). Possivelmente, esse modelo, é o que possui características geográficas apropriadas para demonstrar a relação existente entre a formação dos solos e as faixas climáticas, dispostas pela influência da precipitação pluvial e da temperatura do ar.

Strahler e Strahler (2005) apresentam um esquema (modelo teórico) das classes de solo de 1º nível categórico (ordens) e as principais subordens da *Soil Taxonomy* (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1998), distribuídas em um continente (teórico), segundo as zonas climáticas. Cada subordem indica uma relação entre clima e latitude, acentuando a interdependência entre clima e a formação do solo.

Bueno (1984) enfatiza que o clima influencia de tal modo à evolução dos solos que, em escala mundial, a carta das zonas climáticas corresponde, aproximadamente, com a da distribuição geográfica dos solos. Em nível de detalhe, entretanto, são encontradas modificações locais, conseqüência da maior ou menor continentalidade, da topografia e da cobertura vegetal. Ao utilizar o modelo de Géze (1959), concluiu que nos climas caracterizados por fraca precipitação pluvial, a formação e a evolução dos solos são semelhantes às de regiões desérticas e/ou subdesérticas, independentemente da temperatura.

No Rio Grande do Sul, as chuvas são frequentes e bem distribuídas e a amplitude térmica anual favorece o intemperismo químico e a formação de solos com maior proporção de minerais secundários (fração argila). Nessas condições, originam-se argilominerais do tipo caulinita, na relação 1:1 de Si:Al (silício e alumínio). No entanto, há, no Estado do Rio Grande do Sul, doze classes de solos identificadas e mapeadas, distribuídos de forma bastante heterogênea e com alternância, incluindo também solos rasos e pouco desenvolvidos (BRASIL, 1973; EMBRAPA, 2006; STRECK, et al., 2008).

Essas evidências induzem que as condições climáticas atuais no Estado têm influência na formação dos solos, apesar de, por si só, não explicarem a variedade e a alternância dos tipos de solos aí existentes. Dessa forma, é relevante relacioná-los às disponibilidades climáticas, tanto por meio de modelos de intemperismo como também de edafoclimáticos. Possivelmente, os únicos trabalhos realizados para a parte meridional da América do Sul, relacionando solos às disponibilidades climáticas, são os de Burgos (1969, 1970). A representação cartográfica também é um instrumento bastante útil para relacionar os diferentes tipos de solos às zonas climáticas. Por exemplo, os solos de altas latitudes são jovens, formados por material fracamente intemperizado. Para o continente americano, foi essencial a cartografia do solo traçada com base na classificação da *Soil Taxonomy*, pois permitiu estabelecer equivalência entre solos e clima de outras regiões do globo. Nesse mapa, em escala pequena, fica evidente que a distribuição dos solos é zonal em função da latitude, sendo relacionada, portanto, às condições climáticas.

O objetivo neste estudo foi determinar a influência das disponibilidades climáticas na variação do tipo de intemperismo que atua na formação dos solos no Rio Grande do Sul-Brasil.

## MATERIAL E MÉTODOS

A relação das disponibilidades climáticas e tipo de intemperismo existentes na formação dos solos no Rio Grande do Sul foi realizada por meio dos modelos de intemperismo contidos em Teixeira et al. (2003) e Suguio (2003) e do modelo edafoclimático de Géze (1959). Este último foi escolhido dentre os diferentes modelos edafoclimáticos por levar em conta características geográficas ao relacionar a formação dos solos às faixas climáticas dispostas pela influência da precipitação pluvial e a temperatura.



No modelo apresentado em Teixeira et al. (2003), são expressas, graficamente, a temperatura média anual no eixo das ordenadas e a precipitação pluvial média anual no eixo das abscissas. O gráfico é dividido em zonas de intemperismo físico (forte, moderado e leve), químico (forte, moderado e moderado com ação do congelamento) e físico e químico muito leves.

O modelo apresentado em Suguio (2003), considera que a intensidade do intemperismo pode relacionar-se à temperatura, precipitação pluvial e vegetação. Os valores de precipitação pluvial e de temperatura são expressos, graficamente, segundo as coordenadas geográficas.

No modelo de Géze (1959), a variável temperatura média anual condiciona a distribuição geográfica dos tipos de solos, segundo a latitude, dos Pólos ao Equador; e a variável, precipitação pluvial média anual, está disposta em faixas concêntricas, em torno das regiões desérticas. As regiões desérticas foram determinadas pelo índice de aridez de Martonne (1926):  $I_M = P/T + 10$ , em que  $I_M$  é o Índice de aridez de Martonne,  $P$  é a precipitação pluvial média anual e  $T$  a temperatura média anual.

Foram utilizadas as médias anuais de temperatura do ar e as médias dos totais anuais de precipitação pluvial de 41 estações meteorológicas pertencentes ao 8º Distrito de Meteorologia (8º DISME), período 1931-1960, relacionadas no quadro 1.

MUNICÍPIOS	ALTITUDE (m)	LATITUDE SUL	LONGITUDE OESTE	T (°C)	P (mm)
Alegrete	116	29°46'47"	55°47'15"	18.6	1574
Bagé	216	31°20'13"	54°06'21"	17.9	1264
Bento Gonçalves	619	29°10'00"	51°25'00"	16.8	1599
Bom Jesus	1047	28°40'10"	50°26'25"	14.4	1545
Caçapava do Sul	450	30°30'32"	53°29'22"	16.8	1588
Cachoeira do Sul	68	30°02'45"	52°53'39"	18.8	1438
Caxias do Sul	740	29°10'25"	51°12'21"	15.9	1663
Cruz Alta	473	28°38'21"	53°36'34"	18.4	1729
Dom Pedrito	140	30°58'57"	54°39'56"	18.2	1359
Encruzilhada do Sul	420	30°32'35"	52°31'20"	16.5	1504
Guaporé	450	28°55'44"	51°54'45"	16.9	1686
Iraí	227	27°11'45"	53°14'01"	18.8	1787
Itaqui	53	29°07'10"	56°32'52"	20.0	1453
Jaguarão	11	32°33'32"	53°23'20"	17.2	1337
Julio de Castilhos	516	29°13'26"	53°40'45"	18.0	1575
Lagoa Vermelha	805	28°25'35"	51°35'51"	16.7	1735
Marcelino Ramos	383	27°27'40"	51°54'22"	18.8	1652
Palmeira das Missões	634	27°53'55"	53°26'45"	18.1	1919
Passo Fundo	678	28°15'39"	52°24'33"	17.5	1664
Pelotas	7	31°45'00"	52°21'00"	17.5	1405
Piratini	345	31°26'54"	53°06'09"	16.2	1426
Porto Alegre	10	30°01'53"	51°01'53"	19.5	1309
Rio Grande	8	32°01'44"	52°05'40"	18.1	1162
Santa Cruz do Sul	56	29°43'05"	52°25'45"	19.3	1547
Santa Maria	138	29°41'25"	53°48'42"	19.2	1708
Santana do Livramento	210	30°53'18"	55°31'56"	17.8	1388
Santa Rosa	360	27°51'50"	54°25'59"	19.6	1663
Santa Vitória do Palmar	6	33°31'14"	53°21'47"	16.6	1235
Santiago	426	29°11'00"	54°53'10"	17.9	1534
Santo Ângelo	289	28°18'14"	54°15'52"	19.6	1713
São Borja	96	28°39'44"	56°00'15"	20.1	1523
São Francisco de Paula	912	29°20'00"	50°31'21"	14.4	2162
São Gabriel	124	30°20'27"	54°19'01"	18.5	1355
Soledade	720	29°03'14"	52°26'00"	16.9	1986
São Luiz Gonzaga	254	28°23'53"	54°58'18"	19.7	1662
Tapes	5	30°50'00"	51°35'00"	18.8	1213
Taquara	29	29°45'00"	50°45'00"	19.4	1459
Taquari	76	29°48'15"	51°49'30"	19.1	1424
Torres	43	29°20'34"	49°43'39"	18.3	1409
Uruguaiana	69	29°45'23"	57°05'12"	19.7	1346
Vacaria	955	28°33'00"	50°42'21"	15.2	1412

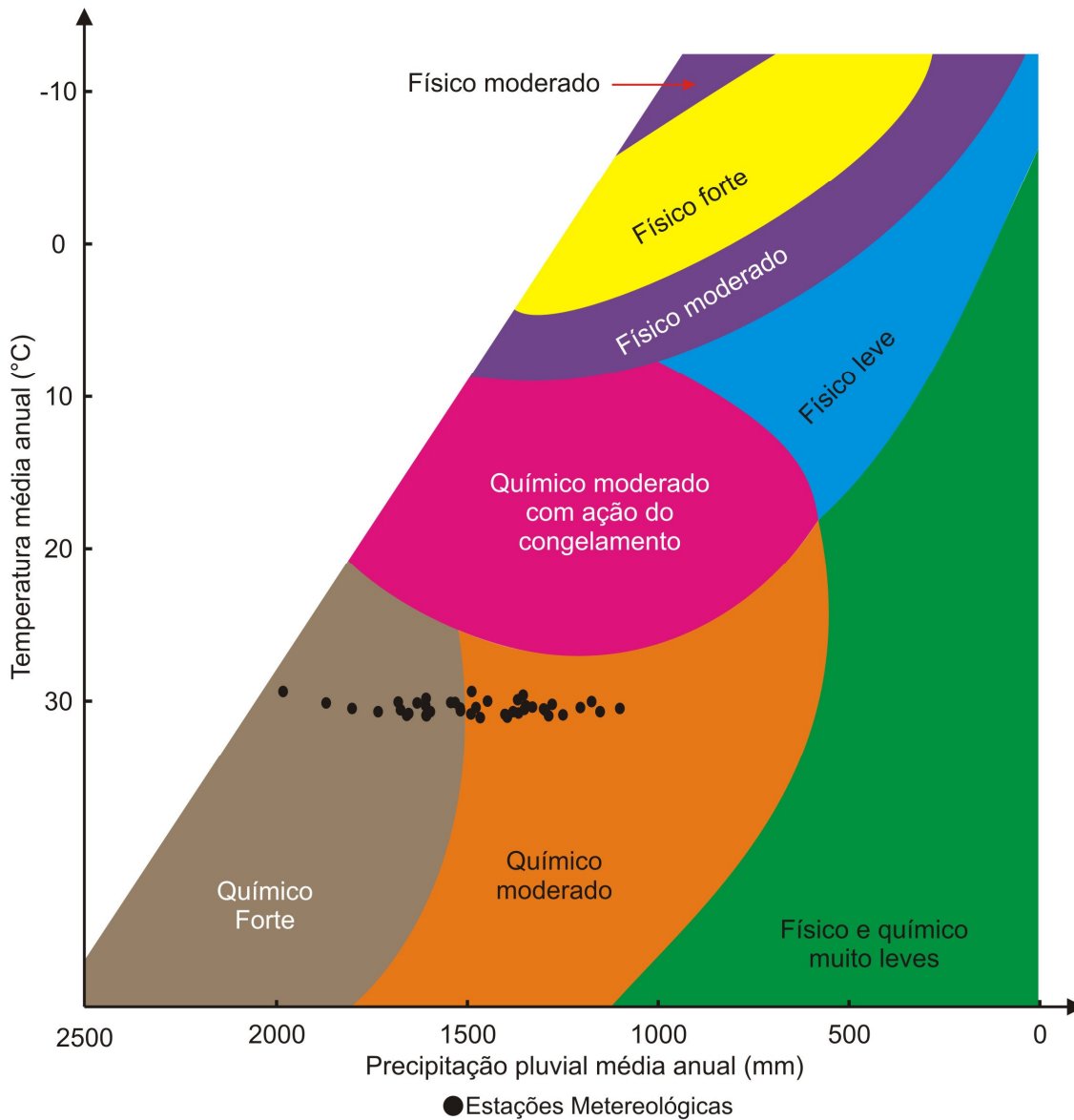
**Quadro 1 – Coordenadas geográficas e médias anuais da temperatura do ar (T) e médias dos totais anuais de precipitação pluvial (P) das estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul, pertencentes ao 8º DISME, utilizadas no estudo, período 1931-1960.**

Fonte: Instituto de Pesquisas Agronômicas (1989).

Os dados foram digitados e organizados nas planilhas do programa *Microsoft Windows Excel 2003* e exportados para o programa *Corel Draw 13*, para representação e adaptação, em escala equivalente, nos modelos de intemperismo (Sugiuo, 2003; Teixeira et al., 2003). As 41 estações meteorológicas foram, ainda, georreferenciadas e representadas no mapa do Rio Grande do Sul, adaptado de Moreira (2003), com a utilização do Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (2007). A distribuição geográfica das médias dos totais anuais de precipitação pluvial e das médias anuais de temperatura do ar, entre 1931 e 1960, foram representadas com base nos valores do quadro 1, no programa *Spring* versão 4.2.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 1 estão plotados os dados climáticos das 41 estações meteorológicas (quadro 1) no modelo gráfico contido em Teixeira et al. (2003). Observa-se que, no Estado, as condições climáticas são de intemperismo químico forte e moderado. Os dados de 22 estações meteorológicas (Alegrete, Bento Gonçalves, Bom Jesus, Caçapava do Sul, Caxias do Sul, Cruz Alta, Guaporé, Irai, Júlio de Castilhos, Lagoa Vermelha, Marcelino Ramos, Palmeira das Missões, Passo Fundo, Santa Cruz do Sul, Santa Maria, Santa Rosa, Santiago, Santo Ângelo, São Borja, São Francisco de Paula, São Luiz Gonzaga e Soledade) enquadram-se no modelo, nas condições de intemperismo químico forte e 19 estações meteorológicas (Bagé, Cachoeira do Sul, Dom Pedrito, Encruzilhada do Sul, Itaqui, Jaguarão, Pelotas, Piratini, Porto Alegre, Santana do Livramento, Santa Vitória do Palmar, São Gabriel, Tapes, Taquara, Taquari, Torres, Uruguaiana e Vacaria), enquadram-se no intemperismo químico moderado.



**Figura 1 – Enquadramento das médias anuais de temperatura do ar e das médias dos totais anuais de precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Estado, utilizadas no modelo de intemperismo apresentado em Teixeira et al., (2003).**

As maiores variações entre as diferentes estações meteorológicas ocorrem com as médias dos totais anuais de precipitação pluvial. Dessa forma, esse elemento climático é aquele que mais influencia na intensidade do intemperismo no Estado, conforme pode ser observado na distribuição geográfica das médias dos totais anuais de precipitação pluvial (figura 2).

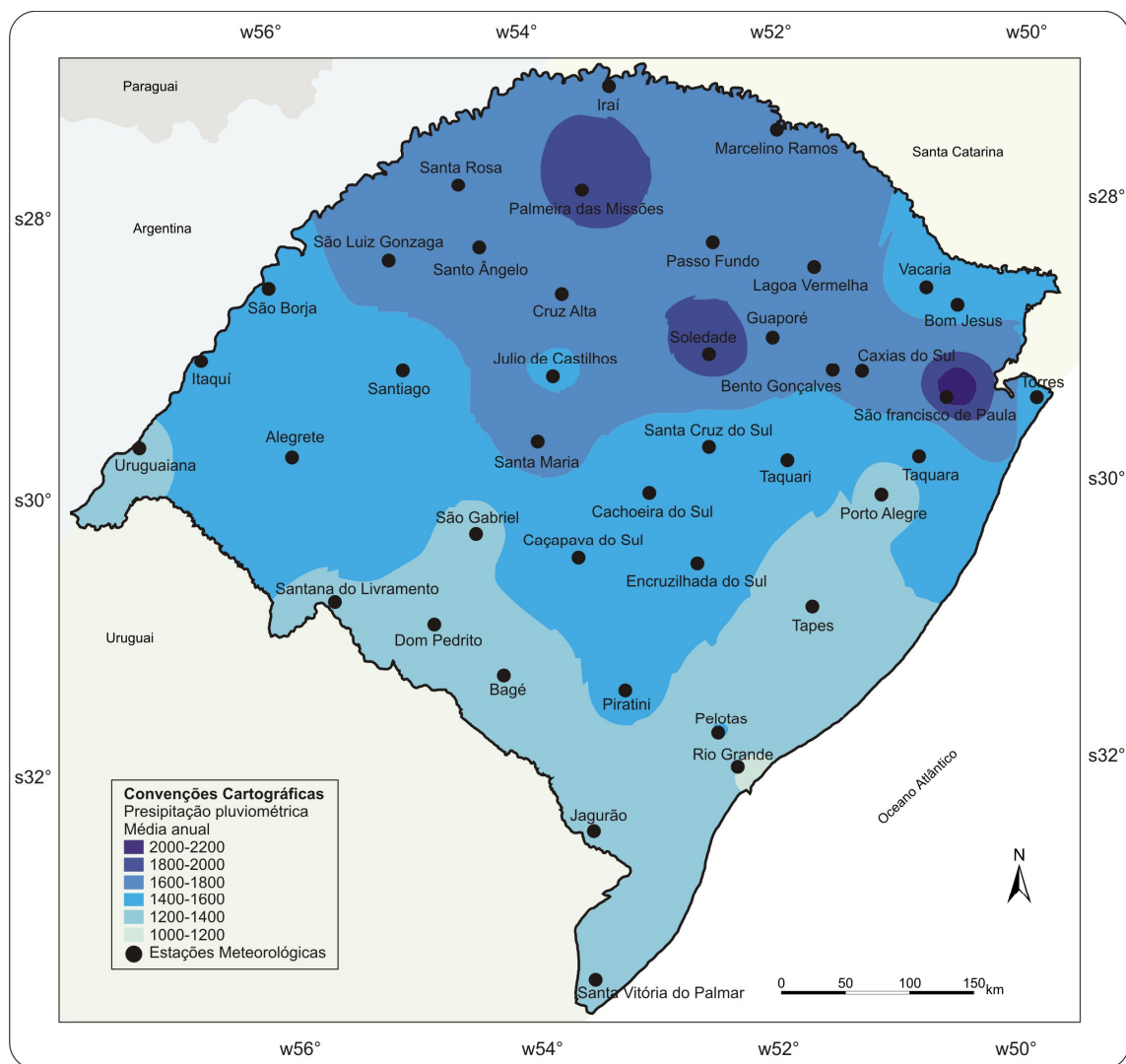


**Figura 2 – Distribuição geográfica das condições de intemperismo segundo enquadramento das médias anuais de temperatura do ar e das médias dos totais anuais de precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Estado, utilizadas no modelo de intemperismo apresentado em Teixeira et al., (2003).**

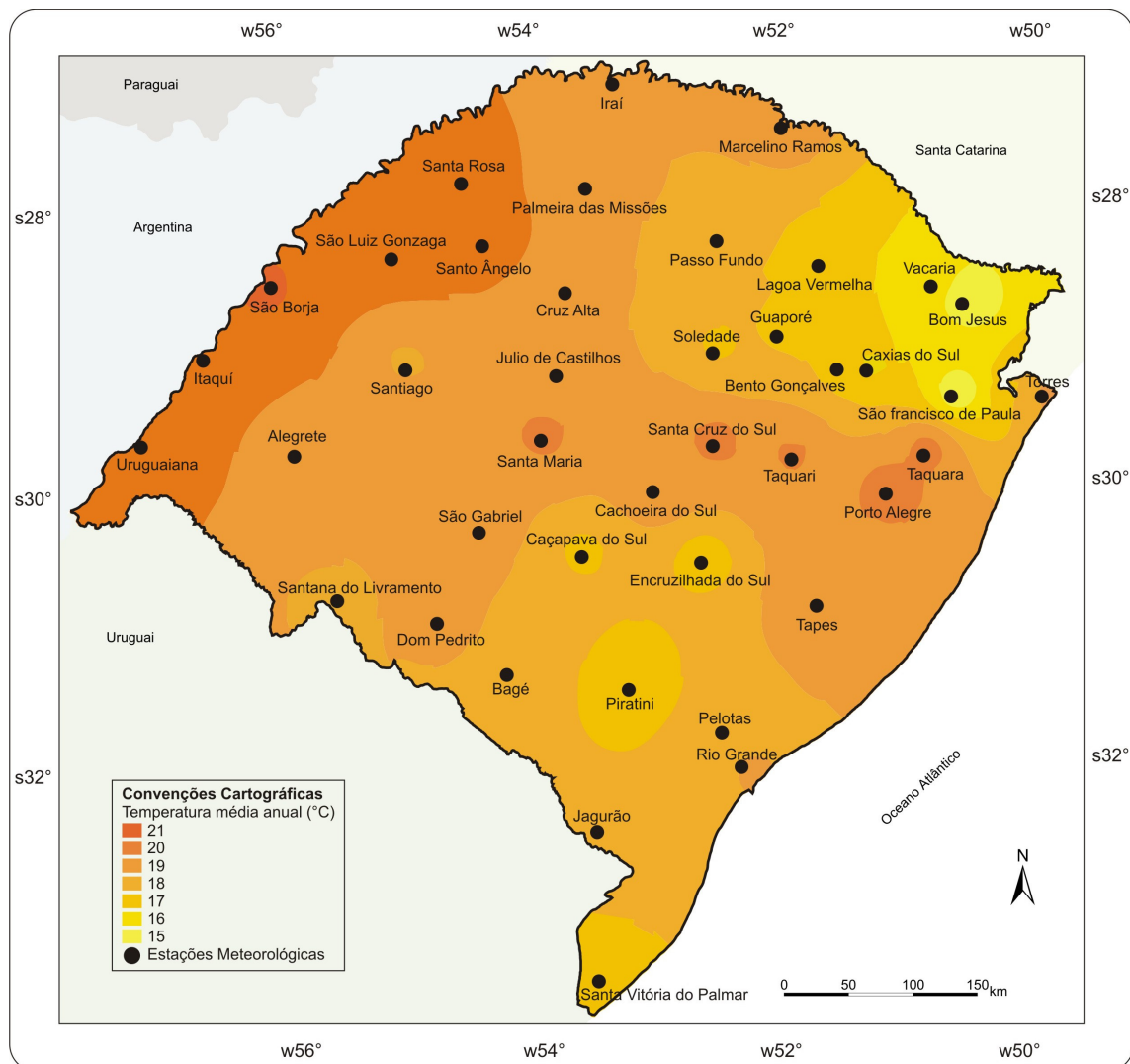
As 22 estações meteorológicas que atestam intemperismo forte estão localizadas ao norte do Estado, onde ocorrem os valores mais elevados de precipitação pluvial. Isso está de acordo com Skinner e Porter (1995) quando afirmam que a intensidade do intemperismo químico está associada aos valores e freqüência da precipitação pluvial: quanto maior a disponibilidade hídrica (média dos totais) e mais freqüente for sua renovação (distribuição dos totais), mais intensas serão as reações químicas do intemperismo.

A maior influência da precipitação pluvial no intemperismo na formação dos solos no Estado pode ser observada, confrontando-se os dados da distribuição geográfica das médias dos totais anuais de precipitação pluvial (figura 3), com aqueles das médias anuais da

temperatura do ar (figura 4). Em estações meteorológicas com elevados valores de precipitação pluvial, o intemperismo na formação dos solos é forte, independentemente dos valores das temperaturas. Isso pode ser comprovado no caso do intemperismo forte pelos dados das estações meteorológicas de São Francisco de Paula e Palmeira das Missões. No primeiro local, há valores elevados de precipitação e baixa temperatura e, no segundo, os valores tanto de temperatura como de precipitação pluvial são elevados. No caso de intemperismo químico moderado, podem-se comparar os locais de Uruguaiana e Rio Grande, onde, respectivamente, há valores baixos de precipitação pluvial, elevados de temperatura e valores baixos tanto de precipitação pluvial quanto de temperatura.



**Figura 3 – Distribuição geográfica das médias dos totais anuais de precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Estado, entre 1931 e 1960, com base nos valores do quadro 1.**



**Figura 4 – Distribuição geográfica das médias dos totais anuais de temperatura do ar das 41 estações meteorológicas do Estado, entre 1931 e 1960, com base nos valores do quadro 1.**

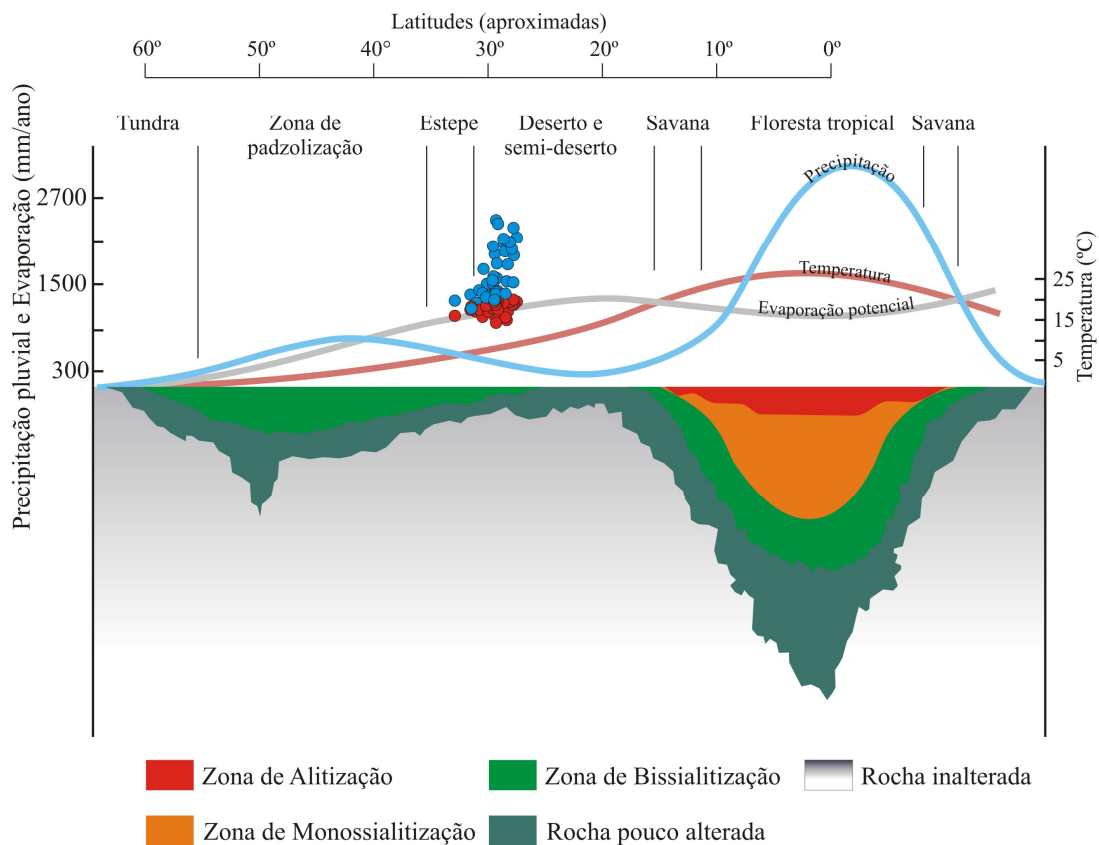
Com exceção de Caçapava do Sul, as estações meteorológicas enquadradas no modelo como de intemperismo forte localizam-se na metade norte do Estado, que é onde mais chove no Rio Grande do Sul. Em Caçapava do Sul, a única estação meteorológica da metade sul do Estado em que se observa a ocorrência de intemperismo químico forte, pois aí a precipitação pluvial é mais elevada do que nas outras estações meteorológicas da mesma região, em função da altitude.

Outra exceção é em Vacaria no nordeste do Estado onde constatou-se menor precipitação pluvial do que nas demais estações meteorológicas localizadas no Planalto Norte-riograndense. Portanto, tanto na metade norte como na metade sul do Estado ocorrem

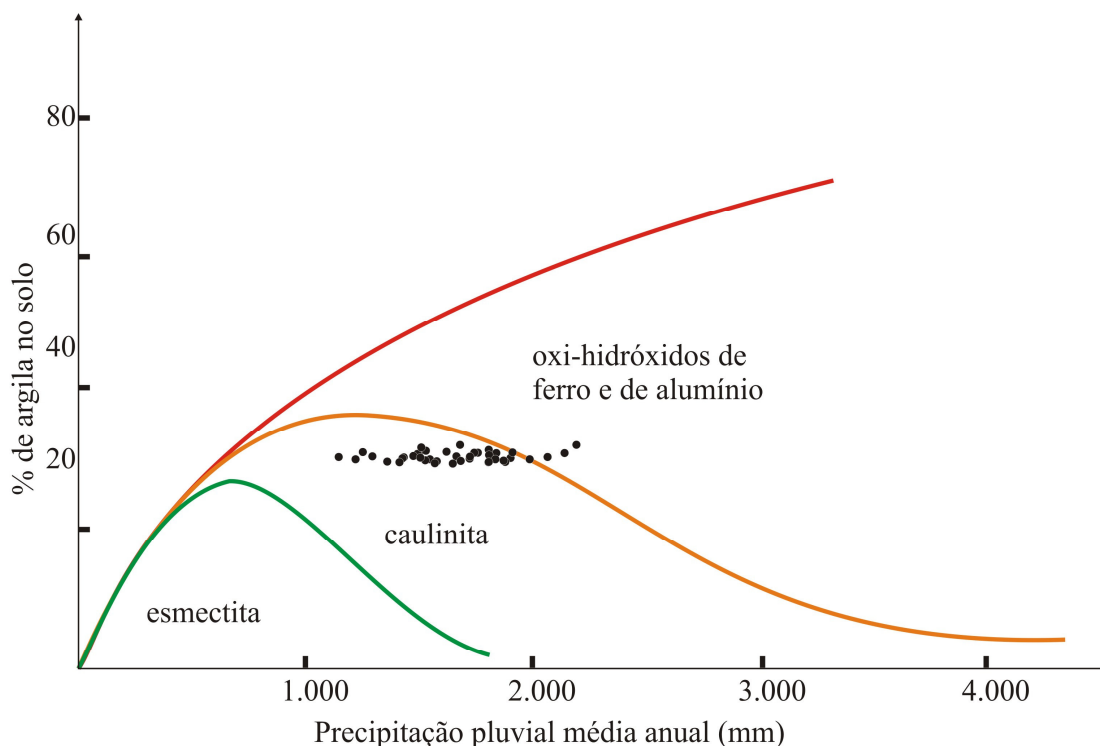
exceções: no nordeste do Planalto Norte-rio-grandense, na estação meteorológica de Vacaria, a média dos totais anuais de precipitação pluvial é de 1412 mm e, na Serra do Sudeste, na estação de Caçapava do Sul, de 1588 mm, respectivamente abaixo e acima de 1500 mm, limite entre condições de intemperismo forte e moderado. No caso de Vacaria e região, a menor precipitação pluvial, em relação às estações meteorológicas próximas, deve-se a uma conjugação entre fatores orográficos e direção dos ventos locais. Nessa região do Planalto, diminui o efeito convectivo do rebordo da Serra Geral nas massas de ar originárias do sul do continente americano. Os ventos, em sua trajetória, alcançam o topo do Planalto com menor temperatura e umidade e, portanto, propiciam precipitações pluviais menos intensas e mais esparsas. No caso de Caçapava do Sul, a maior precipitação pluvial é em função do efeito da altitude, especialmente, nas áreas mais elevadas da Serra do Sudeste.

Pelo modelo de Suguio (2003) (figura 5), os resultados confirmam àqueles da figura 1, indicando que o tipo e a intensidade do intemperismo, relacionado à temperatura e precipitação pluvial, favorecem as condições de alteração e de lixiviação típicas da zona de monossilicização e confirma-se que o intemperismo é função, principalmente, da precipitação pluvial. Essas condições favorecem a formação de um solo com maior proporção de minerais secundários, especialmente a caulinita e os oxi-hidróxidos (figura 6).





**Figura 5 – Enquadramento das médias anuais de temperatura do ar e das médias dos totais anuais de precipitação pluviométrica das 41 estações meteorológicas do Estado, utilizadas no modelo de intemperismo apresentado em Suguio (2003) (modificado).**

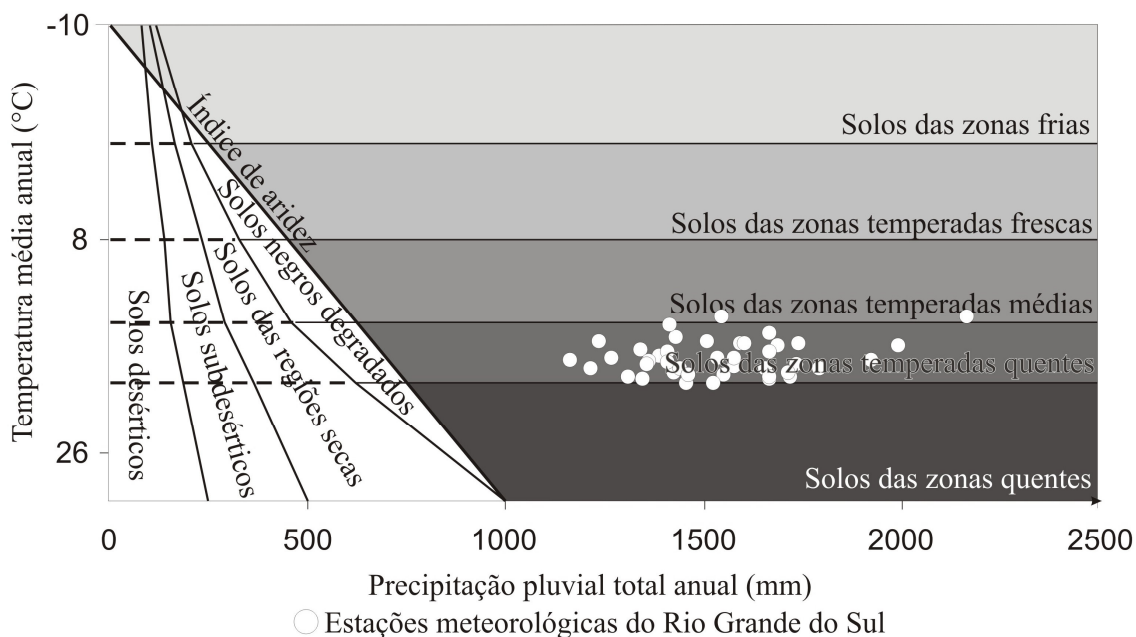


**Figura 6 – Enquadramento das médias anuais de temperatura do ar e das médias dos totais anuais de precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Estado, utilizadas no modelo de intemperismo apresentado em Teixeira et al. (2003).**

Os dados (figura 6) confirmam que a quantidade e a natureza dos produtos do intemperismo estão correlacionadas, principalmente, com a precipitação pluvial e confirma a proposição de Teixeira et al. (2003) que para cada faixa de valor de precipitação pluvial corresponde uma composição predominante de minerais secundários: esmectita para valores de precipitação pluvial não muito elevada (bissialitização), caulinita para valores médios (monossialitização) e oxi-hidróxidos para valores mais elevados (alitização e ferralitização).

Na figura 7, tem-se a localização dos dados de precipitação pluvial e de temperatura das 41 estações meteorológicas utilizadas no modelo edafoclimático de Géze (1959). Com exceção de quatro estações meteorológicas, todas se enquadram nas condições climáticas para solos das zonas temperadas quentes: temperaturas médias anuais de 15°C até 20°C e precipitações pluviométricas médias anuais acima de 800mm. As exceções, São Francisco de Paula e Bom Jesus, localizadas nas áreas de maior altitude, acima de 900 metros, com as temperaturas médias anuais mais baixas do Estado, 14,4°C, enquadram-se em solos de zonas

temperadas médias (FERREIRA et al., 1971). Excetuam, ainda, São Borja e Itaqui, com temperaturas médias anuais de 20,1°C e 20,0°C, respectivamente, que se encontram na faixa de transição para condições de solos das zonas quentes.



**Figura 7 – Enquadramento das médias anuais de temperatura do ar e das médias dos totais anuais de precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Estado, utilizadas no modelo edafoclimático de Géze (1959).**

Com relação às médias dos totais anuais de precipitação pluvial, observa-se um ajuste nos dados registrados nas diferentes estações meteorológicas no modelo edafoclimático, pois todos os valores médios são superiores a 880mm, limite considerado pelo Índice de aridez de Martonne ( $I_M$ ). Destacam-se, com valores significativos de precipitação pluvial, as estações meteorológicas de São Francisco de Paula, Palmeira das Missões e Soledade, com 2162mm, 1919mm e 1986mm, respectivamente.

Constata-se que os solos do Estado enquadram-se nas zonas temperadas quentes. É nessas condições que ocorre a zona de monossilitização. Conforme Skinner e Porter (1995), essa zona contida no domínio tropical subúmido, com precipitação pluviométrica superior a 500mm e temperatura média anual superior a 15°C, beneficia a formação dos argilominerais, especialmente, a caulinita e os oxi-hidróxidos de ferro, resultantes do intemperismo do

feldspato encontrado em rochas metamórficas, ígneas e sedimentares. O feldspato, quando submetido a condições de precipitação pluvial e de temperatura, condiciona solos profundos e homogêneos, altamente intemperizados.

A água é o agente fundamental da intemperização química. Em regiões com disponibilidades pluviométricas bem distribuídas durante o ano, a temperatura condiciona e potencializa a ação da água: ao mesmo tempo em que acelera as reações químicas, aumenta a evaporação, diminuindo a quantidade de água disponível para a lixiviação dos produtos solúveis. A cada 10°C de aumento de temperatura, a velocidade das reações químicas aumenta de duas a três vezes (Suguio, 2003).

Pelos resultados obtidos com os modelos de intemperismo apresentados em Teixeira et al. (2003) e Suguio (2003), em todas as estações meteorológicas utilizadas, obteve-se condições de intemperismo químico. Dessa forma, todos os locais estudados se caracterizam como de condições à esfoliação esferoidal da rocha. Levando-se em conta, ainda, as condições climáticas vigentes no Rio Grande do Sul pelos resultados obtidos no modelo de Géze (1959), conclui-se que as disponibilidades hídricas e térmicas favorecem a formação de solos das zonas temperadas quentes que favorecem as condições de alteração e de lixiviação típicas da zona de monossialitização.

## CONCLUSÕES

As condições climáticas do Rio Grande do Sul, temperatura e precipitação pluvial, favorecem o intemperismo químico. O principal agente desse intemperismo químico é a água da precipitação pluvial.

O intemperismo químico forte predomina na metade norte do Estado, enquanto que na metade sul predomina o intemperismo químico moderado.

As disponibilidades pluviais favorecem a formação de caulinita, preponderante na zona de monossialitização.

## REFERÊNCIAS

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Vol. 1. Florianópolis: Editora da UFSC, 1994. 424 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. 431 p. (DNPEA. Boletim técnico, 30).

BUENO, M. E. T. **Solo e clima**: uma introdução ao estudo de suas relações. Revista Geografia e ensino. Ano 2, nº 6, p. 3-11, 1984.

BURGOS, J. J. **El clima de la Provincia de Buenos Aires en relación con la vegetación natural y el suelo**. In CABRERA, A. L. Flora de la Provincia de Buenos Aires. Buenos Aires: INTA, p. 33-39, 1969.

BURGOS, J. J. **El clima de la Región Noreste de la Republica Argentina con la vegetación natural y el suelo**. Boletín de la Sociedad Argentina de Botânica. Buenos Aires, v. 11, p. 37-102, 1970.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa solo, 2006. 306 p.

FERREIRA, M.; ESTEFANEL, V.; BURIOL, G. A. Estimativa das temperaturas médias mensais e anuais do Estado do Rio Grande do Sul. Ver. Centro Ciências Rurais, Santa Maria, v. 1, nº 4, p. 21-52, 1971.

GÉZE, B. **Altération dès roches et formation dès sols**. La Terre. Paris: Librairie Gallimard, 1959. 73 p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Disponível em [www.dpi.inpe.br/spring/](http://www.dpi.inpe.br/spring/). Acesso em 22 de setembro de 2007.

INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS. **Atlas agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 1989. 102p. (V 1).

JENNY, H. **Factors of soil formation**. New York: McGraw-Hill, 1941. 281 p.

LOUGHNAN, F. C. **Chemical weathing of the silicate minerals**. New York: American Elsevier Publishing Company, Inc., 1969. 390 p.

MARTONNE, E. de **Une nouvelle fonction climatologique: l'indice d'aridité**. La Météorologie, Paris, oct., p. 449-459, 1926.

MOREIRA, I. **O espaço rio-grandense**. São Paulo: Ática, 2003. 96 p.

MURCK, B. W.; SKINNER, B. J.; PORTER, S. C. **Environmental geology**. New York: J. Willey & Sons. 1996. 411 p.

SKINNER, B. J.; PORTER, S. C. **The dynamic Earth**. New York: J. Willey & Sons, 1995. 496 p.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2008. 222 p.

STRAHLER, A. N.; STRAHLER, A. N. **Geografia Física**. Barcelona, 2005. 550 p.

SUGUIO, K. **Geologia sedimentar**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2003. 400 p.

TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de textos, 2003. 558 p.

THOMAS, M. F. **Geomorphology in the tropics**. New York: John Wiley & Sons, 1994. 320 p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Keys to Soil Taxonomy**. Washington D.C., 1998. 328 p.

## **CAPÍTULO II**

### **RELAÇÃO ENTRE SOLO E CLIMA NO RIO GRANDE DO SUL, SEGUNDO DIFERENTES MODELOS EDAFOCLIMÁTICOS**

#### **INTRODUÇÃO**

O clima determina o intemperismo, condicionando as características do solo formado da rocha matriz de distintas composições mineralógicas. No Rio Grande do Sul ainda existem poucos estudos que relacionam a formação do solo com o clima por meio da utilização de modelos edafoclimáticos.

Um mesmo tipo de rocha, quando submetida a condições climáticas diferentes, geralmente, se transforma em tipos de solos distintos. Por outro lado, rochas diferentes, quando sujeitas às mesmas condições climáticas, por um logo período de tempo, dão origem, normalmente, a solos semelhantes ou quase idênticos. Os solos zonais, que recobrem vastas áreas da superfície terrestre, refletem esse condicionamento dominante (CHRISTOFOLETTI, 1974). No entanto, o esquema, válido na escala do planeta Terra, pode ser bastante modificado por condições locais, dando origem aos solos intrazonais, que têm sua formação influenciada, principalmente, por fatores locais como relevo, litologia, organismos e vegetação (TEIXEIRA et al., 2003). Assim, a gênese dos diferentes tipos de solos está diretamente relacionada ao intemperismo das rochas da superfície terrestre, provocado pela ação integrada de fatores como material de origem, clima, relevo, vegetação, animais e/ou organismos e tempo (JENNY, 1941). O clima, principalmente pela ação da precipitação pluvial, temperatura, radiação solar, umidade do ar, evaporação e vento, é o fator que atua com maior intensidade no condicionamento dos diferentes tipos de solos (TEIXEIRA et al., 2003).

A idéia de relacionar os solos ao clima é antiga. Nas primeiras tentativas de classificação dos solos, em escala mundial, a distribuição geográfica dos solos corresponde, aproximadamente, com as diferentes zonas climáticas traçadas na carta da superfície terrestre (BUENO, 1984).

Atualmente, a relação existente entre solos e clima continua sendo utilizada, pois, resume as bases para uma ampla apreciação da distribuição geográfica dos solos do mundo e sua relação com os diferentes tipos climáticos no globo, bem como com os grandes biomas de vegetação natural e com o tipo de agricultura (STRAHLER; STRAHLER, 2005).

Segundo Drew (1986), apesar do caráter genérico, a relação entre solo e clima representa um guia global para as amplas variações existentes nos tipos de solos. Considera que os tipos, enumerados como solos zonais, foram divididos em aproximações em que solo, vegetação e clima estão interligados, sendo o clima a causa e os solos e a vegetação os efeitos.

No Rio Grande do Sul, a relação entre solos e clima é pouco estudada. O clima do Estado, segundo a classificação climática de Köppen (1948), é do tipo Cfa (úmido em todas as estações, verão quente) e Cfb, (úmido em todas as estações, verão moderadamente quente) com chuvas bem distribuídas ao longo dos doze meses do ano (MORENO, 1961; KUINCHTNER et al., 2001). Nesse caso, a precipitação pluvial, a temperatura do ar e a amplitude térmica favorecem a formação de solos profundos. No entanto, há doze classes de solos identificadas e mapeadas (STRECK et al., 2008), distribuídas, geograficamente, de forma bastante heterogênea e com alternância, incluindo, também, solos rasos e pouco desenvolvidos. Para a explicação dessa variedade e alternância de diferentes tipos de solos no Estado, provavelmente, necessitar-se-á de estudos relacionados aos fatores, além do clima, que influenciaram a sua formação. Inicialmente, porém, é importante determinar a relação entre solos zonais e as disponibilidades climáticas no Estado.

A síntese da relação, entre solos zonais e as disponibilidades climáticas, pode ser realizada com a utilização de modelos edafoclimáticos. Esses modelos servem para verificar a relação e/ou a aproximação existente entre a variação espacial, principalmente, da temperatura e da precipitação pluvial com a distribuição dos solos. Com esse intuito, vários modelos já foram utilizados. Por exemplo, Burgos (1969, 1970) estudou a relação entre os tipos de solos existentes na Província de Buenos Aires e Região Nordeste da Argentina com as condições climáticas, utilizando alguns desses modelos edafoclimáticos mundialmente conhecidos.

Neste trabalho, objetivou-se determinar a relação entre solo e clima no Estado do Rio Grande do Sul por meio da utilização de modelos edafoclimáticos.



## MATERIAL E MÉTODOS

A relação dos solos com as disponibilidades climáticas foi realizada por meio dos modelos edafoclimáticos de Lang (1915), Prescott (1931), Thornthwaite (1931), Aubert e Henin (1945), Thornthwaite e Hare (1955), Budyko (1956) e Kohnke et al. (1968).

No modelo de Lang (1915), foi utilizada a seguinte equação:  $I_L = P/T$ , sendo  $I_L$  o índice de Lang (1915),  $P$  é a precipitação pluvial média dos totais anuais (mm) e  $T$ , a temperatura média anual (°C).

No modelo de Prescott (1931), utilizou-se o índice de Meyer (1926) que relaciona a precipitação pluvial ao déficit de saturação do ar. Meyer (1926) propôs a seguinte relação:  $P/DS$ , sendo  $P$  a precipitação pluvial anual em mm e  $DS$  é o déficit de saturação do ar em mm de Hg. O déficit de saturação ( $DS$ ) do vapor de água na atmosfera foi calculado pela diferença  $e_s - e_a$ , em que  $e_s$  e  $e_a$  são, respectivamente, a pressão de saturação e a pressão atual do vapor de água na atmosfera (mb). O valor de  $e_s$ , para cada estação meteorológica, foi obtido por meio da equação de Tetens (WEISS,1977):  $e_s = 6,178 \exp[17,2693882T/(T+237,3)]$ , sendo  $T$  a temperatura média anual (°C) e aquele de  $e_a$ , pela equação  $e_a = UR \cdot e_s/100$ , sendo  $UR$  a umidade relativa média anual. A anotação  $\exp\{x\}$  indica  $x^e$ , em que  $e = 2,71828$ . Para o cálculo do índice de Meyer, os valores de  $DS$  foram convertidos em mm de Hg.

No modelo de Thornthwaite (1931), o índice de “eficácia da precipitação” ( $P-E$ ) e de “eficácia térmica” ( $T-E$ ) foram calculados, respectivamente, pelos coeficientes:  $11,5 P/(T-10)^{9/10}$  e  $(T-32)/4$  em que  $P$  é a precipitação pluvial média mensal e  $T$  é a temperatura média mensal (°F). Os valores de  $P-E$  e  $T-E$  foram, respectivamente, a soma dos coeficientes dos 12 meses do ano.

Aubert e Henin (1945) aplicaram a função da drenagem e as temperaturas médias anuais para estabelecer o seu modelo edafoclimático. Estabeleceram que  $D = \gamma \cdot P^3 / 1 + \gamma$ .  $P$  e  $E = P / 1 + \gamma \cdot P^2$ , sendo  $D$  a drenagem (mm);  $E$ , a evaporação do solo (mm);  $P$  é a precipitação pluvial anual (mm) e  $\gamma$  é o coeficiente que varia entre valores inferiores a 5 e superiores a zero.

No modelo de Thornthwaite e Hare (1955), foram utilizados o índice de umidade ( $I_m$ ) e o índice de eficiência térmica ( $ET$ ), obtidos do balanço hídrico, calculado, segundo a metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955), considerando o armazenamento da água disponível no solo igual a 100mm. A evapotranspiração potencial ( $ETP$ ) foi estimada, utilizando a metodologia, segundo Thornthwaite (1931). O  $I_m$  foi calculado por meio da

equação:  $I_m = I_h - 0,6 I_a$ , sendo  $I_h = 100$  (Exc/ETP) e  $I_a = 100$  (Def/ETP), em que  $I_h$ ,  $I_a$ , ETP, Exc e Def são, respectivamente, o índice hídrico, índice de aridez, evapotranspiração potencial anual e excesso e déficit hídrico anual, em mm.

O modelo de Budyko (1956) está fundamentado em dois índices: um hídrico e outro térmico. O índice hídrico foi determinado pela relação entre o saldo anual de radiação ( $R_n$ ), a energia consumida na evaporação da precipitação pluvial média anual ( $L_r$ ) e o índice térmico, pelo saldo anual de radiação do local ( $R_n$ ). Esse é calculado pela equação  $R_n = -18,81 + 0,69 R_s$ , em que  $R_s$  é a radiação solar global, em  $\text{cal.cm}^{-2}.\text{ono}^{-1}$  (BERGAMASCHI et al., 2003).

Kohnke et al. (1968) propuseram um modelo baseado no biofator (o quociente entre a precipitação pluvial anual e a temperatura média anual).

Os diferentes tipos de solos utilizados nos modelos edafoclimáticos foram aqueles indicados nos modelos originais. Optou-se em manter os tipos de solos, conforme constam nos modelos edafoclimáticos originais e atualizá-los na discussão dos resultados, segundo a classificação mais difundida no mundo: “*Soil Taxonomy*” (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1998). Strahler e Strahler (2005) consideram que a classificação norte-americana representa um guia global e permite estabelecer correlações entre solos de outras regiões do globo. Classifica 12 ordens de solos: *Alfisols*, *Andisols*, *Aridisols*, *Entisols*, *Gelisols*, *Histosols*, *Inceptisols*, *Mollisols*, *Oxisols*, *Spodosols*, *Ultisols*, *Vertisols*.

A classificação pedológica dos solos do Brasil consiste numa evolução do sistema Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO, 1988), mapeados em Brasil (1973) e adaptados à nova classificação brasileira de solos realizada pela EMBRAPA (1999, 2006): Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Espodossolos, Gleissolos, Latossolos, Luvisolos, Neossolos, Nitossolos, Organossolos, Planossolos, Plintossolos e Vertissolos. Com exceção do Espodossolo, todos os outros ocorrem no Estado do Rio Grande do Sul (STRECK et al. 2002; STRECK et al. 2008).

Utilizou-se a temperatura média das médias, média das máximas e mínimas mensais e anuais do ar, a média dos totais mensais e anuais das precipitações pluviais e as médias mensais e anuais da umidade relativa do ar de 41 estações meteorológicas, pertencentes ao 8º Distrito de Meteorologia (8ºDISME), período 1931-1960 (quadro 1) e as médias anuais de radiação solar global de 25 estações meteorológicas, período 1950-1984, pertencentes à Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), (quadro 2).

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA	ALTITUDE (m)	LATITUDE SUL	LONGITUDE OESTE
Alegrete	116	29°46'47"	55°47'15"
Bagé	216	31°20'13"	54°06'21"
Bento Gonçalves	619	29°10'00"	51°25'00"
Bom Jesus	1047	28°40'10"	50°26'25"
Caçapava do Sul	450	30°30'32"	53°29'22"
Cachoeira do Sul	68	30°02'45"	52°53'39"
Caxias do Sul	740	29°10'25"	51°12'21"
Cruz Alta	473	28°38'21"	53°36'34"
Dom Pedrito	140	30°58'57"	54°39'56"
Encruzilhada do Sul	420	30°32'35"	52°31'20"
Guaporé	450	28°55'44"	51°54'45"
Iraí	227	27°11'45"	53°14'01"
Itaqui	53	29°07'10"	56°32'52"
Jaguarão	11	32°33'32"	53°23'20"
Julio de Castilhos	516	29°13'26"	53°40'45"
Lagoa Vermelha	805	28°25'35"	51°35'51"
Marcelino Ramos	383	27°27'40"	51°54'22"
Palmeira das Missões	634	27°53'55"	53°26'45"
Passo Fundo	678	28°15'39"	52°24'33"
Pelotas	7	31°45'00"	52°21'00"
Piratini	345	31°26'54"	53°06'09"
Porto Alegre	10	30°01'53"	51°01'53"
Rio Grande	8	32°01'44"	52°05'40"
Santa Cruz do Sul	56	29°43'05"	52°25'45"
Santa Maria	138	29°41'25"	53°48'42"
Santana do Livramento	210	30°53'18"	55°31'56"
Santa Rosa	360	27°51'50"	54°25'59"
Santa Vitória do Palmar	6	33°31'14"	53°21'47"
Santiago	426	29°11'00"	54°53'10"
Santo Ângelo	289	28°18'14"	54°15'52"
São Borja	96	28°39'44"	56°00'15"
São Francisco de Paula	912	29°20'00"	50°31'21"
São Gabriel	124	30°20'27"	54°19'01"
Soledade	720	29°03'14"	52°26'00"
São Luiz Gonzaga	254	28°23'53"	54°58'18"
Tapes	5	30°50'00"	51°35'00"
Taquara	29	29°45'00"	50°45'00"
Taquari	76	29°48'15"	51°49'30"
Torres	43	29°20'34"	49°43'39"
Uruguaiana	69	29°45'23"	57°05'12"
Vacaria	955	28°33'00"	50°42'21"

**Quadro 1 – Altitude e coordenadas geográficas das estações meteorológicas pertencentes ao 8° DISME, cujos dados meteorológicos foram utilizados no estudo.**

Fonte: Instituto de Pesquisas Agronômicas (1989).

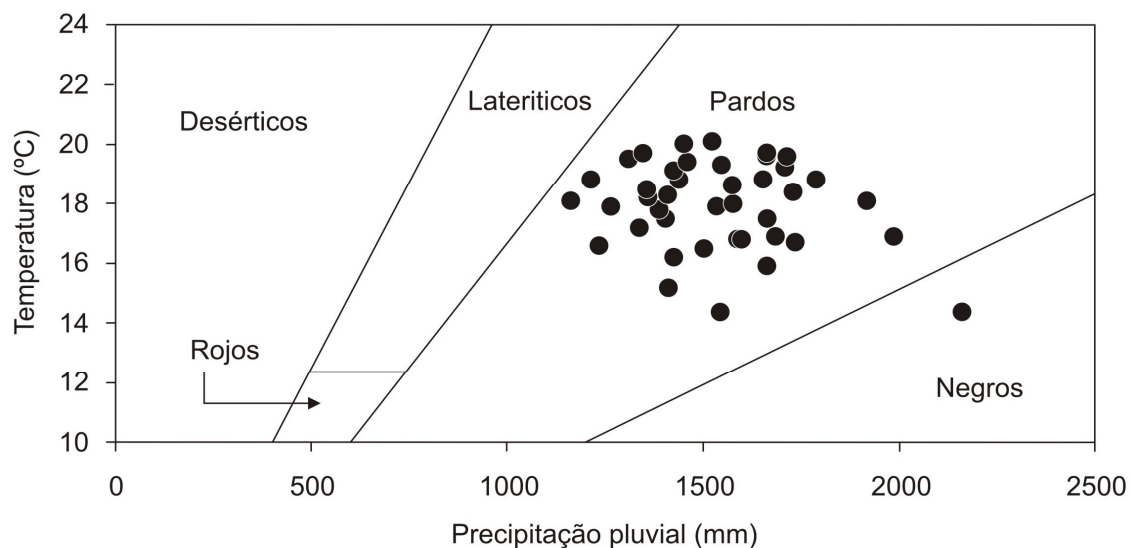
ESTAÇÃO METEOROLÓGICA	LATITUDE SUL	LONGITUDE OESTE	ALTITUDE m
Erexim	27°37'45"	52°16'33"	760
Santo Augusto	27°54'16"	53°45'14"	380
Passo Fundo	28°15'41"	52°24'45"	709
Ijuí	28°23'17"	53°54'50"	448
Vacaria	28°30'09"	50°56'12"	955
São Borja	28°39'44"	56°00'44"	99
Júlio de Castilhos	29°13'26"	53°40'45"	514
Cruz Alta	28°38'21"	53°36'34"	473
Veranópolis	28°56'14"	51°33'11"	705
Farroupilha	29°14'30"	51°26'20"	702
Osório	29°40'49"	50°13'56"	32
Santa Maria	29°41'24"	53°48'42"	153
Uruguaiana	29°45'23"	57°05'37"	74
Alegrete	29°46'47"	55°47'15"	116
Taquari	29°48'15"	51°49'30"	76
Tramandaí	29°56'22"	50°30'12"	3
Cachoeira do Sul	30°02'45"	52°53'39"	68
Guaíba	30°05'52"	51°39'08"	46
São Gabriel	30°20'27"	54°19'01"	109
Quaraí	30°23'17"	56°26'53"	100
Encruzilhada do Sul	30°32'35"	52°31'20"	420
Santana do Livramento	30°53'18"	55°31'56"	210
Bagé	31°20'14"	54°05'59"	214
Rio Grande	32°01'02"	52°09'32"	16
Jaguarão	32°33'32"	53°23'20"	11

**Quadro 2 – Coordenadas geográficas das estações meteorológicas pertencentes à Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) cujos dados de radiação solar global foram utilizados nos cálculos do modelo fitoclimático de Budyco (1963).**

Fonte: Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (1989).

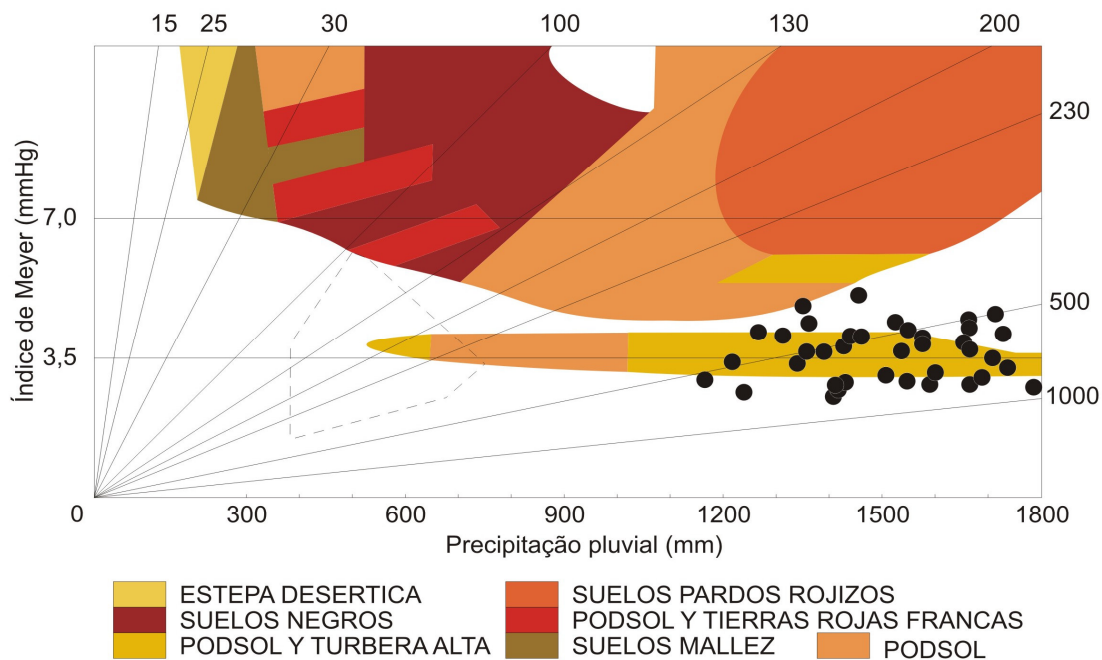
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No modelo de Lang (1915), figura 1, todas as estações se enquadram nas condições climáticas de solos pardos, com exceção da estação meteorológica de São Francisco de Paula, local de maior precipitação pluvial do Estado, que se ajusta às condições climáticas de solos negros.



**Figura 1 – Modelo edafoclimático de Lang (1915) com representação das médias anuais de temperatura do ar e de precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul.**

No modelo de Prescott (1931), figura 2, os valores médios do índice P/DS, das 41 estações meteorológicas do quadro 1, localizam-se em condições de formação de solos podzólicos.



**Figura 2 – Modelo edafoclimático de Prescott (1931) com representação das médias anuais de temperatura do ar e de precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul.**

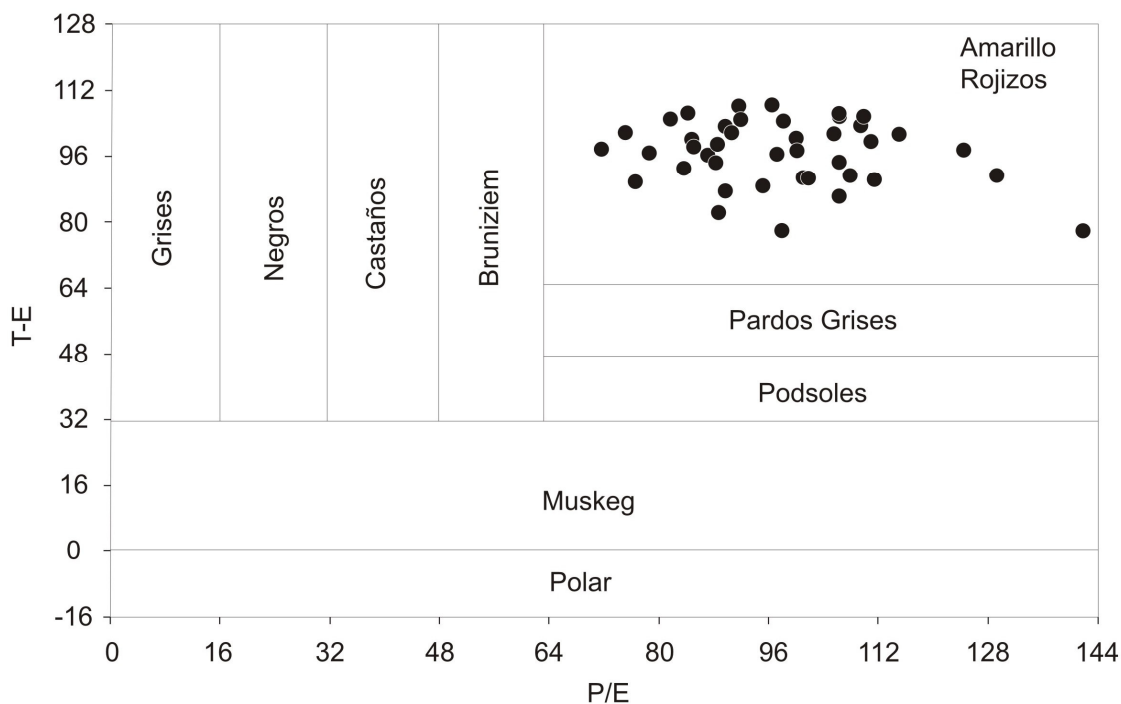
Os solos pardos são descritos também como solos castanhos e apresentam um perfil semelhante ao solo chernozem. Ocorrem entre zonas climáticas semi-áridas e subúmidas, em latitudes médias, que correspondem àquelas zonas com verões muito quentes e invernos frios. Possuem, no perfil, uma acumulação de carbonato cálcico muito endurecida, de forma que os bosques não encontram facilidades para se desenvolverem. Em geral, a vegetação natural associada aos solos pardos são do tipo pradarias e campestre. Pelo sistema de classificação dos solos, *Soil Taxonomy*, os solos pardos correspondem aos *Mollisols* e são definidos como aqueles que se formam em condições climáticas bastante variáveis, especialmente em latitudes médias, associados a regimes com moderado a pronunciado déficit hídrico estacional, do tipo semi-árido e subúmido. Alguns, porém, se formam em climas úmidos. Se comparada a distribuição desses solos com a distribuição dos climas, observa-se uma estreita relação com climas semi-áridos de latitudes médias. Sua ocorrência é indicada para várias regiões do mundo e para a América do Sul: as regiões do Pampa Argentino e do Uruguai. São descritos, detalhadamente, em sete subordens, e acentuam a característica da ocorrência de uma acumulação de carbonato cálcico no perfil. A subordem dos *Ustolls* são *Mollisols* de regime hídrico ústico, possuem um horizonte de acumulação de carbonato de cálcio que se desenvolve na profundidade entre 50 e 100 cm. Os *Mollisols* estão associados, geralmente, à vegetação de pradarias. A existência de uma zona de excesso de carbonato cálcico no perfil impede a existência de uma vegetação natural de grande porte (STRAHLER; STRAHLER, 2005).

No Rio Grande do Sul, pelo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2006), os solos pardos mantêm semelhanças com os Chernossolos. Conforme Streck et al. (2008), ocorrem de forma esparsa em todo o território do Estado e, em áreas mais extensas, na Depressão Central. Caracterizam-se por conter razoáveis teores de material orgânico, boa fertilidade química e alta capacidade de troca catiônica (CTC) em todo o perfil. A presença de carbonatos de cálcio identifica a subordem dos Chernossolos ebânicos carbonáticos que se situam em relevos planos e suavemente ondulados. Nesses solos, a presença de argilas expansivas (esmeclitas) torna-os duros, mas secos e pegajosos, quando úmidos.

O território do Rio Grande do Sul apresenta indícios que preservam testemunhos palinológicos de paleoclimas, entre eles, o clima árido e a paisagem de deserto. O clima quente e seco, devido ao aquecimento verificado na Terra, no Período Jurássico até o início do Cretáceo, da Era Mesozóica, pode ter contribuído para a formação da zona de excesso de carbonato cálcico (BIGARELLA, 1964).

De acordo com Bigarella (1964), no período Quaternário, o Brasil meridional foi marcado por mudanças climáticas profundas e extremas, correlacionadas à flutuação do nível dos oceanos, nas quais se alternaram fases semi-áridas prolongadas (períodos glaciais) com fases úmidas (períodos interglaciais). Essas condições climáticas podem ter contribuído para a formação da excessiva dureza dos solos pardos, quando secos e à acumulação de carbonato cálcico no perfil.

No modelo de Prescott (1931), figura 2, os valores médios do índice P/DS, das 41 estações meteorológicas do quadro 1, localizam-se em condições de formação de solos podzólicos e no modelo de Thornthwaite (1931), figura 3, os valores dos índices de “eficácia da precipitação” (P-E) e de “eficácia térmica” (T-E) de todas as estações meteorológicas utilizadas se situam na zona de solos podzólicos, vermelhos e amarelos, indicando condições de solo para vegetação natural de bosques.



**Figura 3 – Modelo edafoclimático de Thornthwaite (1931) com representação das médias anuais de temperatura do ar e de precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul.**

Os solos podzólicos são característicos de climas úmidos e associados à vegetação natural de bosques, especialmente, boreais. Sua coloração varia desde acinzentada, brunada, amarelada e avermelhada. A coloração vermelha e amarela é devido à oxidação do ferro. As cores vermelha e amarela, portanto, devem-se aos óxidos de ferro e indicam condições de umidade associada à boa drenagem da água das precipitações pluviais. Em geral, os perfis são de profundidade variável e neles ocorre o processo de podzolização (transporte de argila por iluviação do horizonte A para o horizonte B).

No sistema de classificação dos solos *Soil Taxonomy* (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1998), os podzólicos correspondem aos *Oxisols* e *Ultisols*. Solos com horizontes bem desenvolvidos e com minerais bastante alterados em decorrência da longa e contínua adaptação aos regimes térmicos e hídricos. Os *Oxisols*, normalmente, desenvolvem-se nas regiões equatoriais submetidas à climas úmidos desde o Pleistoceno ou períodos mais antigos. Ocorrem, também, em algumas regiões tropicais e subtropicais condicionadas ao regime de alternância de períodos secos e muito úmidos, durante um longo período geológico. Os *Ultisols* apresentam uma ampla zona de domínio em várias regiões do mundo de latitudes médias, entre elas, o sudeste dos Estados Unidos, sul da China, nordeste da Austrália, Bolívia e sul do Brasil.

Tomando-se como referência o mapa de climas do mundo, observa-se que o clima dessas áreas oscila entre subtropical úmido, subtropical, tropical seco e úmido, monçônico e tropical litorâneo. Esses climas possuem elevado excedente hídrico na estação chuvosa e amplitude térmica em relação à estação seca. A superfície dessas regiões é submetida ao intemperismo e erosão de forma que a rocha altera-se, também, em profundidade, permitindo a lixiviação. A vegetação florestal natural é arbórea, esparsa e de pequeno porte.

No Rio Grande do Sul, pelo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2006), esses solos mantêm semelhanças com os Argissolos, Luvisolos e Nitossolos. Conforme Streck et al. (2008), ocorrem em relevo suave ondulado até o fortemente ondulado, ocupando, em termos percentuais, a maior parte da área territorial do Rio Grande do Sul. Apresentam baixa fertilidade natural, devido à acidez e alta saturação por alumínio e necessitam do manejo com corretivos e fertilizantes para neles se desenvolverem campo nativo ou lavoura. A vegetação natural é esparsa e de pequeno porte.

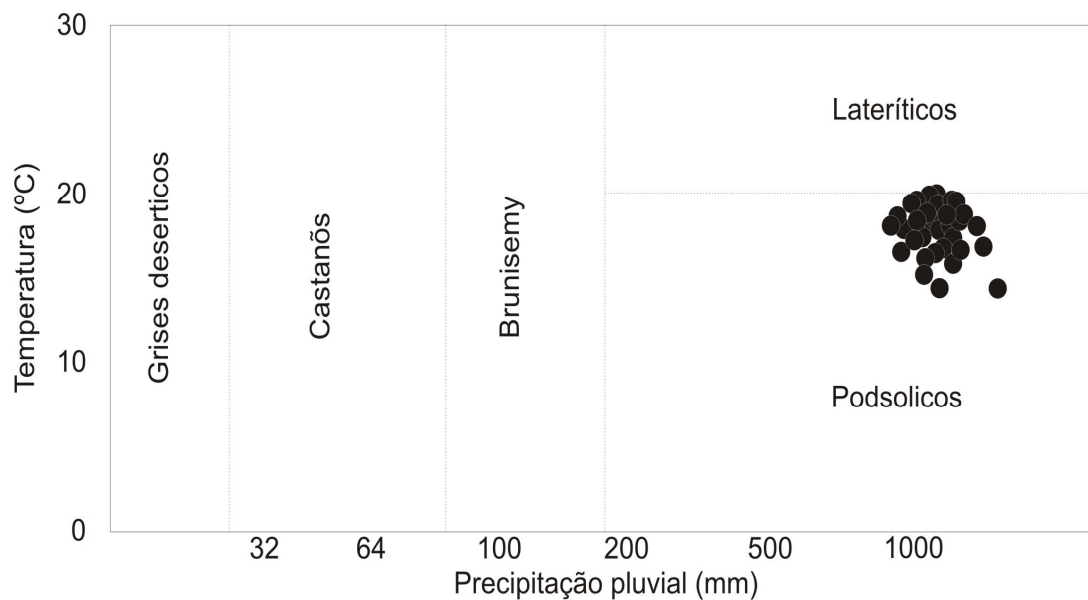
No modelo de Thornthwaite (1931), figura 3, os valores dos índices de “eficácia da precipitação” (P-E) e de “eficácia térmica” (T-E) de todas as estações meteorológicas utilizadas se situam na zona de solos podzólicos vermelhos e amarelos, indicando condições de solo para vegetação natural de bosques.



Segundo BRASIL (1973), os solos denominados podzólico vermelho-amarelo predominam em relevos altos, especialmente, formados por coxilhas e morros e são originados em condições de boa drenagem, não-hidromórficos. Pelo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2006), esses solos são classificados como Argissolos e Luvisolos. Conforme Streck et al. (2008), os Argissolos são geralmente profundos a muito profundos, bem drenados e oriundos dos mais diversos tipos de rochas, como basaltos, granitos, arenitos e outros sedimentos. Diversos autores, entre eles, Christofolletti (1974), assinalam que rochas diferentes, quando sujeitas às mesmas condições climáticas por um longo período de tempo, darão origem, normalmente, a solos semelhantes ou quase idênticos.

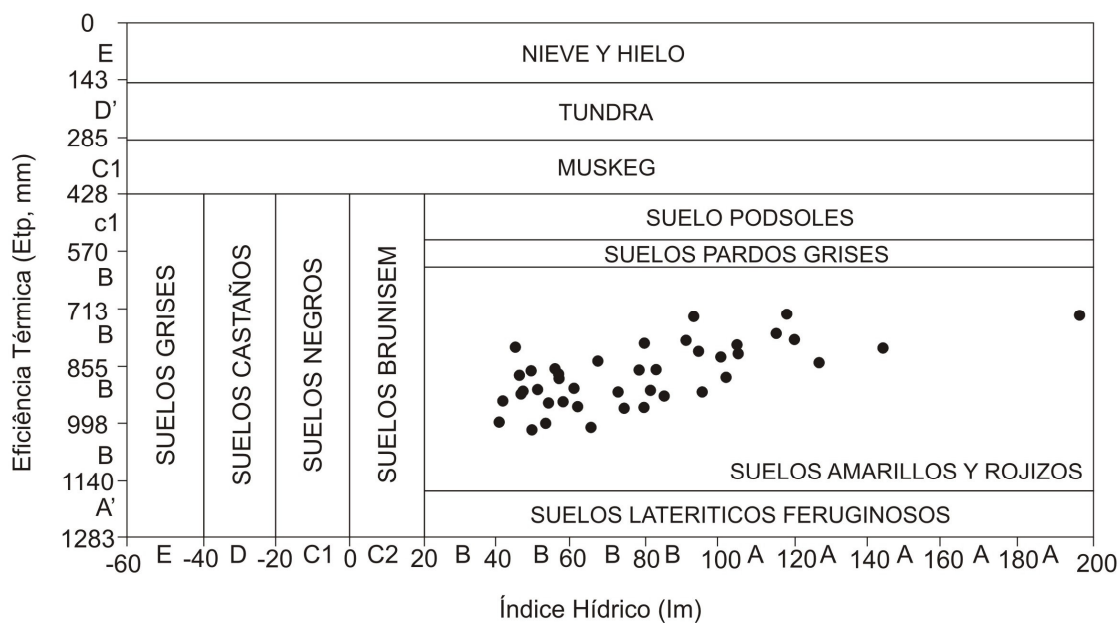
No Rio Grande do Sul, esses solos foram classificados em Argissolos vermelhos e Argissolos vermelho-amarelo, de acordo com a cor que predomina no horizonte B textural. Estes últimos foram identificados a partir de três substratos: do basalto, do arenito e do granito (STRECK et al., 2008). Solos que apresentam tipicamente um perfil com um gradiente textural, em que o horizonte B sempre é mais argiloso em comparação aos horizontes A ou E, atestando boas condições de drenagem, de lixiviação e de percolação da água no perfil. Esses ambientes, no perfil, são condicionados, especialmente, pelo clima úmido, com as precipitações pluviais bem distribuídas durante o ano. A água que percola no perfil, promove a hidratação de constituintes e favorece a translocação dos minerais, acelerando as transformações de constituintes e, conseqüentemente, o processo evolutivo do solo.

No modelo de Aubert e Henin (1945), figura 4, igualmente, os dados de todas as estações meteorológicas do Estado indicam condições climáticas para a formação de solos dos tipos podzólicos.

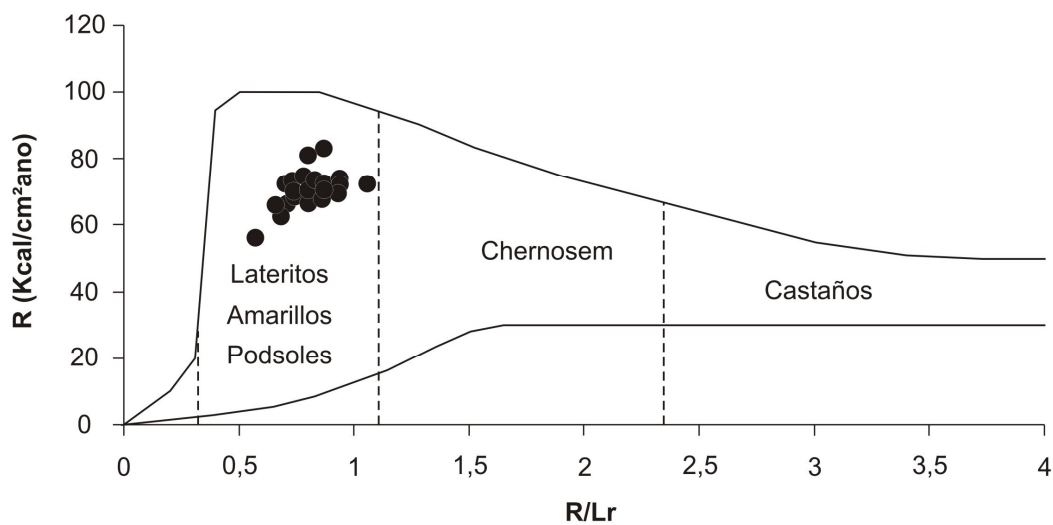


**Figura 4 - Modelo edafoclimático de Aubert e Henin (1945) com representação das médias anuais de temperatura do ar e de precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul.**

O modelo de Thornthwaite e Hare (1955), figura 5, e o modelo de Budyko (1956), figura 6, também enquadram os dados de todas as estações meteorológicas do Estado em condições climáticas, característica de solos podzólico vermelho-amarelo e vegetação natural de bosques.



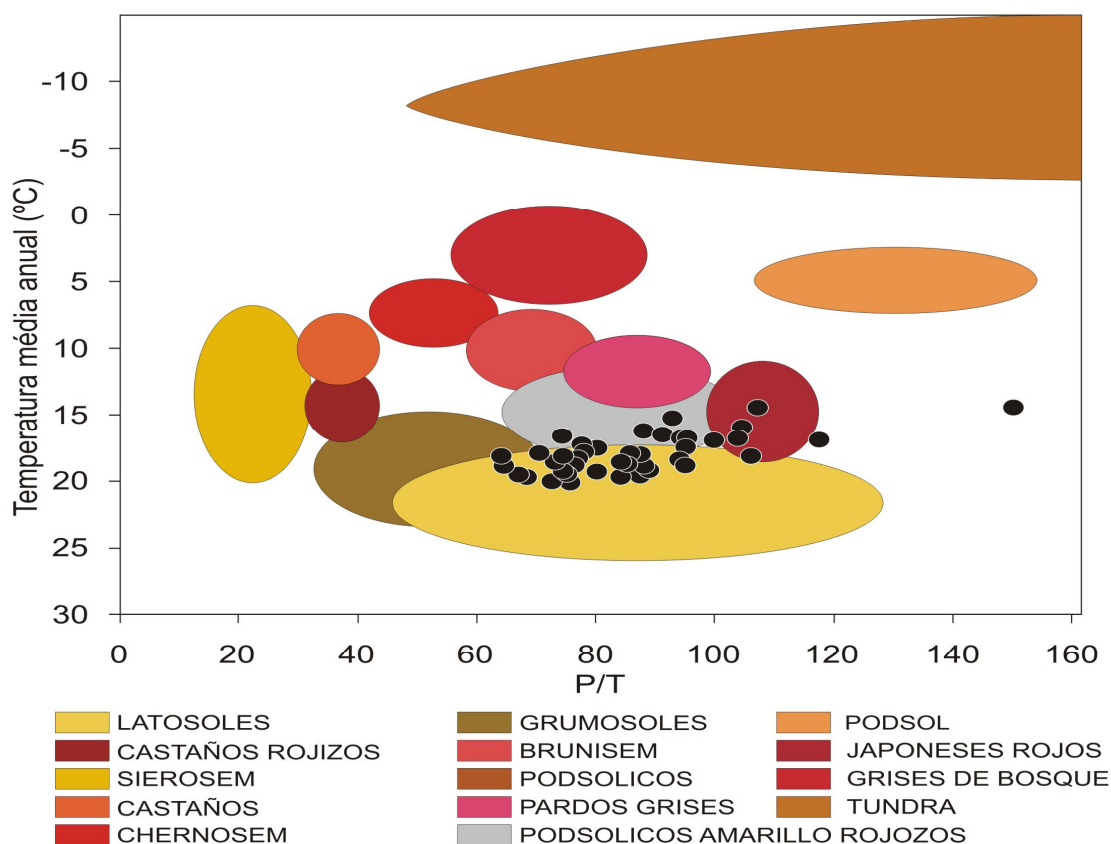
**Figura 5 - Modelo edafoclimático de Thornthwaite e Hare (1955) com representação das médias anuais de temperatura do ar e de precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul.**



**Figura 6 - Modelo edafoclimático de Budyco (1956) com representação das médias anuais de temperatura do ar e de precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul.**

Os modelos edafoclimáticos de Prescott (1931), Thornthwaite (1931), Aubert e Henin (1945), Thornthwaite e Hare (1955) e Budyko (1956) demonstram resultados semelhantes entre si. Indicam que as condições climáticas do Estado, de temperatura e precipitação pluvial, favorecem a formação de solos podzólicos, com exceção do modelo de Lang (1915) que identifica solos pardos.

Na figura 7, observa-se a distribuição dos dados de temperatura e precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Rio Grande do Sul no modelo edafoclimático de Kohnke et al. (1968). A maior parte das estações meteorológicas localizam-se na zona de formação de Latossolos, de podzólicos vermelho-amarelo, podzólico vermelho escuro e solos brunizems.



**Figura 7 - Modelo edafoclimático de Kohnke (1968) com representação das médias anuais de temperatura do ar e de precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul.**

Os Latossolos, segundo Streck et al. (2008), são solos bem drenados, normalmente profundos a muito profundos, altamente intemperizados, em condições de relevo suave ondulado. Correspondem aos *Oxisols* e ocorrem, em regiões equatoriais e tropicais com altos índices hídricos. No Rio Grande do Sul, podem ocorrer, de forma esparsa, em todo o Estado, porém as maiores áreas estão localizadas no Planalto Norte-rio-grandense. Nessas áreas, são constituídos pelo material de origem basalto, profundamente intemperizados, têm predomínio de caulinita e óxidos de ferro, o que lhes confere baixa CTC, acentuada acidez, pouca reserva de nutrientes e toxidez por alumínio para as plantas. Os valores de precipitação pluvial das 41 estações meteorológicas do Estado, representadas no quadro 1, favorecem o intemperismo e a formação de caulinita e de óxidos de ferro, características encontradas no Latossolo. Os resultados obtidos nos modelos edafoclimáticos utilizados, tanto os baseados em índices que relacionam à precipitação pluvial com a temperatura do ar, como aqueles de Lang (1915), Prescott (1931) e Kohnke (1968), figuras 1, 2 e 7, respectivamente ou naqueles fundamentados na relação entre as condições hídricas do solo e térmicas do ar, como os de Thornthwaite (1931), Haubert e Henin (1945), Thornthwaite e Hare (1955), figuras 3, 4 e 5, respectivamente ou, ainda, aquele baseado na relação entre o saldo anual de radiação e a energia consumida na evaporação da precipitação pluvial média anual, como no modelo de Budyko (1956), figura 6, não expressam a realidade das condições de distribuição geográfica dos atuais tipos de solos do Estado, em que existem várias regiões com solos rasos, pouco desenvolvidos e encontrados nas mais diversas condições de relevo e drenagem e, geograficamente, dispostas de forma muito heterogênea no Estado.

No Estado do Rio Grande do Sul, há a diversidade de doze tipos de solos (STRECK et al., 2008) e a presença de solos jovens ou com perfis pouco desenvolvidos e rasos, a exemplo dos Gleissolos, Luvisolos, Neossolos, Organossolos, Planossolos, Plintossolos, Vertissolos. Outros caracterizam-se como medianamente rasos a profundos como Cambissolos e Chernossolos. Os Argissolos, Latossolos e Nitossolos apresentam perfis profundos a muito profundos e são aqueles que correspondem aos tipos de solos indicados nos modelos edafoclimáticos, considerando as condições de temperatura e precipitação pluvial, com exceção para o modelo de Lang (1915) que indica Chernossolos.

Assim, os resultados obtidos nos modelos edafoclimáticos aqui utilizados caracterizam condições climáticas para a formação de solos de climas úmidos. Nessas condições, os solos apresentam condições de intemperismo e lixiviação em profundidade, favorecendo a formação de perfis homogêneos, bem desenvolvidos e profundos, o que condiz com as regiões do Estado abrangidas pelos Argissolos, Latossolos e Nitossolos. Considerando que, no

Estado, os Latossolos são formados a partir de diferentes litologias, pode-se afirmar que o clima é o fator determinante no intemperismo e tem grande influência na formação desses solos.

## CONCLUSÕES

A temperatura do ar e a precipitação pluvial do Rio Grande do Sul condicionam a ocorrência de solos profundos e bem drenados e determinam a formação de Latossolo, Chernossolo, Argissolo e Nitossolo.

As condições climáticas de temperatura do ar e de precipitação pluvial vigentes no Rio Grande do Sul não expressam a realidade das condições de distribuição geográfica dos atuais tipos de solos do Estado.

## REFERÊNCIAS

AUBERT, G.; HENIN, S. **Relations entre le drainage, la température et l'évolution des sols.** C. R. Acad. Sci., Paris, p. 330-332. 1945.

BERGAMASCHI, H. et al. **Clima da Estação Experimental da UFRGS (e região de abrangência).** Porto Alegre, UFRGS, 2003. 77 p.

BIGARELLA, J. J. **Variações climáticas no Quaternário e suas implicações no revestimento florístico do Paraná.** Bol. V.2, nº 1, p. 376-394. 1964.

BRASIL. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica.** Recife, 1973. 431 p. (Boletim Técnico nº 30).

BUDYKO, M. I. **Atlas tieplobogo balansa zemnogo shara.**(Atlas do balanço calórico do globo terrestre). 69 mapas e textos, Moscou. 1956.

BUENO, M. E. T. **Solo e clima**: uma introdução ao estudo de suas relações. Revista Geografia e ensino. Belo Horizonte: UFMG. v. 2, nº 6, p. 3-11. 1984.

BURGOS, J. J. **El clima de la Provincia de Buenos Aires en relación con la vegetación natural y el suelo**. In CABRERA, A. L. Flora de la Provincia de Buenos Aires. Buenos Aires: INTA, p. 33-39. 1969.

BURGOS, J. J. **El clima de la Región Noreste de la Republica Argentina en la relación con la vegetación natural y el suelo**. Boletín de la Sociedad Argentina de Botânica. Buenos Aires, v. 11, p. 37-102. 1970.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher. 1974. 149 p.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1986. 224 p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa solo. 1999. 412 p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa solo, 2006. 306 p.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Atlas agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria Agricultura e Abastecimento. 1989.

INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS. **Atlas agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura e Abastecimento. 1989, 102p. (V 1).

JENNY, H. Factors of soil formation. New York: McGraw-Hill, 1941. 281 p.

KOHNKE, H.; STUFF, L. R.; MILLER, P. A. **Quantitative relations between climate and soil formation**. Journal Paper, nº 3199, Lafayette, Indiana, EUA, Purdue University Agricultural Experiment Station, p. 24-33. 1968.

KÖPPEN, W. **Climatologia**. México: Fundo de Cultura Econômica, 1948. 466p.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. **Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite**. *Disciplinarium Scientia*, Santa Maria, V. 2, nr. 1, p. 171-182. 2001.

LANG, R. **Versuch einer exakten Klassifikation der böden in Klimatischer und geologischer Hinsicht**. *Internat Mitt. für Bdenkunde*. Stuttgart, n. 8, v. 7, p. 312-346. 1915.

MEYER, A. **Über einige Zusammenhänge zwischen Klima und Boden in Europa**. *Chemie der Erde*, 2. 1926.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 38 p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO - FAO. **Soil map of the World. Revised legend**. World Resources Report 60, FAO – Rome. Wageningen, ISRIC. 1988. 137 p. (ISRIC Technical paper, 20).

PRESCOTT, J. A. **The soils of Australia in relation to vegetation and climate. Comm. of Australia**. Counc. For Scientific and Industrial Research. Melbourne. 1931. (Bull. nº 52).

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS. 2002.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS. 2008.

STRAHLER, A. N.; STRAHLER, A. N. **Geografia Física**. Barcelona: Omega, 2005. 550 p.

TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de textos. 2003. 558 p.

THORNTHWAITE, C. W. **The climates of North according to a new classification**. *The Geographical Review*, Oct., p. 633-655. 1931.

THORNTHWAITE, C. W.; HARE, F. K. **Climate classification in forestry**. *Unasyuva*, v. 9, n. 2. 1955 (Publ. FAO, Roma).

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **Water balance**. *Climatology*. Centerton, New Jersey, v. 8, n. 1, p. 1- 104. 1955.



UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Keys to soil taxonomy**, 8 ed. Blacksburg: Department of Agriculture. Soil Survey Staff., Pocahontas Press, 1998. 556 p. (SMSS Technical Monograph, 19).

WEISS. A. **Algoritms for the calculation of moist air properties on a hand calculator**. Transactions of ASAE, 1113-1136. 1977.

## CAPÍTULO III

### CLIMA E DISTRIBUIÇÃO DOS SOLOS ZONAIS NO RIO GRANDE DO SUL-BRASIL

#### INTRODUÇÃO

A formação do solo decorre do intemperismo nas rochas na superfície terrestre, provocado pela ação integrada de fatores como clima, material de origem, relevo, organismos e tempo (JENNY, 1941). Solos zonais são formados quando o clima é o fator preponderante no intemperismo. No Rio Grande do Sul existem poucos estudos que relacionam as condições climáticas de temperatura do ar e de precipitação pluvial com a formação de solos zonais.

A espessura do perfil de solo depende do clima, do tempo de formação do solo e da composição da rocha-matriz (PRESS et al., 2006). O perfil é estruturado verticalmente, a partir da rocha matriz, na base, sobre a qual forma-se o saprólito e o *solum*, que constituem juntos, o manto de alteração ou regolito (AZEVEDO; DALMOLIN, 2006). Os materiais do perfil vão se tornando tanto mais diferenciados com relação à rocha matriz em termos de composição, textura e estrutura, quanto mais afastados se encontram dela. Sendo dependente, especialmente, do clima, o intemperismo e a pedogênese ocorrem de maneira distinta nas diferentes zonas climáticas do globo, levando à formação de perfis de alteração compostos de horizontes de diferente espessura e composição. A energia de desintegração e decomposição das rochas, segundo Zakarovi citado por VIEIRA (1975), aumenta gradualmente das regiões frias para as quentes.

Nos climas mais frios, a alteração afeta, normalmente, apenas os minerais primários menos resistentes. Os minerais primários mais resistentes permanecem inalterados durante um tempo geológico muito maior. Tanto o intemperismo intenso como um longo período de exposição à meteorização diminuem a influência da rocha-matriz. Solos muito antigos e de regiões úmidas tendem a ser homogêneos e apresentam perfis bem desenvolvidos.

Climas quentes e úmidos promovem rapidamente a alteração dos minerais da rocha matriz, pois a percolação constante da água permite a evolução permanente da decomposição dos minerais. Enquanto que numa região de clima seco, os minerais permanecem

praticamente insolúveis ou, quando ocorre a decomposição, esta é muito lenta. Os climas quentes também tem influência na vegetação e sobre a matéria orgânica produzida a partir da decomposição. Os ácidos orgânicos reagem com os elementos da rocha matriz no clima temperado úmido, enquanto que a matéria orgânica é rapidamente destruída por oxidação em climas quentes úmidos (SUGUIO, 2003). O clima, portanto, é um dos fatores de maior intensidade no condicionamento no intemperismo em função, principalmente, da precipitação pluvial e da temperatura.

Bigarella (1994) considera que pode-se estabelecer uma correlação entre os tipos e intensidade de intemperismo e as diferentes regiões climáticas da Terra. Para este autor, a máxima lixiviação processa-se nas áreas tropicais (aproximadamente 10 graus de latitudes norte e sul), caracterizadas por grande volume de precipitação pluvial e altas temperaturas, sendo ocupadas, especialmente, pelas florestas pluviais. Nas faixas de latitudes periféricas às florestas pluviais, ocorrem regiões tropicais caracterizadas pela sazonalidade da precipitação pluvial. A fase úmida sazonal favorece o intemperismo químico profundo, mas o período seco favorece a oxidação do alumínio e do ferro. Nas latitudes médias ocorre a podsolização nas zonas de climas úmidos e com vegetação natural de bosques. Nas zonas de tundras e zonas desérticas e semidesérticas, o intemperismo químico é desprezível pela baixa temperatura e escassez de água, respectivamente, estabelecendo-se faixas latitudinais de intemperismo químico e biológico mínimos.

Press et al., (2006) distinguem três grupos principais de solos em função do clima: Pedalférricos, Lateríticos e Pedocalcários. Strahler e Strahler (2005) descrevem solos Pedalférricos como solos de climas úmidos, com pronunciada lixiviação e mantidos os valores médios anuais de precipitação pluvial acima de 600mm.

O clima tem grande influência, também, na formação dos solos Lateríticos. Normalmente são necessárias condições de alta precipitação pluvial e temperatura para que a alteração da rocha adquira condições para a laterização (TEIXEIRA et al., 2003). O intemperismo é intenso em climas quentes e úmidos, os solos profundos e a vegetação de grande porte. Estes condicionantes aceleram a lixiviação dos minerais solúveis e facilmente alteráveis, como a sílica e o carbonato de cálcio, da camada superior do solo desencadeando a laterização e a formação do laterito.

Os solos Pedocalcários são formados, especialmente, em regiões com escassez de água por longos períodos de tempo, qualidade de climas semiáridos e áridos. Apresentam perfis pouco evoluídos em que predominam as características herdadas do material parental.

Um primeiro nível de divisão de grupos de solos determinados por suas características climáticas foi estabelecido por Marbut (1935). As condições climáticas de latitudes médias condicionam solos dos grupos Pedalférricos e Pedocalcários, excetuando-se, apenas, o sudeste dos Estados Unidos, o sul do Brasil e uma pequena parte do nordeste da Argentina. Apesar da localização geográfica do Rio Grande do Sul, estar em latitudes médias, as condições climáticas, de precipitação pluvial bem distribuída durante o ano, indica possibilidade de formação de solos dos grupos Pedalférricos e Lateríticos.

Streck et al., (2002; 2008) descreveram as diferentes classes de solos do Rio Grande do Sul. Foram uma variedade de tipos distribuídos de forma heterogênea na paisagem. Comentaram que a razão dessa variedade de solos é dada pelo entendimento dos fatores que afetam a sua formação e reforçaram a idéia de que a gênese natural do solo é um processo muito lento. Ainda segundo Streck et al. (2002; 2008), entre os fatores ambientais que mais influenciam na diferenciação dos solos identificados no Rio Grande do Sul destacam-se o material de origem, o relevo e o clima. Destes fatores, o conhecimento das condições climáticas vigentes no Rio Grande do Sul contribui para evidenciar o zoneamento dos grupos de solos e para um melhor entendimento da ocorrência dos diferentes tipos de solos.

Nesse estudo objetivou-se evidenciar os solos zonais do Rio Grande do Sul e determinar sua localização.

## MATERIAL E MÉTODOS

A espacialização das disponibilidades climáticas para o desenvolvimento de solos Lateríticos e Pedalférricos no Estado do Rio Grande do Sul foi realizada utilizando-se as médias anuais as médias dos totais anuais de precipitação pluvial e das médias anuais de temperatura do ar, entre 1931 e 1960, de 41 estações meteorológicas do 8° DISME (quadro 1). Foram representadas com base nos valores do quadro 1, no programa *Spring* versão 4.2 e adaptados nos mapas por meio do programa *Corel Draw* 13. Considerou-se zona preferencial para a formação de solos do grupo Pedalférricos a área geográfica com valores médios anuais de precipitação pluvial acima de 600mm (STRAHLER; STRAHLER, 2005) e para os solos do grupo Lateríticos a área geográfica com precipitação pluvial acima de 1500mm anuais (PRESS et al., 2006).

ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS	ALTITUDE (m)	T (°C)	P (mm)
Alegrete	116	18.6	1574
Bagé	216	17.9	1264
Bento Gonçalves	619	16.8	1599
Bom Jesus	1047	14.4	1545
Caçapava do Sul	450	16.8	1588
Cachoeira do Sul	68	18.8	1438
Caxias do Sul	740	15.9	1663
Cruz Alta	473	18.4	1729
Dom Pedrito	140	18.2	1359
Encruzilhada do Sul	420	16.5	1504
Guaporé	450	16.9	1686
Iraí	227	18.8	1787
Itaqui	53	20.0	1453
Jaguarão	11	17.2	1337
Julio de Castilhos	516	18.0	1575
Lagoa Vermelha	805	16.7	1735
Marcelino Ramos	383	18.8	1652
Palmeira das Missões	634	18.1	1919
Passo Fundo	678	17.5	1664
Pelotas	7	17.5	1405
Piratini	345	16.2	1426
Porto Alegre	10	19.5	1309
Rio Grande	8	18.1	1162
Santa Cruz do Sul	56	19.3	1547
Santa Maria	138	19.2	1708
Santana do Livramento	210	17.8	1388
Santa Rosa	360	19.6	1663
Santa Vitória do Palmar	6	16.6	1235
Santiago	426	17.9	1534
Santo Ângelo	289	19.6	1713
São Borja	96	20.1	1523
São Francisco de Paula	912	14.4	2162
São Gabriel	124	18.5	1355
Soledade	720	16.9	1986
São Luiz Gonzaga	254	19.7	1662
Tapes	5	18.8	1213
Taquara	29	19.4	1459
Taquari	76	19.1	1424
Torres	43	18.3	1409
Uruguaiana	69	19.7	1346
Vacaria	955	15.2	1412

**Quadro 1 – Médias dos totais anuais da temperatura do ar (T) e médias dos totais anuais de precipitação pluvial (P) das estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul, pertencentes ao 8° DISME, utilizadas no estudo, período 1931-1960.**

Fonte: Instituto de Pesquisas Agronômicas (1989).

Na caracterização de diferentes tipos de solos ocorrentes nas áreas geográficas dos grupos de solos Pedalféricos e Lateríticos foram consideradas as condições climáticas de temperatura e precipitação pluvial e a base geológica segundo o Departamento Nacional da Produção Mineral-DNPM (1984b). Foram calculadas as médias mensais de evapotranspiração potencial para os valores de 4 estações meteorológicas pertencentes ao 8° DISME, período 1931 a 1960, localizadas em diferentes regiões geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul: Irai e Santo Ângelo (Planalto Norte-rio-grandense), Encruzilhada do Sul e Piratini (Escudo Sul-rio-grandense), de forma a contemplar as diferentes situações climáticas, geológicas e geomorfológicas do Estado.

A evapotranspiração potencial foi calculada pelo modelo de Thornthwaite (1931) e apresentada no diagrama de Camargo (1960). Os dados de temperatura média mensal utilizada no cálculo da evapotranspiração potencial foram obtidas do Instituto de Pesquisas Agronômicas (1989), período 1941-1970, relacionadas no quadro 2.

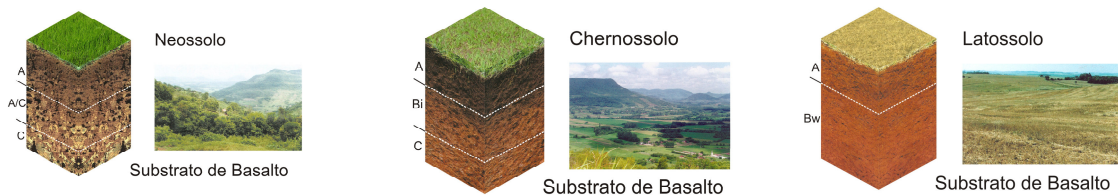
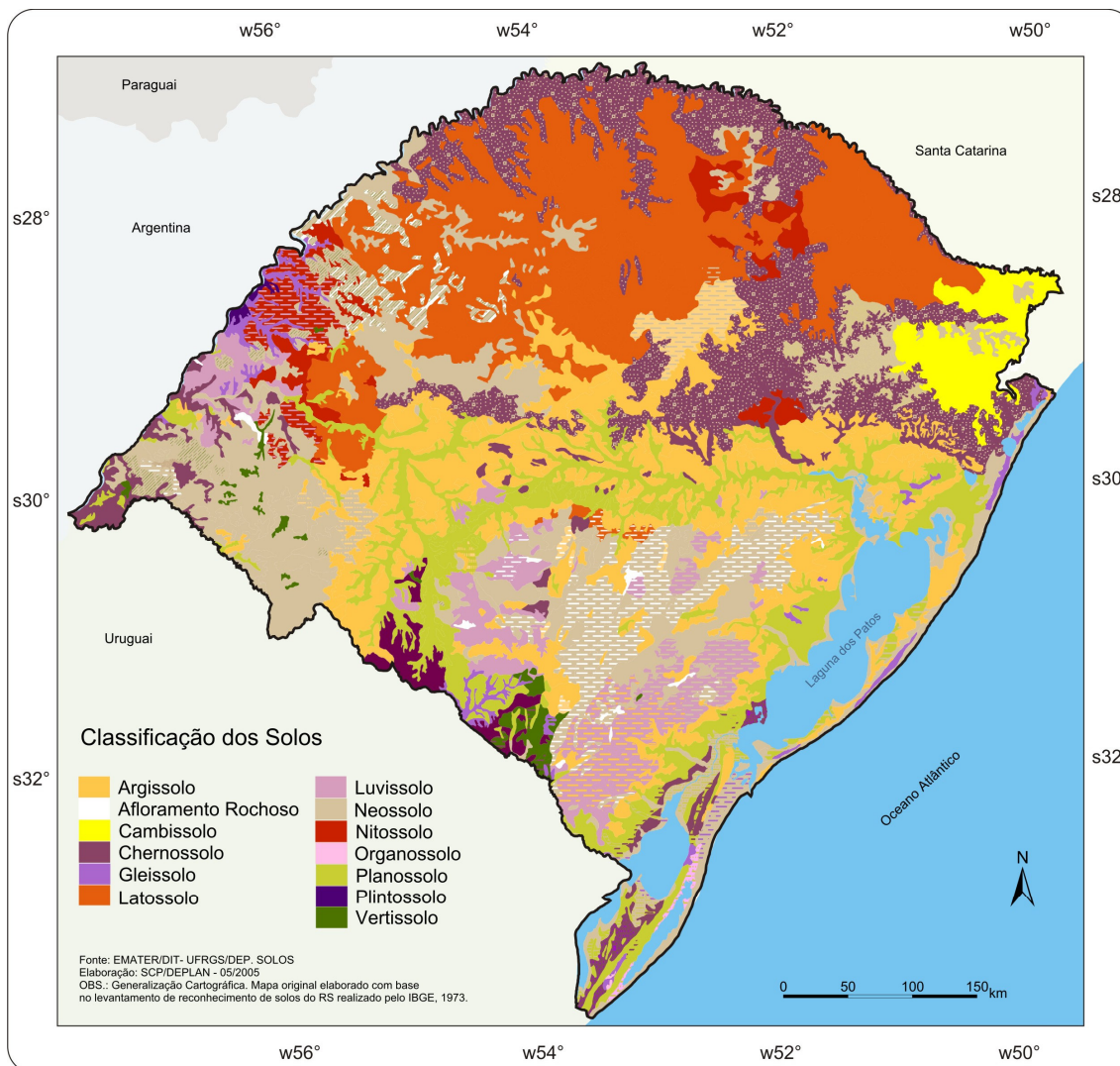
ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ano
Irai	131	110	98	68	48	37	36	46	59	80	101	129	943
Santo Ângelo	136	113	101	68	46	32	33	44	54	77	98	130	932
Encruzilhada do Sul	115	99	89	65	44	33	30	37	48	64	86	109	819
Piratini	116	99	89	62	44	28	28	35	45	60	79	110	795

**Quadro 2 - Evapotranspiração potencial das estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul pertencentes ao 8° DISME utilizadas no estudo, período 1941-1970 (pelo diagrama de CAMARGO, 1960).**

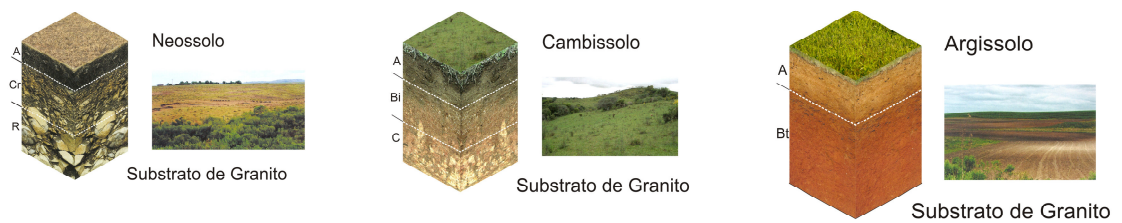
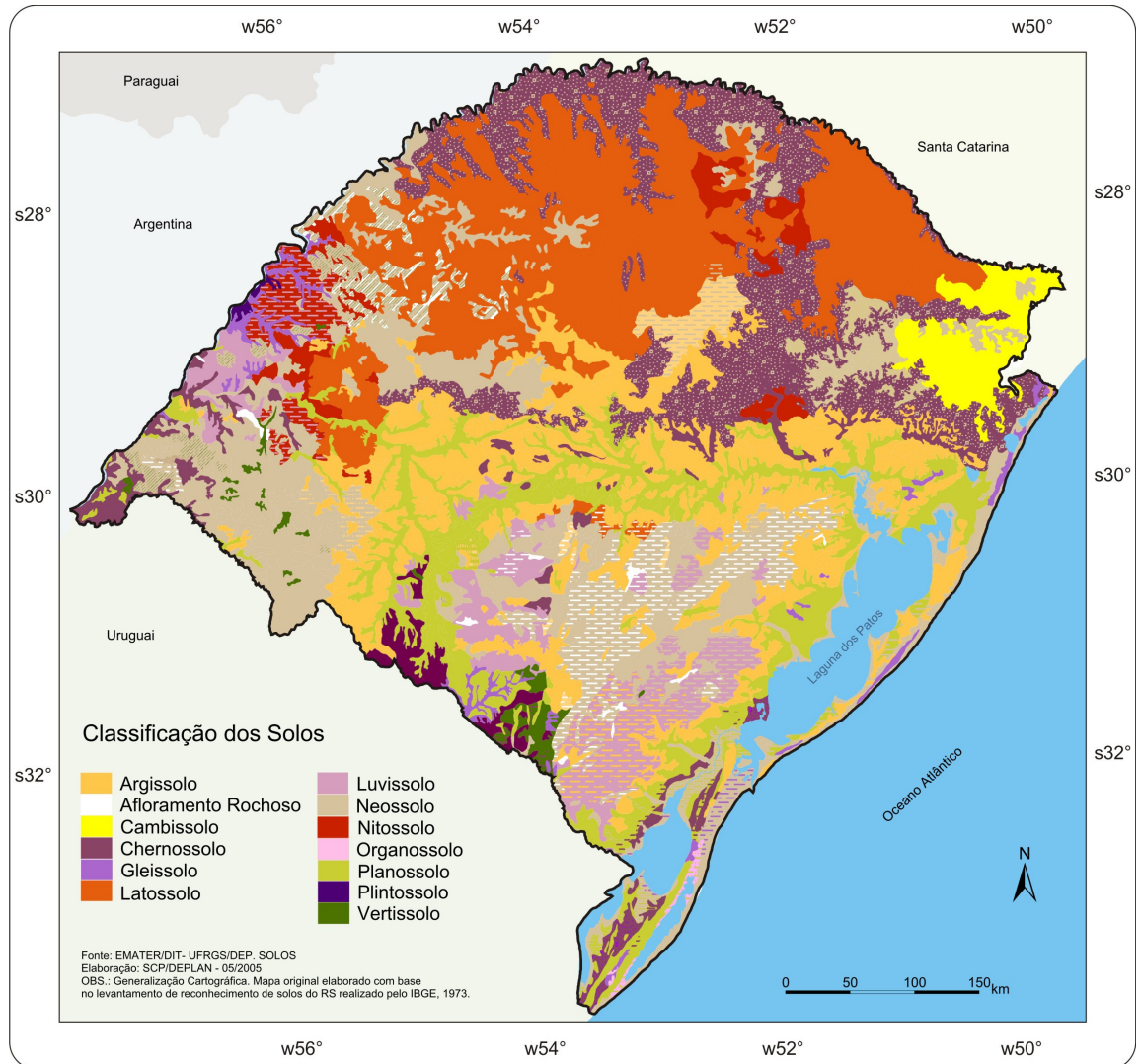
Fonte: Instituto de Pesquisas Agronômicas (1989).

No diagrama de Camargo (1960) utilizou-se a evapotranspiração potencial  $ET_p$  mm/mês pela fórmula  $ET_p = 16 (10T_n/I)^a$ , sendo  $T_n$  a temperatura média do mês,  $I$  o índice que expressa o nível de calor disponível na região e  $n$  representa o mês do ano.

Os perfis de solos do Rio Grande do Sul utilizados estão descritos em Streck et al. (2002; 2008) e em Azevedo e Dalmolin (2006) e foram selecionados considerando as diferenças entre perfis de solos originados da mesma rocha, basalto (figura 1) ou granito (figura 2) com base no mapeamento do Departamento Nacional da Produção Mineral-DNPM (1984b). Considerou-se, ainda, a distribuição geográfica do intemperismo segundo as condições climáticas de temperatura e de precipitação pluvial e os grupos de solos para as latitudes médias estabelecidas por Marbut (1935) e descritos em Strahler e Strahler (2005).



**Figura 1 - Mapa de solos do Estado do Rio Grande do Sul (modificado de EMATER/DIT – UFRGS/DEP. SOLOS) e perfil de Neossolo, Chernossolo e Latossolo com substrato de basalto e respectiva paisagem (adaptado de Streck et al., 2008).**



**Figura 2 - Mapa de solos do Estado do Rio Grande do Sul (modificado de EMATER/DIT – UFRGS/DEP. SOLOS) e perfil de Neossolo, Cambissolo e Argissolo com substrato de granito e respectiva paisagem (adaptado de Streck et al., 2008).**

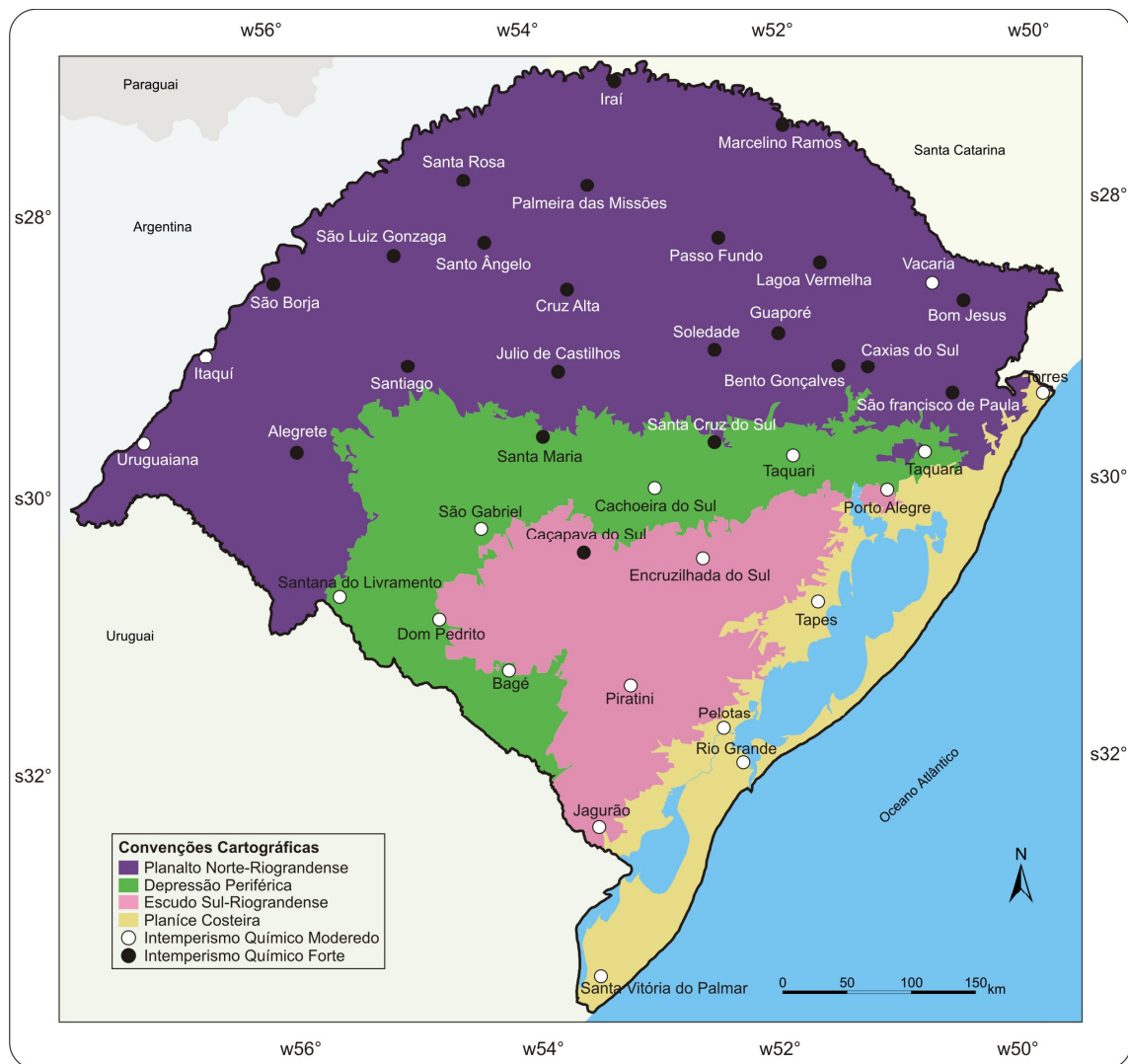


## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 1 têm-se as médias dos totais anuais de precipitação pluvial e as médias anuais de temperatura do ar de 41 estações meteorológicas do Rio Grande do Sul. As médias dos totais anuais de precipitação pluvial, no Estado, são bem distribuídas ao longo dos doze meses do ano e varia de, aproximadamente, 1.162mm (em Rio Grande, estação localizada a sudeste) a 2.162mm (em São Francisco de Paula, estação localizada a nordeste). Ferreira et al., (1971) constataram apenas uma pequena diminuição na distribuição da precipitação pluvial no final da primavera e no verão. Tomando-se como referência a latitude de 30°S, na parte norte do Estado, em todos os meses do ano a precipitação pluvial é mais elevada do que na parte sul. Isto é devido a maior altitude nessa parte do Estado. Mas, tanto ao norte como ao sul da latitude de 30°S é nas partes de maior altitude onde ocorrem as médias mais elevadas dos totais mensais de precipitação pluvial. Assim, ao norte da latitude de 30°S, na região de São Francisco de Paula (2162mm), localizada na parte mais alta da Serra do Nordeste, e em Soledade (1986mm) e Palmeira das Missões (1919mm), localizadas nas partes de maiores altitudes do Planalto e Missões, ocorrem os valores totais médios anuais mais elevados de precipitação pluvial e na metade sul do Estado, a partir de 30°S, na Serra do Sudeste, em Caçapava do Sul (1588mm).

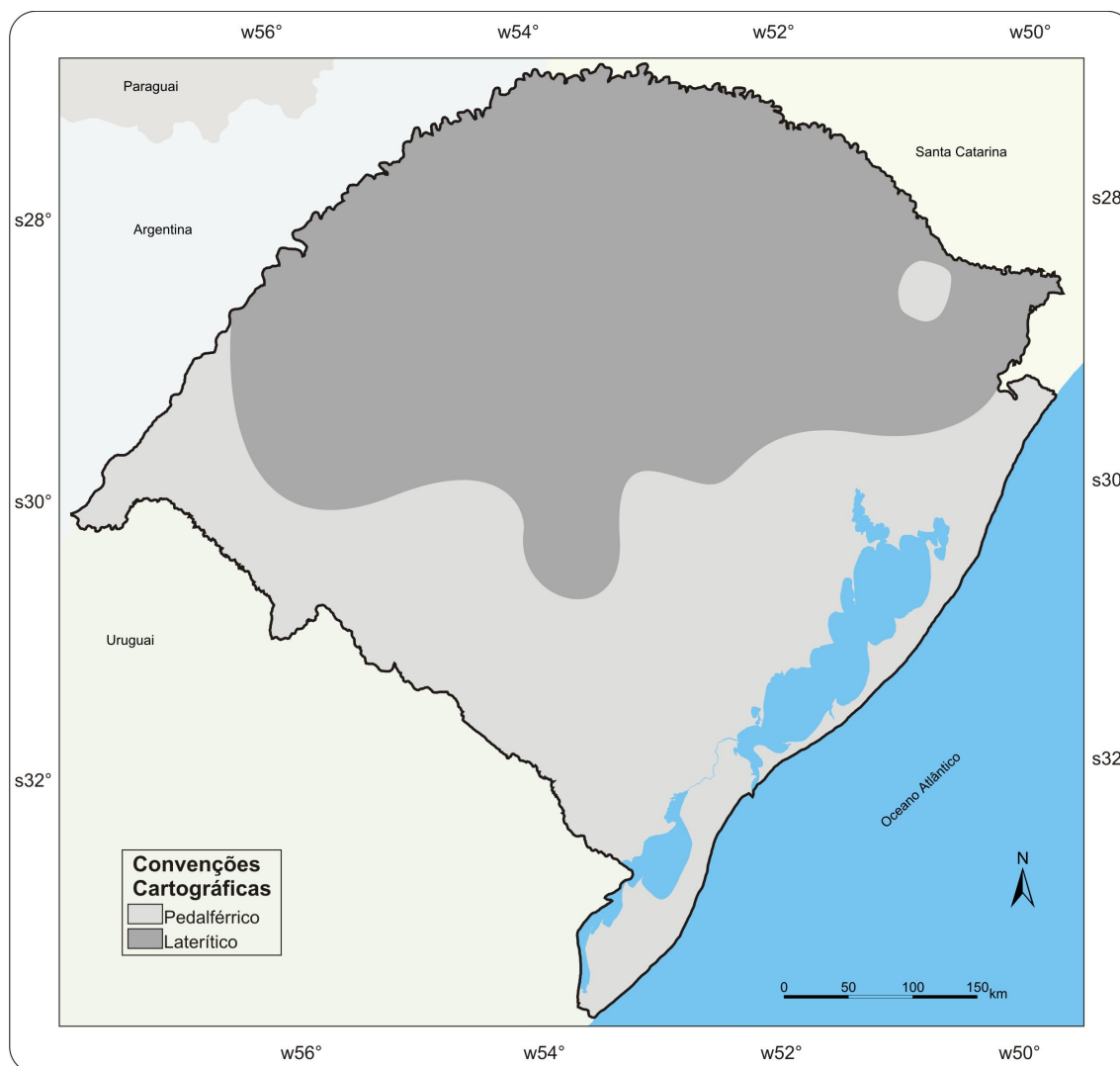
A temperatura, no Rio Grande do Sul, apesar de apresentar variações durante o ano, apresenta as médias anuais entre 14°C e 21°C. As menores médias anuais de temperatura do ar do Estado são registradas em Bom Jesus (14,4°C), localizada na Região da Serra do Nordeste e as maiores, em São Borja (20,1°C), no Vale do Uruguai.

Considerando as médias dos totais anuais de precipitação pluvial e as médias dos totais anuais de temperatura do ar na variação do tipo de intemperismo, o território do Rio Grande do Sul enquadra-se nas condições de intemperismo químico forte e químico moderado. O intemperismo químico forte predomina no Planalto Norte-rio-grandense e o químico moderado predomina no Escudo sul-rio-grandense, na Depressão Central e na Planície Costeira (figura 3).



**Figura 3 – Distribuição geográfica do intemperismo químico forte e químico moderado nas unidades geomorfológicas do Rio Grande do Sul.**

As disponibilidades hídricas e térmicas do Rio Grande do Sul e a variação do tipo de intemperismo favorecem a formação de solos das zonas temperadas quentes (Pedalférricos) e de zonas quentes e úmidas (Lateríticos) conforme a divisão em grupos zonais estabelecidas por Marbut (*UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1935*) e citada em Sthraler e Sthraler (2005) e em Press et al. (2006) (figura 4).



**Figura 4 – Zoneamento dos solos zonais no Rio Grande do Sul.**

Os solos do grupo Pedalférico ocorrem, preferencialmente, em regiões de clima temperado e são descritos como solos com pronunciada lixiviação. Segundo Strhler e Strhler (2005), os valores médios anuais de precipitação pluvial acima de 600mm são considerados condicionantes essenciais para ocorrência deste grupo. O intemperismo é fundamental na desagregação e decomposição das rochas e as variações das condições decorrem da precipitação pluvial anual e da temperatura média anual. Os solos do grupo Pedalférico formam-se em condições de intemperismo químico com índices de precipitação pluvial anual até 1500mm (TEIXEIRA et al, 2003). No Rio Grande do Sul as condições climáticas ideais para a formação desses solos são registradas nas estações meteorológicas localizadas na Depressão Central (com exceção das estações de Santa Maria e Santa Cruz do

Sul), no Escudo Sul-Riograndense (com exceção de Caçapava do Sul), na Planície Costeira e no Planalto Norte-rio-grandense apenas a região de Vacaria (figura 4).

Os solos do grupo Laterítico, de climas quentes e úmidos, o intemperismo é rápido e intenso e os solos tornam-se mais profundos. Nesses ambientes, com valores abundantes de precipitação pluvial (acima de 1500mm anuais) e temperaturas altas, o intemperismo químico, a decomposição das rochas e a vegetação de grande porte desenvolvem-se com facilidade (PRESS et al., 2006). O Rio Grande do Sul, apesar de não localizar-se em latitudes de climas quentes e úmidos, apresenta condições climáticas para o intemperismo das rochas e a formação de solos Lateríticos. As condições climáticas das estações meteorológicas localizadas no Planalto Norte-rio-grandense enquadram-se nas possibilidades de desenvolvimento de solos zonais Lateríticos, com exceção de Vacaria, na Serra do Nordeste e de Itaqui e de Uruguiana na região do Vale do Uruguai (figura 4).

Pelas médias dos totais anuais de precipitação pluvial e pelas médias dos totais anuais de temperatura do ar infere-se que, apesar dos meses de inverno serem considerados frios, o Rio Grande do Sul apresenta condições favoráveis ao acúmulo de água nos perfis e ao desenvolvimento de solos profundos, que podem ser formados a partir de qualquer rocha matriz. A precipitação pluvial (médias dos totais anuais e sua distribuição ao longo dos doze meses do ano) desempenha papel preponderante na formação dos solos Lateríticos.

Entretanto, o território do Rio Grande do Sul, apesar de ser abrangido por condições climáticas que determinam certa homogeneidade, se considerada as médias anuais de precipitação pluvial e temperatura do ar, apresenta, em escala regional, na maior parte do seu território, diversidade de tipos de solos. Essa evidência poderia destacar a relação com a variedade litológica do espaço geográfico do Estado. No entanto, uma mesma rocha matriz pode gerar diferentes tipos de solos. De forma contrária, rochas diferentes, quando submetidas à condições climáticas semelhantes, por um longo período de tempo, formam um mesmo tipo de solo (TEIXEIRA, et al., 2003).

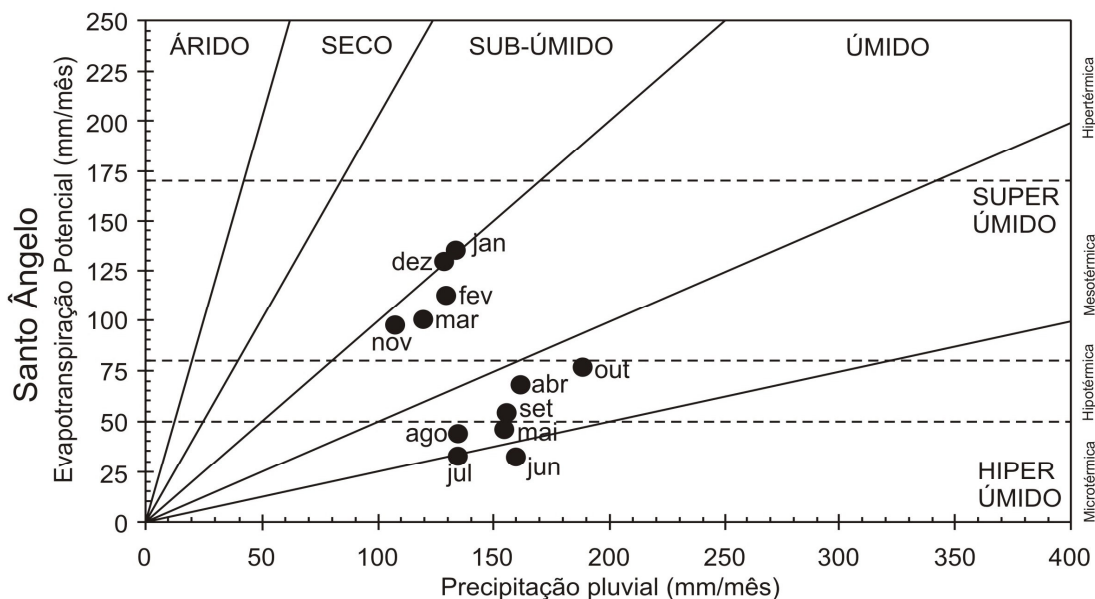
Nesse sentido, foram selecionados áreas do Estado que apresentam um mesmo substrato rochoso para diferentes tipos de solos. Na região do Planalto Norte-rio-grandense, em escala local, há áreas mapeadas como sendo de uma mesma rocha-matriz, o basalto, e que apresentam solos completamente diferentes entre si (figura 1). Esses solos, a exemplo do Neossolo, Chernossolo e Latossolo são gerados a partir de um mesmo substrato rochoso (basalto) e submetidos a condições climáticas (precipitação pluvial e temperatura) semelhantes.

As áreas compreendidas como sendo de solos do tipo Neossolo, considerados solos rasos com perfis pouco desenvolvidos ocorrem, especialmente, nas regiões da Encosta Inferior do Nordeste e no Vale do Uruguai (figura 1). Ocupam as áreas de declive com relevo fortemente ondulado. É considerado relevo forte ondulado a superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e/ou morros (elevações de 50 a 100m e de 100 a 200m de altitudes relativas, respectivamente), com declividade de 20 a 45% (EMBRAPA, 2006). A litologia dominante é de rochas vulcânicas, remanescentes dos sucessivos derrames de lava, e sedimentos derivados das mesmas. Segundo Medeiros (1995) a maior área é de rochas básicas, porém os últimos derrames (superiores a 400m) possuem composição ácida, classificados como riolitos e riodacitos.

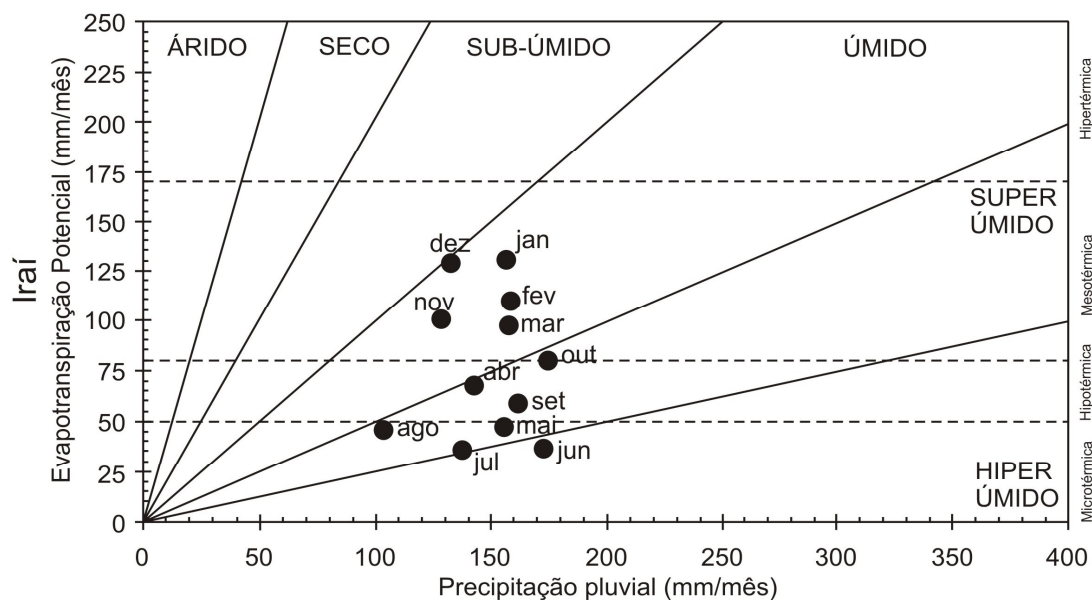
As áreas mapeadas como sendo de solos do tipo Chernossolo também ocorrem nas encostas do Vale do Uruguai, em relevos fortemente ondulados, nas porções mais dissecadas pelas calhas dos afluentes do rio Uruguai São solos rasos a profundos e sua ocorrência está associada aos Neossolos (figura 1). No contexto geológico dominam rochas vulcânicas desde básicas (maior área) até ácidas que conferem aos Chernossolos originados do basalto grau de fertilidade variado, influenciado pela percentagem de argila e quantidade de água que percola no perfil.

As áreas abrangidas pelos Latossolos são constituídas por relevos suavemente onduladas e longas extensões planas, no topo do Planalto Norte-rio-grandense. É considerado relevo suave ondulado a superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros (elevações de altitudes relativas até 50m e de 50 a 100m, respectivamente), apresentando declives suaves de 3 a 8% (EMBRAPA, 2006). Os Latossolos são solos bem drenados, com perfis profundos a muito profundos e altamente intemperizados (figura 1). No contexto geológico onde dominam derrames vulcânicos básicos (basalto) em relevos de coxilhas suave ondulado, submetidos a clima úmido (precipitação pluvial bem distribuída ao longo do ano) os Latossolos são mais argilosos e com presença abundante de limalha de ferro (magnetita de coloração preta) nos valos de drenagem.

As disponibilidades climáticas das estações meteorológicas (evapotranspiração potencial e precipitação pluvial) de Santo Ângelo (figura 5) e de Irai (figura 6) indicam condições de zonas de clima Úmido, Super-úmido e Híper-úmido.



**Figura 5** – Climograma relacionando evapotranspiração potencial e precipitação pluvial, médias dos totais anuais da estação meteorológica de Santo Ângelo (adaptado de Camargo, 1960).



**Figura 6** – Climograma relacionando evapotranspiração potencial e precipitação pluvial, médias dos totais anuais da estação meteorológica de Iraí (adaptado de Camargo, 1960).

As condições climáticas (precipitação pluvial e temperatura) da metade norte do Estado do Rio Grande do Sul e o substrato rochoso de basalto (predominante nessa região) favorecem a formação de solos zonais do grupo Laterítico, profundos e altamente intemperizados. As exceções ocorrentes estão associadas às regiões de maior declive do relevo, onde o escoamento superficial da água é maior e mais rápido e a infiltração é menor e isso, provavelmente, desfavorece a ação do intemperismo químico desencadeado, especialmente, pela disponibilidade de água no perfil.

Na metade sul do Estado, especialmente, na região do Escudo Sul-rio-grandense têm-se diversidade geológica e de formação bastante antiga (Era Paleozóica), com ocorrência de solos distintos entre si. As condições climáticas, se consideradas as médias dos totais anuais de precipitação pluvial e as médias de temperatura do ar, apresentam certa homogeneidade no período avaliado.

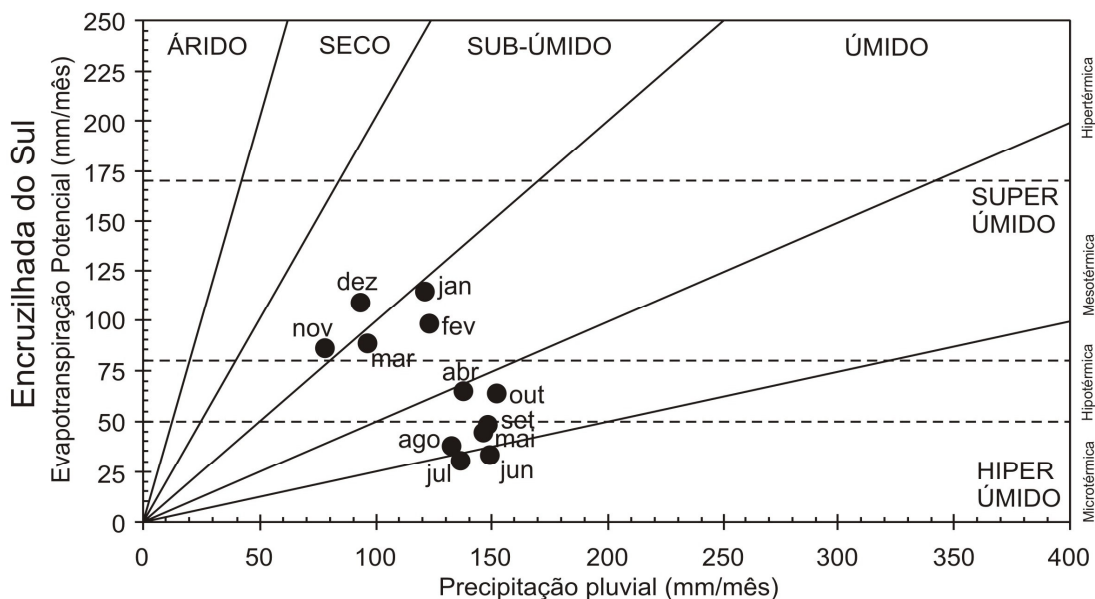
Segundo o Departamento Nacional da Produção Mineral (1984b) há ocorrência expressiva de granitos em áreas como São Sepé, Caçapava do Sul, Lavras do Sul, Dom Feliciano, Encruzilhada do Sul. No contexto geológico de rochas graníticas têm-se solos diferentes entre si e submetidos a condições climáticas (precipitação pluvial e temperatura) semelhante, a exemplo do Neossolo, Cambissolo e Argissolo. Estes solos abrangem uma área considerável do Escudo Sul-rio-grandense (figura 2) e ocorrem, especialmente, no relevo ondulado a forte ondulado da Serra do Sudeste. Os Neossolos originados a partir do granito ocorrente no Escudo Sul-rio-grandense, de litologia muito antiga, são solos de formação muito recente e apresentam perfis rasos e pouco profundos e, geralmente, estão associados à afloramentos de rochas.

As áreas de solos do tipo Cambissolo originados do granito, também ocorrem na Serra de Sudeste em relevos fortemente ondulados (figura 2). São solos rasos a profundos e sua ocorrência está associada à acumulação de matéria orgânica. É comum a presença de fragmento de rocha no perfil do Cambissolo, atestando pouca intemperização do material de origem. Segundo Streck et al. (2008) a presença de material orgânico no topo do perfil está associada às condições climáticas (menores temperaturas e ocorrência de geadas). No Rio Grande do Sul a ocorrência dos Cambissolos corresponde às regiões de maior altitude (Campos de Cima da Serra, Encosta Superior do Nordeste em que predominam rochas básicas do tipo riolito e Serra do Sudeste em que predominam granitos). Nessas regiões de maior altitude, as temperaturas mais baixas favorecem a acumulação da matéria orgânica e a maior precipitação pluvial condiciona o intemperismo.

Segundo Streck et al. (2008) os Cambissolos são solos em processo de transformação e por isso ainda apresentam poucas características para serem enquadrados em outras classes de solos mais desenvolvidas. Na região ao sul da Encosta do Sudeste e Serra do Sudeste, no entorno de Piratini, os Cambissolos já ocorrem associados aos Luvisolos e aos Argissolos também originados do granito.

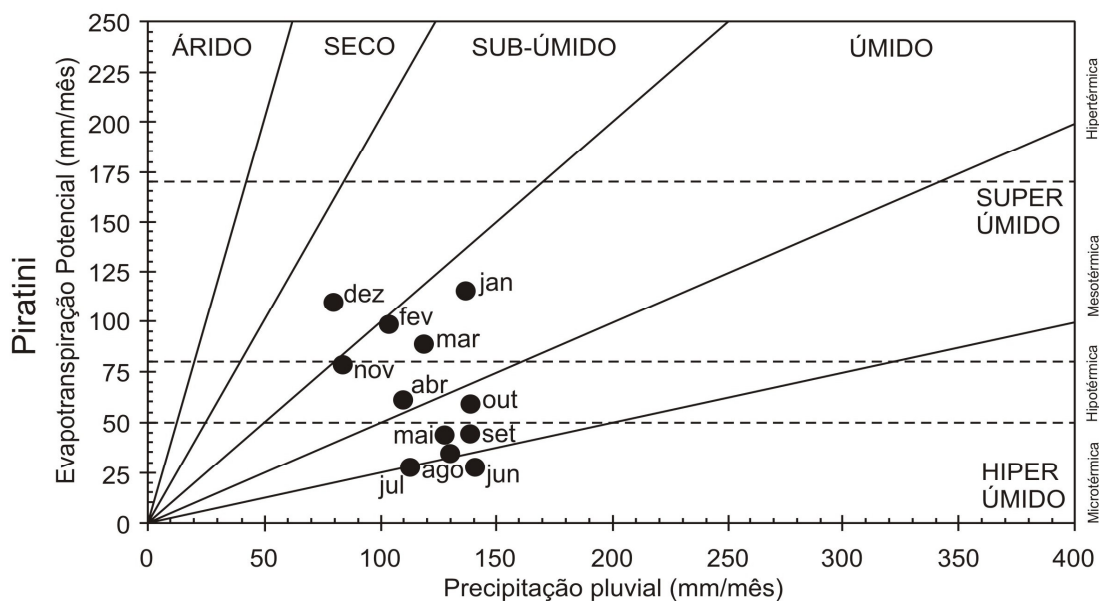
As áreas abrangidas pelos Argissolos são constituídas por relevos desde suave ondulado até forte ondulado. Ocorrem em longas extensões planas da Depressão Central e, de forma esparsa em todo o território do Rio Grande do Sul, a partir de diferentes tipos de rochas. Na Serra do Sudeste têm-se Argissolos formados do granito (figura 2). Os Argissolos são solos geralmente profundos a muito profundos.

As disponibilidades climáticas (evapotranspiração potencial e precipitação pluvial) das estações meteorológicas de Encruzilhada do Sul (figura 7) e de Piratini (figura 8) indicam condições de zonas de clima Úmido, Super-úmido e Híper-úmido.



**Figura 7 - Climograma relacionando evapotranspiração potencial e precipitação pluvial, médias dos totais anuais da estação meteorológica de Encruzilhada do Sul (adaptado de Camargo, 1960).**





**Figura 8 - Climograma relacionando evapotranspiração potencial e precipitação pluvial, médias dos totais anuais da estação meteorológica de Piratini (adaptado de Camargo, 1960).**

Pelos resultados obtidos nos climogramas (evapotranspiração e precipitação pluvial), nas estações meteorológicas utilizadas teve-se condições de clima Úmido, Super-úmido e Híper-úmido.

Nas áreas com ocorrência de substrato rochoso de basalto e com condições climáticas semelhantes (evapotranspiração e precipitação pluvial) têm-se diferentes tipos de solos (Neossolo, Chernossolo e Latossolo). Da mesma forma, nas áreas com ocorrência de substrato rochoso de granito e com condições climáticas semelhantes (evapotranspiração e precipitação pluvial) têm-se tipos de solos distintos (Neossolo, Cambissolo e Argissolo).

## CONCLUSÕES

Os solos zonais do Rio Grande do Sul compreendem solos Lateríticos e solos Pedalférricos.

Solos de clima muito úmido situam-se na metade norte do Estado com médias anuais de precipitação pluvial acima de 1.500mm e são representados pelos solos Lateríticos, predominantemente, os Latossolos.

## REFERÊNCIAS

AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D. **Solos e ambiente**: uma introdução. Santa Maria: Pallotti, 2006. 100 p.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Vol. 1. Florianópolis: Editora da UFSC, 1994. 424 p.

CAMARGO, A. P. Viabilidade e limitações climáticas para a cultura do milho no Brasil. In: Instituto Brasileiro de Potassa. **Cultura e Adubação do Milho**. São Paulo. 1960. 541 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Geologia do Brasil**. Brasília. 1984(b). 840 p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa solo, 2006, 306 p.

FERREIRA, M., ESTEFANEL, V.; BURIOL, G. A. **Estimativa das temperaturas médias mensais e anuais do Estado do Rio Grande do Sul**. Rev. Centro Ciências Rurais, Santa Maria, v. 1, nº 4, p. 21-52, 1971.

INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS. **Atlas agroclimático do estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 1989, 102p. (V 1).

JENNY, H. **Factors of soil formation**. New York: McGraw-Hill. 1941. 281 p.

MARBUT, C. F. **Soils of the United States**: Atlas of American Agriculture, Part III, U. S. Government Printing Office, Washington, D. C., 1935. 630 p.

MEDEIROS, E. R. et al. **Degradação ambiental da região centro-oeste do Rio Grande do Sul**. Ciência & Ambiente. Santa maria, Rs. Volume 11. p. 53-64, 1995.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para entender a Terra**. São Paulo: Bookman. 2006. 655 p.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 107 p.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2008. 222 p.

STRAHLER, A. N.; STRAHLER, A. N. **Geografia Física**. Barcelona, 2005. 550 p.

SUGUIO, K. **Geologia sedimentar**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2003. 400 p.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de textos. 2003. 558 p.

THORNTHWAITE, C. W. The climates of North according to a new classification. **The Geographical Review**, Oct., p. 633-655, 1931.

VIEIRA, L. S. **Manual da ciência do solo**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1975. 464 p.

### 3 CONCLUSÕES GERAIS

No Planalto Norte-rio-grandense predomina o intemperismo químico forte, enquanto que na Depressão Central, no Escudo Sul-rio-grandense e na Planície Litorânea predomina o intemperismo químico moderado.

Em estações meteorológicas com elevados valores de precipitação pluvial o intemperismo químico na formação dos solos é forte, independente dos valores das temperaturas. O principal agente do intemperismo químico, no Estado, é a água da precipitação pluvial.

O modelo edafoclimático contido em Suguio (2003) confirma que o tipo e a intensidade do intemperismo, no Estado, é determinados pela precipitação pluvial e pela temperatura, porém, a maior influência é dada pela precipitação pluvial. O modelo indica que as condições climáticas favorecem a desagregação e alteração da rocha, formação de solo e de lixiviação típicas da zona de monossialitização.

A precipitação pluvial e a temperatura do ar do Estado favorecem a formação de solo com maior proporção de caulinita e oxi-hidróxidos.

O modelo edafoclimático de Géze (1959) enquadra as médias anuais de temperatura do ar e as médias dos totais anuais de precipitação pluvial vigentes em 41 estações meteorológicas do Rio Grande do Sul nas condições climáticas que favorecem solos das zonas temperadas quentes.

Os resultados obtidos por meio dos modelos edafoclimáticos evidenciam que, no Estado do Rio Grande do Sul, podem ocorrer solos profundos e bem desenvolvidos em função das condições de temperatura do ar e de precipitação pluvial.

O modelo edafoclimático de Lang (1915) enquadra as condições climáticas do Rio Grande do Sul para formação de Chernossolos.

Os modelos edafoclimáticos de Prescott (1931), Thornthwaite (1931), Aubert e Henin (1945), Thornthwaite e Hare (1955) e Budyko (1956) demonstram resultados semelhantes entre si e indicam que as condições climáticas do Estado, de temperatura do ar e precipitação pluvial, favorecem a formação de Argissolos.

No modelo edafoclimático de Kohnke (1968) a maior parte das estações meteorológicas localizam-se na zona de formação de Latossolos.

Os resultados obtidos nos modelos edafoclimáticos caracterizam condições climáticas para a formação de solos de climas úmidos. Nestas condições, os solos apresentam condições

de intemperismo e lixiviação em profundidade, favorecendo a formação de perfis homogêneos, bem desenvolvidos e profundos. Isto condiz com as regiões do Estado abrangidas pelos Argissolos, Latossolos e Nitossolos.

Desta forma, segundo os modelos edafoclimáticos aqui utilizados, apenas parte dos solos ocorrentes no Rio Grande do Sul é explicada em função das disponibilidades climáticas vigentes, especialmente àquelas que são mapeadas como sendo de Latossolos, Chernossolos, Argissolos e de Nitossolos e Argissolos, predominantemente localizados no Planalto Norte-rio-grandense e na Depressão Central, respectivamente.

No zoneamento dos grupos de solos zonais, as condições climáticas do Rio Grande do Sul indicam dois grupos: Lateríticos e Pedalféricos. Os Lateríticos, no Rio Grande do Sul são representados, predominantemente, pelos Latossolos e se encontram na metade norte do Estado, com médias anuais de precipitação pluvial acima de 1500mm. Os Pedalféricos, no Rio Grande do Sul são descritos, especialmente, como Argissolos e se encontram na metade sul do Estado.

As condições climáticas atuais do Rio Grande do Sul determinam o tipo de intemperismo e os grupos de solos zonais, porém a relação entre o clima e a diversidade dos tipos de solos existentes no Estado não pode ser explicada unicamente por meio das disponibilidades climáticas.

Na região do Planalto Norte-rio-grandense, a partir do basalto e em condições climáticas semelhantes (de precipitação pluvial e temperatura) ocorrem Neossolos, Chernossolos e Latossolos.

Na região do Escudo Sul-rio-grandense, a partir do granito e em condições climáticas semelhantes (precipitação pluvial e temperatura) ocorrem Neossolo, Cambissolo e Argissolo.

## 4 RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Na realização deste trabalho encontrou-se algumas dificuldades e indagações que podem ser utilizadas como recomendações para futuras pesquisas e proposições. O processo evolutivo da biosfera decorre da própria natureza do universo, que está em constante mudança. Na interpretação dos fatores que regem a formação dos solos são enunciados cinco condicionantes que agem de forma integrada: o clima que atua diretamente sobre a rocha, o relevo e os organismos ao longo do tempo.

Focalizar e estudar apenas um destes fatores, o clima, e sua relação com o solo de uma determinada área pode parecer uma visão determinística. Nesta linha, as críticas são recorrentes ao afirmarem que a estrutura geológica, o relevo, os organismos e o tempo devem ser considerados numa relação dialética nas interpretações dos fatores de formação do solo. Não há dúvidas de que o meio natural é um todo relacionado. No entanto, no exame desse conceito deve-se considerar que os processos naturais apresentam causalidade e estão sujeitos às leis físicas e químicas do seu ambiente. No ambiente específico aqui estudado, o solo, a ação do clima apresenta uma causalidade dupla: diretamente proporciona água e calor para a realização de reações químicas nas rochas e indiretamente determina a flora e a fauna local que, por sua vez, agem efetivamente no processo evolutivo do solo.

Para um melhor entendimento do processo que desencadeia o intemperismo e, por conseqüência, a pedogênese, é importante focalizar e estudar o clima e sua relação com o solo. Para que isto ocorra, são necessários estudos primários, quantitativos e cartográficos, que evidenciam esta relação em escalas regionais. Assim, será possível, gradativamente, aproximar e estudar de forma integrada os cinco fatores formadores do solo.

Entretanto, as relações entre o intemperismo e o clima nem sempre são muito fáceis de ser estabelecidas, porque praticamente todas as áreas da Terra já estiveram submetidas no passado a climas diferentes dos atuais. Da mesma forma, comumente é difícil definir se determinados processos e relevos são compatíveis ou não com os regimes climáticos vigentes.

A diversidade dos tipos de solos nem sempre são mensuráveis por meio de modelos edafoclimáticos. A maioria dos trabalhos com modelos edafoclimáticos restringe-se a pequenas áreas ou direciona-se, especificamente, para o zoneamento edafoclimático de determinadas plantas para agricultura.

Essas evidências abrem um horizonte de investigação interessante para o estudo das relações entre solo e clima, a criação de novos modelos que contemplem essas relações em escalas regionais.

## 5 REFERÊNCIAS

AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D. **Solos e ambiente: uma introdução**. Santa Maria: Pallotti. 2006.

AUBERT, G.; HENIN, S. **Relations entre lê drainage, la température et l'évolution des sols**. C. R. Acad. Sci. Paris, 330-332.1945.

AYOADE, J. D. **Introdução à climatologia dos trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil. 1991. 332 p.

BALDWIN, M. **Soil classification**: Yearboob of Agriculture. Government Printing Office, Washington, D. C. 1938.

BERGAMASCHI, H. et al. **Clima da Estação Experimental da UFRGS (e região de abrangência)**. Porto Alegre, UFRGS, 2003. 77 p.

BERRY, B. J. L. **Geografia de los centros de mercado Y distribuicion al por menor**. Barcelona: Vicens-vives. 1995. 191 p.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Vol. 1. Florianópolis: Editora da UFSC. 1994. 424 p.

BRASIL **Levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul**. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Recife, 1973, 431 p. (Boletim Técnico nº 30).

BUDYKO, M. I. **Atlas tieplobogo balansa zemnogo shara**.(Atlas do balanço calórico do globo terrestre). 69 mapas e textos, Moscou, 1956.

BUENO, M. E. T. Solo e clima: uma introdução ao estudo de suas relações. **Revista Geografia e ensino**. Belo Horizonte: UFMG. v. 2, nº 6, p. 3-11, 1984.

BURGOS, J. J. El clima de la Provincia de Buenos Aires en relación con la vegetación natural y el suelo. In CABRERA, A. L. **Flora de la Provincia de Buenos Aires**. Buenos Aires: INTA, p. 33-39, 1969.



BURGOS, J. J. El clima de la Región Noreste de la Republica Argentina en la relación con la vegetación natural y el suelo. **Boletín de la Sociedad Argentina de Botânica**. Buenos Aires, v. 11, p. 37-102, 1970.

CAMARGO, A. P. Viabilidade e limitações climáticas para a cultura do milho no Brasil. In: Instituto Brasileiro de Potassa. **Cultura e Adubação do Milho**. São Paulo. 1960. 541 p.

CARROLL, D. **Rock Weathering**. New York: Plenum Press. 1970. 325 p.

CHORLEY, R.; HAGGET, P. **Modelos integrados em Geografia**. Rio de Janeiro: LTC. 1974. 98 p.

CHORLEY, R.; HAGGET, P. **Modelos físicos e de informação em Geografia**. Rio de Janeiro: LTC. 1975. 102 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher. 1974. 149 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Léxico Estratigráfico do Brasil**. Brasília. 1984a. 756 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Geologia do Brasil**. Brasília. 1984b. 840 p.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1986. 224 p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa solo. 1999. 412 p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa solo, 2006. 306 p.

FANNING, D. S.; FANNING, V. Z. Minerals in soil environments. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p. 551-634.

FERREIRA, M., ESTEFANEL, V.; BURIOL, G. A. **Estimativa das temperaturas médias mensais e anuais do Estado do Rio Grande do Sul**. Rev. Centro Ciências Rurais, Santa Maria, v. 1, nº 4, p. 21-52, 1971.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Atlas agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria Agricultura e Abastecimento. 1989.

GÉZE, B. **Altération des roches et formation des sols**. La Terre. Paris: Librairie Gallimard, 1959. 73 p.

GLINKA, K. D. Dokuchaiev's ideas in the development of pedology and cognate sciences, U.S.S.R. Acad. Sci. Russian Pedological Investigations, 1927.

GUERRA, A. T. **Dicionário geológico geomorfológico**. Rio de Janeiro: IBGE. 1989. 289 p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Disponível em [www.dpi.inpe.br/spring/](http://www.dpi.inpe.br/spring/). Acesso em 22 de setembro de 2007.

INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS. **Atlas agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 1989, 102p. (V 1).

JENNY, H. **Factors of soil formation**. New York: McGraw-Hill, 1941. 281 p.

KOHNKE, H.; STUFF, L. R.; MILLER, P. A. Quantitative relations between climate and soil formation. **Journal Paper** n° 3199, p. 24-33. Purdue University Agricultural Experiment Station, Lafayette, Indiana, EUA, 1968.

KÖPPEN, W. **Climatologia**. México: Fundo de Cultura Economica, 1948. 466p.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R.; POHL, A. **Klima der Erde** (mapa). Germany: American Distributor. 1953.

KRAUSKOF, K. B. **Introdução à geoquímica**. São Paulo: Editora da USP. Volumes I e II. 1972.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. **Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite**. *Disciplinarium Scientia*, Santa Maria, V. 2, nr. 1, p. 171-182. 2001.

LANG, R. Versuch einer exakten Klassifikation der Böden in klimatischer und geologischer Hinsicht. **Internat Mitt. für Bodenkunde**. Stuttgart, n. 8, v. 7, p. 312-346, 1915.

LEINZ, V.; AMARAL, S. E. do **Geologia Geral**. São Paulo: Nacional. 1985. 320 p.

LOUGHNAN, F. C. **Chemical weathering of the silicate minerals**. New York: American Elsevier Publishing Company, Inc., 1969. 390 p.

MARBUT, C. F. **Soils of the United States**: Atlas of American Agriculture, Part III, U. S. Government Printing Office, Washington, D. C. 1935.

MARTONE, E. de **Une nouvelle fonction climatologique: l'indice d'aridité**. La Météorologie, Paris, oct., p. 449-459, 1926.

MEDEIROS, E. R. et. al. **Degradação ambiental da região centro-oeste do Rio Grande do Sul**. Ciência & Ambiente. Santa Maria, RS. Volume 11. p. 53-64, 1995.

MENDES, J. C. **Elementos de estratigrafia**. São Paulo: Universidade de São Paulo. 1984. 240 p.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de textos. 2007.

MEYER, A. Über einige Zusammenhänge zwischen Klima und Boden in Europa. **Chemie der Erde**, 2, 1926.

MOREIRA, I. **O espaço rio-grandense**. São Paulo: Ática, 2003. 96 p.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 38 p.

MOTA, F. S. **Meteorologia agrícola**. São Paulo: Nobel. 1985.

MÜLLER FILHO, I. L. **Notas para o estudo da geomorfologia do Rio Grande do Sul, Brasil**. Santa Maria: Imprensa Universitária – UFSM. Publicação especial nº 1. 1970.

NIMER, E. Clima. In: IBGE. **Geografia do Brasil**: Região Sul. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1990, p. 151-187.

PEREL'MANN, A. I. **Geochemistry of Epigenesis**. New York: Plenum Press. 1970. 170 p.

PHILIPPS, A. de. **Ecologia e fitoclimatologia florestais. Anuário Brasileiro de Economia Florestal**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional do Pinho. V. 6. nº 6. 1953.

PRESCOTT, J. A. **The soils of Australia in relation to vegetation and climate**. Comm. Of Australia. Counc. For Scientific and Industrial Research. Bull. Nº 52, Melbourne, 1931.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para entender a Terra**. São Paulo: Bookman. 2006. 655 p.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo**. A agricultura nas regiões tropicais. São Paulo: Nobel. 2002. 122 p.

RAMBO, B. **A fisionomia do Rio Grande do Sul**. 3ªed: Canoas: Editora Unisinos, 1956. 201 p.

SILVA, et. al. **Solos do topo da serra São José (Minas gerais) e suas relações com o paleoclima no sudeste do Brasil**. RBCS. V 28. nº 3. 2004.

SKINNER, B. J. ; PORTER, S. C. **The dynamic Earth**. New York: J. Willey & Sons, 1995. 496 p.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 107 p.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2008. 222 p.

STRAHLER, A. N.; STRAHLER, A. N. **Geografia Física**. Barcelona, 2005. 550 p.

SUGUIO, K. **Geologia sedimentar**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2003. 400 p.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de textos. 2003. 558 p.

THOMAS, M. F. **Geomorphology in the tropics**. New York: John Wiley & Sons, 1994. 320 p.

THORNTHWAITE, C. W. The climates of North according to a new classification. **The Geographical Review**, Oct., p. 633-655, 1931.

THORNTHWAITE, C. W.; HARE, F. K. Climate classification in forestry. **Unasyuva**, v. 9, n. 2, 1948 (Publ. FAO, Roma).

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. Water balance. **Climatology**. Centerton, New Jersey, v. 8, n. 1, p. 1- 104, 1955.

THORP, J.; SMITH, A. The effects of vegetation and climate upon soil profiles in northern and northwestern Wyoming, *Soil Sci.*, 283-301, 1949.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Soils and men**: yearbook of agriculture. Washington: Washington D.C., Government Printing Office, 1998, 281 p.

VIEIRA, L. S. **Manual da ciência do solo**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1975. 464 p.

WEISS, A. Algorithms for the calculation of moist air properties on a hand calculator. **Transactions of ASAE**, 1113-1136, 1977.

WILLIAMS, H.; TURNER, F. J.; GILBERT, C. M. **Petrografia**. São Paulo: Polígono. 1970. 203 p.

WULLSCHLEGER, S. D.; LYNCH, J. P.; BERNTSON, G. M. Modelong the belowground response of plants and soil biota to edaphic and limatic change – What can expect to again? **Plant and soil**, v. 165, p. 149-160, 1994.