UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARTAS PEDOGEOQUÍMICAS DOS SOLOS
DESENVOLVIDOS SOBRE AS ROCHAS
VULCÂNICAS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL:
UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA (SIG).**

Vania Silvia Rosolen

Orientador: Prof. Dr. Adolpho José Melfi

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica Geotectônica

SÃO PAULO
1996

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARTAS PEDOGEOQUÍMICAS DOS SOLOS
DESENVOLVIDOS SOBRE AS ROCHAS
VULCÂNICAS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL:
UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA (SIG).**

Vania Silvia Rosolen

Orientador: Prof. Dr. Adolpho José Melfi

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

	nome	ass.
Presidente:	<u>Adolpho José Melfi</u>	<u> </u>
Examinadores:	<u>Adilson Carvalho</u>	<u> </u>
	<u>Carlos Roberto Espindola</u>	<u> </u>

SÃO PAULO
1996

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005488

**CARTAS PEDOGEOQUÍMICAS DOS SOLOS
DESENVOLVIDOS SOBRE AS ROCHAS
VULCÂNICAS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL:
UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA (SIG).**

Vania Silvia Rosolen

Orientador: Prof. Dr. Adolpho José Melfi

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica Geotectônica

SÃO PAULO
1996

A Marcelo,
dedico

RESUMO

A bacia sedimentar do Paraná tem sido objeto de muitos estudos cujos trabalhos enfocam tanto os aspectos humanos quanto os aspectos físicos da paisagem.

As rochas da Formação Serra Geral, as vulcânicas básicas e ácidas, após submetidas aos processos de intemperismo resultam em solos que são bastante conhecidos, principalmente aqueles desenvolvidos a partir de basaltos. Os principais tipos são: a Terra Roxa Legítima e a Terra Roxa Estruturada que dominam na porção norte da bacia e os Latossolos Brunos, Planossolos, Vertissolos, Terras Brunas e Criptopodzólicos presentes na porção sul.

Porém, as informações referentes a estes solos são pontuais e dispersas em vários trabalhos, não existindo nenhum trabalho de síntese.

Neste trabalho, o enfoque é a compreensão global da evolução e distribuição dos solos formados sobre as rochas vulcânicas da bacia do Paraná. Para isso, foi criado um banco de dados contendo informações mineralógicas, físicas, químicas e físico-químicas dos solos estudados que serviram de base para a elaboração de cartas pedogeoquímicas da área. Estas cartas foram feitas utilizando um Sistema de Informação Geográfica.

Com base nestas cartas foi possível estabelecer a repartição dos principais meios de alteração presentes na bacia e correlacioná-los com as condições ambientais. São eles: meio laterítico dessaturado, meio laterítico aluminizado e meio saturado.

AGRADECIMENTOS

Após o término desta dissertação gostaria de expressar meus agradecimentos às pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

Ao professor doutor Adolpho José Melfi pela constante orientação e por dar todas as condições para a realização desta pesquisa.

Ao geógrafo José Antonio Ferrari (IG), por ter auxiliado na elaboração do banco de dados e na utilização do SIG.

Ao técnico do Laboratório de Paleomagnetismo (IAG), Roberto Siqueira pela boa vontade com que me auxiliou em todas as dificuldades referentes a informática.

Aos desenhistas Luís e Lélis (IAG) pela elaboração dos mapas.

As doutoras Célia Regina Montes Lauar e Maria Luiza Melchert de Carvalho e Silva pelas sugestões e pela amizade.

Ao geólogo Hélio Shimada (IG), pelas correções feitas e pela amizade.

As secretárias Rosana, Lurdes e Vera pela atenção dispensada.

Aos amigos do Geociências e do Nupegel pelo companherismo.

Finalmente, gostaria de agradecer a Capes pelo apoio financeiro.

ÍNDICE

Resumo	i
Agradecimentos	ii
Introdução e objetivos	1
I- A área de estudo: o meio físico	3
I.1- localização da área	3
I.2- geologia	5
I.3- relevo	10
I.4- clima	15
I.5- vegetação	19
I.6- intemperismo e solos desenvolvidos sobre as rochas vulcânicas da bacia do Paraná	21
I.6.1- os solos da zona tropical - Alta Bacia do Paraná.....	23
I.6.1.1- Terra Roxa Legítima.....	23
I.6.1.2- Terra Roxa Estruturada	25
I.6.2- os solos da zona subtropical	26
I.6.2.1- os solos dos planaltos	26
I.6.2.1.1- latossolo bruno	26
I.6.2.1.2- terra bruna	26
I.6.2.1.3- criptopodzol	27
I.6.2.2- os solos das zonas baixas	27
I.6.2.2.1- planossolo	27
I.6.2.2.2- vertissolo	28
I.6.3- os solos azonais	28
I.6.3.1- litossolos	28
II- Revisão bibliográfica	30
III-Técnicas e abordagem metodológica	36
III.1- abordagem metodológica	36
III.2- técnicas	37
III.2.1- cartas temáticas	37
III.2.2- trabalho de campo	37
III.2.3- levantamento, coleta e tratamento de dados	37
IV- Apresentação e discussão dos resultados	46
IV.1- interpretação dos resultados das cartas	46
IV.1.1- Ki	46

IV.1.2- alumínio trocável	49
IV.1.3- pH	53
IV.1.4- saturação de bases	56
IV.1.5- capacidade de troca catiônica	59
IV.1.6- carbono	62
IV.2- caracterização geoquímica do material de alteração superficial	66
IV.2.1- a extensão geográfica dos materiais	66
IV.2.2- o complexo absorvente	69
IV.3- síntese dos resultados obtidos com as cartas pedogeoquímicas:	
definição dos três principais tipos de alteração pedogeoquímica	72
IV.3.1- o meio dessaturado	72
IV.3.2- o meio aluminizado	73
IV.3.3- o meio saturado	73
V- Considerações finais	75
VI- Bibliografia	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da bacia do Paraná na América do Sul	4
Figura 2: Localização da área de estudo	4
Figura 3: Lineamentos geológicos da bacia do Paraná	7
Figura 4: Mapa simplificado da distribuição das rochas básicas e ácidas da região estudada	9
Figura 5: Mapa altimétrico da região estudada	14
Figura 6: Distribuição dos meses secos e úmidos da região estudada	17
Figura 7: Mapa simplificado do clima da região estudada	18
Figura 8: Mapa simplificado da vegetação da região estudada	20
Figura 9: Mapa simplificado dos solos da região estudada	24
Figura 10: Localização dos pontos plotados	39
Figura 11: Relação Ki no horizonte A	47
Figura 12: Relação ki no horizonte B	48
Figura 13: Distribuição dos teores de alumínio trocável no horizonte A	51
Figura 14: Distribuição dos teores de alumínio trocável no horizonte B	52
Figura 15: Distribuição dos valores de pH do horizonte A	54
Figura 16: Distribuição dos valores de pH do horizonte B	55
Figura 17: Saturação de bases do horizonte A	57
Figura 18: Saturação de bases do horizonte B	58
Figura 19: Distribuição dos valores de CTC no horizonte A	60
Figura 20: Distribuição dos valores de CTC no horizonte B	61
Figura 21: Distribuição dos teores de carbono do horizonte A	64
Figura 22: Distribuição dos teores de carbono do horizonte B	65
Figura 23: Síntese dos grandes tipos de materiais de alteração encontrados na área.....	66

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A bacia sedimentar do Paraná tem sido objeto de muitos estudos, tanto no que se refere ao seu quadro físico, como no aspecto humano da paisagem. Este interesse deve-se a fatos muito particulares, inerentes à região: do ponto de vista físico, ressalta-se a geologia uma vez que a bacia do Paraná foi atingida por um extenso vulcanismo fissural que conferiu-lhe feições próprias e que atraiu a atenção de vários pesquisadores; do ponto de vista humano, pertence a uma importante região geoeconômica (centro-sul do Brasil) que, desde o final do século XIX vem despontando como uma região de grande desenvolvimento agrícola (os solos roxos provenientes da decomposição dos basaltos serviram de base para este desenvolvimento) e industrial.

Nos últimos anos, o vulcanismo da Formação Serra Geral contou com estudos sistemáticos que permitiram compreender melhor a geodinâmica deste importante evento magmático que, durante o Mesozóico, afetou grande parte da América do Sul. Por outro lado, estes trabalhos permitiram caracterizar com pormenores a petrologia, mineralogia, geoquímica de suas litologias assim como definir a distribuição geográfica de suas rochas. Os dois litotipos principais que compõem esta Formação foram cartografados. Os litotipos básicos que são predominantes em extensão e os litotipos ácidos que lhes são subordinados.

Os trabalhos sobre os solos desta região são relativamente abundantes, principalmente aqueles que tratam dos solos desenvolvidos a partir dos basaltos. Merecem destaque as contribuições fornecidas pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos, EMBRAPA, além de teses e artigos científicos de pesquisadores de Universidades e Institutos de Pesquisa, cujas abordagens muito contribuíram para o conhecimento da gênese, evolução e classificação destes solos. A mesma atenção não foi dada para as rochas ácidas que, na maior parte dos trabalhos, não foram sequer identificadas, tendo sido confundidas com os termos básicos.

Com base nos referidos trabalhos, os principais tipos de solos desenvolvidos sobre as rochas vulcânicas e suas distribuições são: na parte norte da bacia dominam a Terra Roxa Estruturada e a Terra Roxa Legítima, enquanto na porção sul são encontrados os Latossolos Brunos, os Planossolos, os Vertissolos, as Terras Brunas e os Criptopodzólicos.

Estes solos, formados a partir de um substrato rochoso relativamente homogêneo são bastante diferenciados no que diz respeito às suas características físicas, morfológicas, mineralógicas e físico-químicas, as quais se distribuem no interior da bacia em zonas biogeoclimáticas distintas

Apesar dos inúmeros estudos existentes, os dados que possuímos sobre estes solos são pontuais e dispersos não existindo nenhum trabalho de síntese onde todos os dados existentes são tratados em conjunto. Assim, torna-se de fundamental importância para a realização de uma pesquisa que visa a compreensão global da evolução e distribuição dos solos formados sobre rochas vulcânicas da bacia do Paraná, que estes dados sejam coletados, organizados e homogeneizados através da criação de um banco de dados, onde os parâmetros que definem as características mineralógicas, físicas, químicas e físico-químicas dos solos estudados possam servir de suporte para a elaboração de mapas pedogeoquímicos e também como fonte de dados para consultas posteriores.

Assim sendo, os principais objetivos que nortearam a realização da pesquisa foram:

- organizar um banco de dados dos solos desenvolvidos sobre as rochas vulcânicas da bacia do Paraná contendo as informações mineralógicas, físicas, morfológicas, químicas e físico-químicas de todos os perfis coletados na região e descritos em trabalhos anteriores;
- fazer análises de correlação buscando definir até que ponto as condições ambientais da área de estudo exercem importância na evolução e repartição das características dos solos;
- entender a distribuição dos solos e utilizar um sistema informatizado para elaborar cartas pedogeoquímicas.

I- A ÁREA DE ESTUDO: O MEIO FÍSICO

I.1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A bacia do Paraná está localizada na porção centro-leste da América do Sul e cobre uma área de aproximadamente 1.700.000 km². Abrange parte do Brasil (1.100.000 km²), Argentina (400.000 km²), Paraguai (100.000 km²) e Uruguai (100.000 km²). (Piccirillo e Melfi, 1988). (figura 1)

Neste trabalho, a área estudada, situada integralmente no território brasileiro, localiza-se entre os paralelos 15° e 32° de latitude Sul e os meridianos de 56° e 49° de longitude Oeste, sobre a Formação Serra Geral, que ocupa uma área de aproximadamente 750.000 km² e abrange parte dos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul. (figura 2)

Figura 1: Localização da bacia do Paraná na América do Sul. (Fonte: Piccirillo e Melfi, 1988)

Figura 2: Localização da área de estudo

1.2 - GEOLOGIA

A bacia sedimentar do Paraná foi afetada a partir do fim do Jurássico e início do Cretáceo por um extenso vulcanismo fissural que a deixou quase que totalmente recoberta por rochas vulcânicas de caráter básico.

A expressão máxima deste evento vulcânico é encontrado no Brasil onde este imenso pacote de lavas apresenta espessuras variáveis. No Rio Grande do Sul e Santa Catarina, Leinz et al. (1966), observando o front" escarpado das cuestas, notam espessura média de cerca de 1.000 metros. Essa espessura vai diminuindo progressivamente conforme dirige-se em direção a norte e oeste da bacia, atingindo nas cuestas dos estados de Mato Grosso e São Paulo uma espessura média inferior a 400 metros.

Na parte norte da bacia, as rochas vulcânicas encontram-se quase que totalmente recobertas por sedimentos continentais pós-derrames do Grupo Bauru, estando seus afloramentos praticamente restritos aos vales dos rios mais importantes da região.

Associado às manifestações vulcânicas ocorrem intrusivas básicas sob a forma de sills e diques, cuja distribuição não é homogênea por toda a bacia. Os sills estão concentrados na porção centro e norte da região, nos Estados de São Paulo e Paraná, sendo escassos no extremo sul da bacia. Os diques ocorrem predominantemente cortando o embasamento cristalino pré-Devoniano, na região nordeste da bacia (Piccirilo e Melfi, 1988). Loczy (1966) mostra que existe relação entre essas intrusões e a tectônica, pois quase todas as falhas profundas estão preenchidas por diabásio, decorrentes dos processos epirogenéticos que causaram subsidência da crosta.

O início da história evolutiva da bacia do Paraná data do Devoniano Inferior, quando ocorreu a reativação das linhas de fraqueza do Embasamento da Plataforma Sul-Americana e deposição de sedimentos marinhos do Grupo Paraná. No Carbonífero Inferior/ Permiano Superior, movimentos tectônicos soerguem as bordas e deprimem o centro da bacia ativando os processos erosivos e deposicionais marinhos e continentais com resquícios da glaciação permo-carbonífera (Grupo Tubarão). No final do Paleozóico e início do Jurássico predominavam na área condições de clima desértico propiciando a deposição de sedimentos arenosos continentais de origem eólica pertencentes à

Formação Botucatu. Importantes eventos tectônicos com efusão de lavas basálticas e intrusivas vulcânicas da Formação Serra Geral ocorreram no final do Jurássico e início do Cretáceo sendo que, após seu término, intenso falhamento e erosionamento dissecou a bacia. Posteriormente ocorreu a deposição de sedimentos do Grupo Bauru (Almeida, 1956 e Fúlfaro et al., 1982).

Do ponto de vista petrográfico, os derrames de lavas distribuídos em toda extensão da Bacia do Paraná, foram descritos como sendo basalto de composição homogênea (Leinz, 1949, Almeida, 1956, Ruegg, 1975 e 1976). Estudos recentes (Cordani et al., 1980; Sartori et al., 1982 e 1983; Sartori, 1984; Bellieni et al., 1986; Nardy, 1987, Roisemberg, 1989) mostraram que são dois os principais tipos de rochas, expresso pelos basaltos e andesi-basaltos e riolitos e dacitos, cuja maior diferenciação reside no aspecto químico. Os diferentes tipos de basalto se distinguem por apresentarem altas e baixas concentrações de titânio e elementos incompatíveis (Sr, Ba, Zr e Nb).

Segundo as características geoquímicas das rochas vulcânicas, 3 grandes regiões foram demarcadas (Bellieni et al., 1986, Nardy et al., 1993): a primeira região ou região Norte é aquela que se localiza acima do lineamento do rio Piquiri onde predominam os litotipos básicos e pequenas ocorrências de rochas ácidas do tipo "Chapecó". Estas rochas fazem parte do grupo que apresentam alta concentração de titânio e elementos incompatíveis. A segunda região se localiza abaixo do lineamento do rio Uruguai onde predominam também os litotipos básicos porém com grande expressão de rochas ácidas do tipo "Palmas", concentradas especialmente nas porções mais elevadas dos Planaltos Meridionais do Rio Grande do Sul e Santa Catarina e fazem parte do grupo de rochas com baixa concentração de titânio e elementos incompatíveis. Por fim a terceira região, central, corresponde àquela entre os lineamentos Piquiri e Uruguai que apresentam rochas básicas assim como rochas ácidas do tipo "Palmas" e "Chapecó" (figura 3). A distribuição das rochas não é aleatória uma vez que estas rochas se deslocam preferencialmente para a borda leste da bacia.

Sartori et al. (1982) mostraram que na porção centro-oeste de Santa Catarina e no Estado do Paraná as rochas ácidas estão presentes em altitudes superiores a 1000 metros enquanto que no Estado de São Paulo estas rochas afloram em altitudes mais modestas, nas proximidades do rio Paranapanema, próximo às barragens de Xavantes e Armando Laydner, respectivamente nos municípios de Xavantes e Pirajú.

7

As rochas vulcânicas básicas são basalto e andesi-basalto geralmente com granulação fina, textura ofítica ou cubofítica e a coloração é cinza-escuro a cinza- médio- escuro. Apresentam fenocristais de plagioclásios, clinopiroxênios (augita), opacos (magnetita e ilmenita) e olivina, sendo que esta aparece quase sempre alterada e microfenocristais de plagioclásio, clinopiroxênio, pigeonita e opacos. A matriz é composta pelos mesmos minerais acima citados mas também pode conter feldspato alcalino, quartzo apatita e quantidades variadas e material vítreo (Raposo, 1987, Nardy, 1987; Sartori et al.; 1982, Nardy et al., 1993).

As rochas ácidas (riolitos e dacitos) do tipo Palmas são caracterizadas por apresentar feno ou microfenocristais de plagioclásio, piroxênio, magnetita e ilmenita, envolvidos por uma trama constituída essencialmente por quartzo e feldspato microcristalino. (Nardy, 1987).

As rochas ácidas do tipo Chapecó são caracterizadas por apresentarem textura fortemente porfirítica com presença de macro e mesofenocristais de plagioclásio, piroxênio, magnetita e ilmenita imersos em uma matriz semi-vítrea a microcristalina (Nardy, 1987).

A distribuição das rochas básicas e ácidas está representada na figura 4.

I.3 - RELEVO

O relevo da bacia do Paraná, a exemplo do que ocorre em quase todo o país, é caracterizado por um conjunto de relevo de planalto. Morfologicamente, encontra-se situada no denominado Planalto Meridional do Brasil (Monteiro, 1963).

Esta bacia apresenta forma semicircular, bordejadas por escarpas de front" voltados para leste nos estados de RS, SC, PR, SP e parte de MG. Volta-se para o norte e oeste a medida em que adentramos para o interior, nos estados de GO e MS. Estas cuestas apresentam características morfológicas diversas nos diferentes setores da bacia. Na parte centro-norte, o alinhamento é mais interiorizado, são mais dissecadas e com níveis altimétricos inferiores; na porção sul ocorrem próximas ao litoral, são mais elevadas e apresentam relevos mais íngremes. Alguns autores, entre eles Ab'Saber (1949), Almeida (1949), Leinz et al. (1966), já buscaram explicações para esta forma de relevo devido a sua dimensão e por ser exclusiva das áreas periféricas das bacias sedimentares, separando-as dos antigos escudos Pré-Cambrianos.

Loczy (1966), define esta bacia sedimentar como "uma área deprimida ou, um sinclinal com eixo orientado de NNE para SSO. O aspecto principal é o sistema monoclinal, levemente abaulado, possuindo inclinação suave em direção ao centro, de ambos os lados".

Almeida (1956), tomando por base os aspectos paleogeográficos e estruturais organizou a divisão morfológica da bacia do Paraná que serviu como referência para vários autores que estudaram a bacia e cuja divisão também será adotada neste trabalho, com algumas adaptações.

Dois grandes setores foram delimitados com suas respectivas subdivisões:

- o setor norte que engloba a bacia do Alto Paraná ;
- o setor sul que engloba as áreas do Planalto das Araucárias e a Zona das Missões.

No setor norte, isto é, na bacia do Alto Paraná as formas de relevo são mais suavizadas. No setor sul, o relevo é menos uniforme e as amplitudes são maiores.

Resta salientar que a divisão entre os dois setores e as subdivisões aí ocorridas se dão de maneira arbitrária, isto é, torna-se difícil traçar uma linha divisória natural uma vez que não há transição clara entre elas. A separação norte-sul foi realizada traçando uma linha imaginária onde termina a cobertura suprabasáltica do arenito Caiuá, ao norte; onde terminam as matas de Araucária e as áreas de cultura de café ao sul. Aí encontra-se também o limite climático que separa os climas tropicais com inverno seco ao norte e climas temperados úmidos com chuvas bem distribuídas durante todo o ano que se estendem ao sul.

A subdivisão feita para o setor norte delimitou as zonas de cuevas basálticas marginais e os planaltos sedimentares interiores onde o basalto está aflorado nos principais vales. No setor sul, as subdivisões ficam por conta do Planalto das Araucárias e a Zona das Missões onde os derrames basálticos decrescem progressivamente em direção à bacia Pampeana.

BACIA DO ALTO PARANÁ: O limite da bacia se dá em forma de cuevas, com altitudes máximas alcançando cerca de 1100 m (SP). Em Goiás e Minas Gerais as altitudes não ultrapassam 1000 m e em Mato Grosso do Sul 850 m. O aspecto local diferenciado das cuevas pode ser explicado pela espessura dos derrames, o número e espessura das intercalações areníticas e a posição relativa às principais drenagens conseqüentes e obseqüentes. Quando as intercalações de arenito são desprezíveis, as escarpas são pouco festonadas e com poucos testemunhos isolados. Caso contrário, o "front" da cueva torna-se festonado abrigando drenagem obseqüente e morros testemunhos. Esse tipo de intercalação arenítica também é responsável pelos perfis escalonados, originando plataformas estruturais.

O reverso das cuevas, uma superfície monoclinal, fortemente esculpida, originando feições morfológicas do tipo "canyon" conseqüentes e escarpas interiores.

Rumo ao interior os planaltos sedimentares emprestam ao relevo formas suavizadas com perfis convexos alongados e monótonos. Nas partes onde aparecem arenitos silicificados a topografia assume formas tabulares com estreitos espigões com vales de fundo chato, terminando em escarpas abruptas, denominados "chapadões". Como foi dito anteriormente, quando os rios rompem a cobertura arenítica em função de níveis de base locais, o basalto aflora originando corredeiras e até mesmo cachoeiras.

A análise da rede de drenagem nos mostra que os rios convergem perfeitamente acomodados ao mergulho das camadas. Muitos deles são originados fora da linha de cuestras, demonstrando que durante o abatimento da bacia os rios mudaram seus cursos obedecendo às deformações pretéritas.

O local mais deprimido dentro desta zona situa-se á montante do rio Paraná.

O PLANALTO DAS ARAUCÁRIAS: esta subdivisão do relevo foi individualizada por apresentar relevos altamente dissecados e altitudes elevadas que chegam a alcançar até 2000 m (Campo dos Frades, Serra Geral).

Existe uma sucessão de cuestras voltadas a leste, para o Núcleo Curitibano". As intercalações de arenito entre os basaltos são pouco espessas, tornando o "front" das cuestras pouco festonados .

Dentro desta compartimentação pode-se separar dois tipos de relevo:

- o Planalto Médio, localizado entre as cotas de 400-800 metros de altitude apresenta relevo forte ondulado e ondulado formado por elevações com fortes declives;
- os Campos de Cima da Serra, situados a leste, nas cotas superiores a 800 metros, com relevos de coxilhas alongadas com declives suaves na região de Vacaria e coxilhas com declives curtos na região de Bom Jesus.

A denominada Serra Geral em Santa Catarina e Rio Grande do Sul forma um conjunto de escarpas abruptas e com grandes desníveis e muito falhadas não coincidindo com a direção das camadas sedimentares. Este escarpamento adentra-se pelo litoral, formando paredões abruptos, as "falésias".

O limite da Serra Geral, no Rio Grande do Sul, forma um extenso "front" serrano onde a altitude declina rumo a oeste. Em Santa Catarina e Paraná, os rios escoam através de patamares estruturais e em vales acidentados buscando as calhas dos rios Uruguai e médio Paraná. O relevo torna-se mais suavizado em direção a Zona das Missões.

A hidrografia do Planalto das Araucárias é notória por apresentar rede centrífuga, isto é, os rios "fogem" da área do Núcleo Curitibano, perfeitamente acomodados à superfície basáltica.

ZONA DAS MISSÕES: localizada no estado do Rio Grande do Sul, a Zona das Missões é a continuação do flanco ocidental do Planalto das Araucárias. O relevo torna-se suave ondulado no sentido leste-oeste e, as maiores altitudes atingem 500 m (Serra de São Xavier). A drenagem escoar rumo ao rio Uruguai, onde as formas do terreno são ainda mais baixas e suaves. O relevo é ondulado e suave ondulado, caracterizado por elevações arredondadas (coxilhas) com vertentes longas.

Esta área adentra a Argentina onde as intercalações de arenito nas lavas basálticas são pouco espessas e os vales do rio Paraná e Uruguai apresentam aluviões recentes. O espigão da Serra das Missões funciona como um divisor de água entre os rios Paraná e Uruguai onde o relevo é mais acidentado com perfis escalonados e vales encaixados.

A altimetria cartografada na figura 5 representa os principais zonas geomórficas da bacia.

Figura 5: Mapa altimétrico da região estudada (metros)

I.4 - CLIMA

A bacia do Paraná encontra-se inserida nos domínios tropicais e subtropicais sendo que sua maior porção está localizada no segundo domínio. Essa diferenciação climática é responsável pelos diferentes índices de precipitação e temperatura que afetam a bacia.

I.4.1- PRECIPITAÇÃO

Na bacia do Paraná a média anual de chuvas é bastante elevada variando apenas o regime anual da precipitação. Os índices médios anuais variam de 1000 a 2000 mm. Algumas zonas apresentam meses com estiagem prolongada enquanto outras apresentam precipitação regular ao longo do ano (figura 6).

Segundo Magnanini (1955) e Nimer (1989), a precipitação na Bacia do Paraná está diretamente relacionada com as massas de ar que atuam na região assim como aos aspectos do relevo onde a altitude e a orientação dos planaltos permitem ou não a passagem das massas de ar.

Os estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul, São Paulo e Norte do Paraná, formam a região da bacia que apresenta inverno seco, com chuvas concentradas no verão, típicas da zona intertropical. Isso faz com que a umidade relativa seja baixa, principalmente quando associada às altas temperaturas e à vegetação de cerrado que deixam o solo exposto durante todo o ano.

A partir da porção central do estado do Paraná, inicia-se a transição para o regime de chuvas bem distribuídas do sul do Brasil, sendo que o máximo de precipitação está relacionado com as áreas de relevo mais elevado como nas zonas dos Planaltos de Curitiba, Palmas e Xanxerê (Magnanini, 1955). A umidade relativa é alta devido às baixas temperaturas e à altitude.

I.4.2- TEMPERATURA

As variações de temperatura ocorrem, principalmente, devido ao fator latitude e ao relevo (altitude). Como já dito anteriormente, a maior parte das terras da bacia estão

situadas nas zonas cuja temperatura média é inferior a 22°C, que é a zona subtropical que engloba os três estados sulinos.

Nas áreas menos elevadas de Goiás e Mato Grosso, baixo vale do rio Grande e afluentes do rio Paraná, as temperaturas médias estão acima de 22°C. A estação fria é praticamente inexistente, gerando então uma baixa amplitude térmica, inferior a 5°C.

As áreas que fazem limite com o traçado das isotermas de 22°C, são as zonas em que o mês mais frio apresenta temperatura inferior a 18°C e a amplitude térmica aumenta para 8-9°C.

Toda a área subtropical no sul do país, as temperaturas médias anuais são baixas - menos de 18°C. Nas áreas de Planalto, as temperaturas médias caem ainda mais atingindo média anual de 15°C (Planalto de Palmas).

Nas zonas mais baixas, no vale do rio Jacuí, Zona das Missões e vale do rio Uruguai, as temperaturas aumentam bruscamente no verão e resfriam bruscamente no inverno, gerando grandes amplitudes térmicas.

É importante notar que a bacia do Paraná engloba tanto a região tropical, passando por uma faixa de transição (isoterma de 22°C) e a zona subtropical, ocasionando diferenças quanto aos fatores precipitação e temperatura (Nimer, 1989). Baseado na classificação de Köppen foram definidos os seguintes tipos climáticos: o clima tropical quente e úmido (A) e o clima mesotérmico (C) (figura 7).

No Clima Tropical Quente e Úmido (Aw) encontrado na bacia a temperatura do mês mais frio é sempre superior a 18°C com chuvas de verão e seca no inverno. A amplitude térmica é inferior a 5°C. A pluviosidade oscila em torno de 1500 mm, concentrada no verão. A temperatura é sempre superior a 18°C.

A passagem do tipo A para o tipo C se faz com o aumento da altitude e da latitude. Engloba quase toda a porção sul e as terras elevadas do sudeste e centro-oeste, também chamado de Tropical de Altitude nestas duas últimas regiões. De acordo com a altitude pode ser subdividido em: Cwa, Cf, Cfa e Cfb, estes dois últimos uma variação do clima Cf.

No clima do tipo Cwa, ocorre chuvas no verão e estiagem no inverno com temperatura superior a 22°C nos meses mais quentes.

O tipo Cf é um clima subtropical sempre úmido. A partir da região central do Paraná a estação seca é pouco marcada, passando para o clima úmido do sul.

O tipo Cfa é um clima subtropical úmido sem seca onde a temperatura do mês mais quente é superior a 22°C e do mês mais frio é inferior a 18°C .

O tipo Cfb é um clima subtropical úmido sem seca onde a temperatura do mês mais quente é inferior a 22°C e do mês mais frio é inferior a 18°C .

Figura 7: Mapa simplificado do clima da região estudada

II.5 - VEGETAÇÃO

Pode-se estabelecer dois grandes domínios vegetacionais dentro da área de estudo: um domínio tropical onde a vegetação original era de florestas e cerrados, com temperaturas médias em torno de 22°C e precipitação marcada por um déficit hídrico superior a 60 dias e, um domínio subtropical expresso também pelas florestas e campos, com temperaturas suaves no inverno, média anual em torno de 18°C e chuvas bem distribuídas durante todo o ano, não ocorrendo déficit hídrico (Romariz, 1955; IBGE, 1993).

Resta salientar que são poucos os remanescentes da vegetação original uma vez que grande parte de suas terras são utilizadas para práticas agrícolas.

Os principais conjuntos vegetacionais (figura 8) são:

MATA DAS ARAUCÁRIAS: a espécie mais importante é a Araucária Angustifolia. A ocorrência dessa mata está relacionada com o clima, o relevo e a altitude. Possui máxima expressão nos estados do Paraná, Santa Catarina e, algumas manchas no sul do estado de São Paulo e norte do Rio Grande do Sul. Estão presentes principalmente nas áreas de planalto e, associada com a Mata Latifoliada em altitudes inferiores (500 m no RS, 500-600 m no PR e SC e mais de 800 m em SP).

CERRADO: predominam nas partes ocidental e setentrional da bacia. As árvores são geralmente pequenas, esparsas, com troncos retorcidos, casca grossa e sob elas há uma cobertura de gramíneas. Algumas espécies características são: lixeira (*Curatella americana*), a peroba do campo (*Aspidosperma*) etc.

CAMPO LIMPO: aparecem nos altos planaltos em Guarapuava e Palmas principalmente e também na Zona das Missões. A cobertura vegetal é de gramíneas com mata ciliar ao longo dos rios em relevo bastante suave.

MATA LATIFOLIADA TROPICAL SEMIDECÍDUA: se distribui em uma grande mancha ao longo do vale do rio Uruguai e, também, associada à Mata das Araucárias no extremo sul da bacia. Possui uma grande variedade de espécies que podem se diferenciar de acordo com a altitude e o solo. Algumas espécies características são: palmito (*Euterpe edulis*), cedro (*Cedrela brasiliensis*) etc.

Figura 8: Mapa simplificado da vegetação da região estudada

1.6 - INTEMPERISMO E SOLOS DESENVOLVIDOS SOBRE AS ROCHAS VULCÂNICAS DA BACIA DO PARANÁ

A alteração meteórica das rochas vulcânicas é bastante rápida em nossas condições climáticas uma vez que estas rochas são constituídas de minerais altamente intemperizáveis. Logo nos primeiros estádios de alteração já perdem quase toda sua mineralogia inicial.

A alteração estrutural e mineralógica das rochas vulcânicas foi estudada por Menegotto e Gasparetto (1987), na região de Santa Maria (RS). Concluíram os autores que em termos estruturais, a alteração tanto nos litotipos básicos como nos litotipos ácidos, se dá de forma concêntrica, típica decomposição esferoidal, isto quando condicionada à existência de uma estrutura maciça com poucas diáclases. Quando a rocha apresenta intenso diaclasamento ou com estrutura intensamente vesicular a alteração preferencial é do tipo vertical.

Quanto a evolução mineralógica, Clemente (1988) realizou um trabalho sobre os produtos de alteração e solos desenvolvidos sobre as rochas ácidas dos planaltos de Guarapuava e Palmas, dando ênfase para a evolução mineralógica dos plagioclásios, piroxênios e material vítreo. Segundo o autor, a alteração dos fenocristais dos termos ácidos apresentam uma sequência de evolução que coincidem com a alteração das rochas vulcânicas básicas e, numa sucessão de fases tem-se, em ordem decrescente, os seguintes graus de suscetibilidade: olivina > plagioclásio > piroxênio > magnetita > feldspatos alcalinos > quartzo.

Os primeiros estádios de alteração, tanto dos termos básicos quanto dos ácidos, caracterizam um material onde a estrutura da rocha é conservada, a isalterita, e ocorrem preferencialmente nos contatos de acamamento e fraturamento da rocha que exibe tonalidade amarelada. Com o avanço do intemperismo, a rocha sã diminui sensivelmente de volume sendo que a textura e estrutura ainda estão preservadas em pequenos núcleos. Neste estágio aparecem sinais marcantes de alteração do plagioclásio com mudanças de coloração e dos piroxênios e magnetita, que exibem auréolas de alteração com tonalidades avermelhadas. Num terceiro estágio, pouco se observa da rocha original, que dá lugar a uma matriz argilo-ferruginosa com cores avermelhadas. O piroxênio e a magnetita encontram-se em avançado grau de alteração, liberando o ferro que migra para quase toda a matriz. Na fase aloterita, há mistura do

solo de cor avermelhada devido a matriz argilo-ferruginosa com raros núcleos pequenos de rocha sã com bordas alteradas (córtex). Na última fase de alteração, o solo apresenta textura sempre argilosa, devido a alta alterabilidade dos minerais primários principalmente os plagioclásios e piroxênios, com coloração variando do vermelho ao amarelo combinada ou não com a tonalidade bruna acinzentada.

Estudando de maneira isolada a alteração e evolução supérgena dos principais minerais primários constituintes das rochas vulcânicas da bacia do Paraná, percebe-se que inicialmente eles refletem muito mais as condições de drenagem interna do perfil e secundariamente as condições ambientais do meio.

Os plagioclásios quando submetidos às condições tropicais úmidas e de livre drenagem se alteram diretamente para gibbsita. Se as condições forem menos severas poderão ocorrer fases intermediárias tais como: geles amorfos - gibbsita ou geles amorfos - gibbsita + caolinita (Clemente, 1988).

Esta intensidade de alteração dos feldspatos, segundo Delvigne (1967) acontece de acordo com a rapidez de eliminação das bases e da sílica do perfil de alteração. Se a eliminação da sílica for rápida e total, há formação direta para gibbsita. Porém, se a eliminação for mais lenta, haverá possibilidade de recombinação com o alumínio formando caolinita associada ou não com uma fase amorfa que se manterá até a saída total da sílica quando então, aparecerão os primeiros cristais de hidróxido de alumínio (gibbsita).

Os piroxênios, mostram também uma alteração mais acentuada quanto mais intensas forem as condições de umidade e temperatura. Eswaran (1979) in Clemente (1988), conclui que em condições básicas (drenagem imperfeita), os piroxênios se alteram em esmectitas e materiais amorfos e sob condições ferralíticas, os principais produtos da alteração são os oxi-hidróxidos de ferro amorfo ou cristalino (goethita). Segundo Melfi (1967), geralmente o início da alteração acontece nas linhas de clivagens caracterizado por pequena perda de ferro.

A magnetita tem na hematita e na goethita os principais produtos resultantes da alteração supérgena, cujo material apresenta cores que variam do vermelho ao violeta (hematita) e do amarelo ao bruno (goethita) que, assim como os piroxênios alterados

impregnam as superfícies dos próprios cristais e dos cristais vizinhos, infiltrando e preenchendo vazios.

Quanto a matriz, os riodacitos quando alterados revelam predominância de alumínio e sílica em relação ao ferro e outros elementos de menor importância. Com o avanço das fases de alteração mostram a evolução mineralógica no sentido da formação de quartzo e de minerais com estrutura 2:1, provavelmente esmectita e vermiculita.

Sobre estes materiais alterados a atuação dos processos pedogenéticos originam solos (figura 9), com características distintas que serão descritos a seguir.

A nomenclatura dos solos segue a classificação proposta pela FAO (1977) e as descrições basearam-se nos trabalhos de Oliveira et al (1992) assim como nos Boletins Técnicos.

I.6.1- ZONA TROPICAL - OS SOLOS DA ALTA BACIA DO PARANÁ

Os solos representativos desta unidade são as denominadas Terra Roxa Legítima e Terra Roxa Estruturada. São originadas da alteração do basalto sob clima tropical com duas estações definidas: verão chuvoso e inverno seco. O relevo típico são as superfícies aplainadas intercaladas pelas colinas suavizadas, com altitude variando de 400-600m.

I.6.1.1 - TERRA ROXA LEGÍTIMA (RHODIC FERRALSOLS)

São solos minerais não hidromórficos, muito profundos com sequência de horizontes A- Bw- C pouco individualizados. São argilosos, bem drenados com coloração arroxeada. As principais características morfológicas são:

- pequena variação de cor entre os horizontes A e B;
- os horizontes A e B apresentam textura argilosa;
- mudança de coloração em superfície de acordo com o ângulo de observação e incidência dos raios luminosos;
- grande estabilidade dos agregados no horizonte A, causando sensação de "areia";
- presença abundante de poros;

Figura 9: Mapa simplificado dos solos da região estudada

- estrutura denominada de "pó de café" devido ao baixo grau de coesão que une os pequenos agregados no horizonte B;
- abundância de minerais pesados que, quando depositados superficialmente pelas águas das chuvas, dão aspecto de limalha de ferro.

A topografia que sustenta estes solos são, em geral, suavemente ondulada a ondulada com declives longos. Grande parte desta unidade de mapeamento se localiza entre as cotas altimétricas de 600 e 700 metros.

I.6.1.2 - TERRA ROXA ESTRUTURADA (ORTHIC FERRALSOLS)

São solos minerais não hidromórficos de coloração vermelha escura e arroxeada. No Estado de São Paulo os solos com horizontes B textural apresentam sequências de horizontes A- Bt- C. São solos espessos alcançando média de 2,5 metros são e bem drenados. As características morfológicas mais importantes são as seguintes:

- apresenta no horizonte B cerosidade forte e abundante que reveste os agregados com estruturas em blocos angulares;
- pequena variação de cor entre os horizontes A e B;
- textura argilosa nos horizontes A e B;
- plasticidade e pegajosidade;
- mudança de coloração da superfície de acordo com o ângulo de observação e incidência dos raios luminosos;
- grande estabilidade dos microagregados;
- abundância de microporos (menores que 1mm.);
- abundância de minerais pesados que, quando depositados superficialmente pelas águas das chuvas, dão aspecto de limalha de ferro.

A topografia que suporta este solo varia de ondulado a suave ondulado, com declives suaves e topos ligeiramente planos. A cota altimétrica das áreas de ocorrência estão, em grande maioria, situadas entre 400 e 500 metros.

Observando a ocorrência da Terra Roxa Legítima (TL) e da Terra Roxa Estruturada (TE) nota-se que a transição destes tipos de solo vai ocorrer à medida em que saímos das áreas aplainadas da Alta Bacia do Paraná, onde a TRL representa grande expressão, e nos dirigimos ao sul, rumo ao Planalto Sulino. A TRE ocupa relevo

forte ondulado, maior declividade, com drenagem entalhada e altitude variando de 500-800 m.

I.6.2 - OS SOLOS DA ZONA SUBTROPICAL

I.6.2.1- OS SOLOS DOS PLANALTOS

I.6.2.1.1- LATOSSOLO BRUNO (HUMIC FERRALSOLS)

São solos minerais não hidromórficos, argilosos ou muito argilosos com horizonte A proeminente rico em matéria orgânica assentado sobre um horizonte Bw bruno. Quando completo apresentam sequência de horizontes A- Bw- C. As principais características morfológicas são:

- textura argilosa nos horizontes A e B;
- coloração bruna nos horizontes A e B;
- são solos bem drenados e porosos;
- presença de superfícies foscas e cerosidade fraca;
- estrutura granular no horizonte A e estrutura em pequenos blocos subangulares ou granular no horizonte B.

Estes solos ocupam as áreas dos planaltos ondulados cujas cotas altimétricas estão em torno de 800 a 1000 metros.

I.6.2.1.2 - TERRA BRUNA (HUMIC FERRALSOLS)

São solos minerais não hidromórficos, argilosos ou muito argilosos, de coloração bruno amarelada. Quando completos apresentam sequência de horizontes A- Bt- C. As principais características morfológicas são:

- apresenta pequena variação textural entre os horizontes;
- horizonte A proeminente ou por vezes húmico assentado sobre um horizonte B brunado, com mudança de coloração pouco notável, conferindo pouca distinção entre os horizontes;
- a estrutura do horizonte B é prismática e a cerosidade é fraca e descontínua;
- a estrutura do horizonte A é do tipo granular.

A Terra Bruna Estruturada muito se assemelha ao Latossolo Bruno, sendo que em campo é difícil notar as diferenças. Apesar de ocorrerem na mesma região fisiográfica, a Terra Bruna ocupa área com relevo um pouco mais movimentado com cotas altimétricas estão em torno de 800 metros.

I.6.2.1.3 - CRIPTOPODZÓIS (HUMIC FERRALSOLS)

São solos minerais não hidromórficos, pouco profundos (1,5 metros) com textura argilosa a muito argilosa. Apresentam sequência de horizontes A, B e C. As principais características morfológicas destes solos são:

- a presença de um horizonte A húmico e espesso, de coloração bruna muito escura;
- horizonte B incipiente com presença de fragmentos de rochas e profundos (240 cm.);
- a coloração de B é bruno forte a bruno avermelhado;
- cerosidade fraca e pouca;
- plástico e pegajoso;
- a estrutura dos horizontes A e B é fraca ou moderadamente desenvolvida em blocos subangulares.

Este solo é encontrado nas zonas altas do Planalto, em cotas altimétricas que ultrapassam 1000 metros, em relevo ondulado com elevações (coxilhas).

I.6.2.2 - OS SOLOS DAS ZONAS BAIXAS

I.6.2.2.1 - PLANOSSOLOS (HUMIC PLANOSOLS)

Compreendem solos hidromórficos ou não, com mudança textural abrupta que pode ocorrer entre um horizonte E alvíco ou entre um horizonte A e um B textural. Apresentam sequências A- Bt ou Btg- C ou Cg ou A- E- Bt ou Btg- C ou Cg, com alto grau de diferenciação. As principais características morfológicas são:

- horizonte B apresenta densidade aparente relativamente elevada com cores de redução ou mosqueamentos resultantes de drenagem imperfeita;
- a estrutura do horizonte B apresenta-se sob a forma de blocos subangulares, angulares ou prismática de tamanho médio ou grande;
- a mudança textural abrupta entre os horizontes causa, no solo seco, uma superfície de fraturamento;

- o horizonte Bt ou Bg apresentam consistência que varia de macia até muito dura. Quando muito dura, a porosidade é muito baixa;
- o horizonte A pode ser de natureza diversa, sendo mais comum o moderado ou fraco e raramente o proeminente ou chernozêmico.

Estes solos aparecem nas regiões baixas do Rio Grande do Sul, representando uma faixa ao longo do rio Uruguai. Estão presentes nas cotas altimétricas inferiores a 200 metros.

I.6.2.2.2 - VERTISSOLOS (PELLIC VERTISOLS)

São solos minerais não hidromórficos, com forte restrição temporária a percolação de água. Apresentam pronunciada mudança de volume de acordo com a variação do teor de umidade. São solos com sequência de horizontes A- Cv- Cvg. As principais características morfológicas são:

- presença de fendas de retração largas e profundas e superfícies de fricção;
- marcante presença de argilas expansíveis;
- inclinação das unidades estruturais em relação ao prumo do perfil no horizonte Cv;
- elevada plasticidade e pegajosidade quando molhado e consistência extremamente dura quando seco;
- são solos pouco profundos;
- coloração variável (de cinza claro até o preto, passando por tons brunados, amarelados e oliváceos);
- porosidade baixa.

Este solo é encontrado na zona da Campanha em relevo aplainado e cotas altimétricas inferiores a 200 metros.

I.6.3- SOLOS AZONAIS

I.6.3.1 - LITOSSOLOS (LITHOSOLS)

São solos minerais não hidromórficos, pouco evoluídos, rasos (menos que 50 cm.) e com sequência de horizontes A- C- R. No perfil há presença de blocos de rochas semi decompostas e minerais primários facilmente intemperizáveis. As principais características morfológicas são:

- são solos bastante heterogêneos em relação aos atributos químicos, físicos e mineralógicos;
- as características do horizonte A são bastante variáveis podendo ser fraco, moderado, proeminente, chernozêmico ou húmico;
- pode ser eutrófico, distrófico e álico;
- possui textura variada que está muito ligada com o material de origem.

Estes solos apesar de estarem presentes em toda a área de estudo são notáveis nas áreas fortemente dissecadas do Planalto Meridional.

II- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O intemperismo de rochas básicas foi bastante estudado em várias regiões do mundo. Isto se deve ao fato de que estas rochas, além de apresentarem grande expressão geográfica, possuem composição mineralógica relativamente simples, composta essencialmente por plagioclásios, minerais ferro-magnesianos, opacos e vidros. Por outro lado são rochas relativamente homogêneas, de composição química e mineralógica constante, o que facilita os estudos correlativos quando se quer mostrar a importância dos parâmetros ambientais nos processos de evolução.

Muitas pesquisas foram feitas sobre a alteração dos basaltos, em diversas regiões do globo, podendo destacar os seguintes autores: Segalen (1957), Delvigne (1967), Gense (1970), Vallejo & Segalen (1970), Eswaran & Coninck (1971), Eswaran (1972), Moinereau (1977), Singer & Navrot (1977), Chesworth et al (1983), Glasmann & Siminson (1985) entre outros.

Estes trabalhos enfocam as transformações físico-químicas que os basaltos sofrem quando expostos às condições de clima úmido. A formação e o tipo de minerais secundários presentes nos solos está relacionado com o grau de intensidade da drenagem interna do perfil. Quando a drenagem é alta ocorre a formação de argilominerais do tipo 1:1, associado aos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio e quando a drenagem é menos eficiente há formação de argilominerais do tipo 2:1.

No Brasil, uma quantidade considerável de trabalhos sobre pedogênese e alteração intempérica foram realizados em regiões basálticas, especialmente na bacia do Paraná, tornando impossível o comentário de todos eles. Assim, foram selecionados trabalhos que serviram como referência onde procurou-se destacar a constituição dos minerais secundários presentes nos solos uma vez que eles permitem a compreensão da origem e dos processos geoquímicos atuantes.

Alguns trabalhos realizados na zona tropical da bacia se destacam-se por serem pioneiros nas pesquisas sobre alteração do basalto e formação dos solos, considerando a drenagem interna como responsável por imprimir as características mineralógicas dos solos. Os solos mais representativos desta zona segundo o Levantamento realizado pela Comissão Nacional de Solos para o Estado de São Paulo é a Terra Roxa Legítima e a Terra Roxa Estruturada.

Setzer (1949), classificou os solos desenvolvidos sobre as rochas vulcânicas (grupo 14) no Estado de São Paulo, de solos lateríticos típicos mostrando que essas rochas por apresentarem baixos teores de sílica, sob clima úmido, se decompõem muito rapidamente, com lixiviação de bases e acumulação de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio.

Paiva Netto & Nascimento (1957) iniciaram os primeiros estudos mineralógicos e químicos relativos à alteração das rochas basálticas.

Moniz & Jackson (1967) tentaram interpretar a formação da Terra Roxa Legítima e da Terra Roxa Estruturada através do estudo da mineralogia.

Os estudos sobre alteração foram aprofundados por Melfi (1967) e, no campo experimental por Melfi & Levi (1971) e Levi & Melfi (1972), mostrando como essas rochas se comportam nos primeiros estádios de intemperismo sob o ponto de vista mineralógico e geoquímico, comprovando o aparecimento de gibbsita quando a drenagem é boa ou de caolinita quando a drenagem é menos intensa.

Moniz et al (1973), estudou a mobilidade dos elementos durante o intemperismo das rochas básicas no Estado de São Paulo, fazendo análises das rochas inalteradas, semi - alteradas e alteradas. Utilizando o parâmetro K_i , observaram que as camadas superiores apresentavam K_i menor quando comparadas com as camadas semi - alteradas, sendo que a gibbsita e a goethita são os principais produtos secundários.

Melfi (1978) estudou a origem e a distribuição dos constituintes dos solos desenvolvidos sobre as rochas básicas da bacia do Paraná abordando as principais diferenciações que ocorrem nos materiais no interior da Bacia.

Com o desenvolvimento das pesquisas, novos enfoques foram dados. Destacam-se os trabalhos que correlacionam a gênese dos solos com as superfícies geomórficas.

Em 1970, Carvalho estudou a ocorrência da Terra Roxa Estruturada e do Latossolo Roxo em uma sequência topográfica.

Gonçalves (1978), estudou as alterações superficiais das rochas básicas de Ribeirão Preto e mostrou suas relações com a paisagem. Apesar de se desenvolverem sobre um mesmo substrato e sob condições de forte intemperismo, os materiais de alteração apresentam variações na composição mineralógica e química que dependem da posição dentro da paisagem.

Espíndola (1979), analisou a posição topográfica e a drenagem dos solos de basaltos em Barra Bonita e Jaú (SP). Sobre a antiga superfície de Jaú, os Latossolos Roxos bem drenados revelam presença expressiva de gibbsita associada a caolinita. Nas superfícies onduladas as Terras Roxas Estruturadas apresentam alta saturação em bases enquanto que os Litossolos das encostas expostas apresentam gibbsita formada diretamente da alteração dos silicatos primários, esmectita e halloisita. Mostra que para esta área há uma "evolução normal" dos tipos pedológicos.

Oliveira e Menk (1984) após estudos mineralógicos observaram que, nos Latossolos Roxos do Estado de São Paulo, a caolinita e a gibbsita são os principais componentes que somam em geral mais de 70% da fração argila.

Gonçalves (1987), mostra que além da forte alterabilidade exógena destas rochas, na área em questão, os basaltos sofreram alteração pré- meteórica de origem hidrotermal, alterando os minerais mais susceptíveis (olivina e vidro) e desencadeando grandes transformações mineralógicas.

Nesta mesma área (Ribeirão Preto- SP.), Noack et al (1992), analisou o córtex de alteração dos basaltos sendo que este se constitui essencialmente de gibbsita, titanomaghemita, pouca goethita e caolinita enquanto que a matriz vermelha é composta essencialmente por caolinita, maghemita, goethita e óxidos de manganês.

Demattê et al (1992) estudou a relação entre a geomorfologia, a drenagem e a evolução dos solos desenvolvidos sobre um dique de diabásio na região de Piracicaba (SP). Em relevos suaves com boa drenagem formou-se a Terra Roxa Legítima; a Terra Roxa Estruturada está presente nos relevos ondulados e os litossolos e cambissolos nas encostas mais íngremes. Nos sopés das vertentes, onde a drenagem é deficiente aparecem os brunizos, vertissolos e hidromórficos. O enfoque dado para estes dois últimos mostra que a gênese de ambos está ligada a hidrólise que libera cátions porém, eles não são exportados do perfil devido a deficiência de drenagem favorecendo a

formação e manutenção dos minerais do tipo 2:1. A fração areia destes solos é constituída de minerais primários facilmente alteráveis (plagioclásios, anfibólios e piroxênios).

Nicola (1993) também estudou a relação relevo e drenagem nos basaltos de Ilha Solteira (SP), notando a presença de latossolo a montante e de um solo vértico a juzante, sendo que este último originou-se pela transformação dos nódulos litorreliquiaes causado por mudanças no regime hídrico, por concentração de água no contato entre o solo com o material de alteração. Esta tendência de evolução também foi constatada por Espíndola et al (1994).

Benedetti et al. (1994) mostraram a relação do intemperismo e impacto da biomassa e a provável idade de duração do intemperismo que afeta os basaltos de Ribeirão Preto.

Na região subtropical da bacia do Paraná, importantes trabalhos sobre pedogênese e alteração também foram desenvolvidos.

Existem, nos solos presentes na região sul do Brasil, a tendência de acúmulo de argilominerais transformados do tipo clorita aluminosa em detrimento da caolinita e da gibbsita (Lemos, 1975, Melfi, 1978;). A penetração dos hidróxidos de alumínio entre as camadas de argila confere-lhes uma maior resistência ao intemperismo superior à da caolinita, explicando sua maior concentração relativa na superfície dos solos (Kampf & Klant, 1978; Lemos, 1975).

A característica atual do clima desta região seria suficiente para promover a dessilificação total do material com a individualização da caolinita, gibbsita e baixa concentração de bases. Kampf & Klant (1978), acreditam que a presença da clorita aluminosa está ligada a um paleoambiente, onde a intensidade do processo pedogenético não foi constante durante os estádios iniciais, sendo incapazes de lixiviar totalmente a sílica, proporcionando a caolinização completa dos minerais (menor relação intensidade/tempo de alteração dos solos basálticos). Acreditam em uma transição de períodos árido-úmido.

O aparecimento deste tipo de evolução pedológica no Planalto Meridional brasileiro foi muito bem explicado por Melfi & Pedro (não publicado). Quando a matéria

orgânica acumulada em superfície , sofre uma decomposição lenta, gera ácidos orgânicos que se dissolvem nas águas de drenagem. O ataque acidolítico retira não apenas os cátions das camadas interfoliares mas também extrai certas quantidades de alumínio que são relativamente móveis em meios ácidos (4- 4.5). Esta evolução se traduz por condições de aluminização dos edifícios argilosos gerando um material laterítico aluminizado. Esta aluminização pode ser maior ou menor dependendo das condições ambientais reinantes.

Ker & Resende (1990), mostram que todos os solos brunos de Santa Catarina possuem baixo pH devido aos altos teores de alumínio. Sugerem que as condições ambientais da área foram suficientes para promover a lixiviação de bases, apesar da riqueza do material de origem (basaltos e riolitos). O alumínio presente nas entrecamadas da vermiculita bloqueia os sítios de troca, diminuindo a CTC. O baixo teor de gibbsita pode estar ligada a deficiência de drenagem do perfil, aumentando o teor de sílica em solução que se recombina com o alumínio formando argilas caoliníticas. A goethita é o óxido de ferro comum nesses solos que, em conjunto com a matéria orgânica confere-lhes a cor bruna. A intensidade de coloração dos solos sobre basalto e riolito-dacito foi estudada por Kampf & Schwertmann (1983) ressaltando que estes solos apresentam a mesma amplitude de cor, apesar do maior teor de ferro estar contido nos solos de basalto.

O efeito do pH na mobilidade dos elementos foi mostrada por Pavan (1983) para os solos do Norte do Paraná. Quando a solução é neutra diminui a quantidade de alumínio trocável enquanto que quando o pH é menor que 4 a quantidade de alumínio trocável aumentou rapidamente.

Clemente (1988) estudou a alteração das rochas ácidas nos Planaltos de Guarapuava e Palmas mostrando que logo nas fases iniciais de alteração dos minerais primários, havia cristalização da gibbsita nas fissuras e intensa translocação de soluções contendo sílica, cálcio e sódio. Com o avanço da alteração confirmava-se os processos de eliminação de bases e consequente aluminização em toda região.

O clima tem uma importância ímpar na evolução dos solos da região sul do Brasil. Os solos lateríticos com aluminização superficial estão presentes nas áreas altas dos planaltos basálticos nos Estados de Rio Grande do Sul , Santa Catarina e Paraná, sobre as rochas básicas e ácidas.

Outro fator decisivo é a característica da matéria orgânica que, indiretamente também mostra os efeitos da baixa temperatura e do regime pluviométrico regular.

Volkoff & Cerri (1978, 1988) definiram esta região como uma área onde a matéria orgânica reflete o abaixamento da temperatura média. Possui elevada proporção de ácidos fúlvicos pouco ligado à matéria mineral. Em conjunto, há significativa diminuição das frações alcalinas provocando um acúmulo de carbono nos horizontes superficiais. Estes ácidos são fixados pelas argilas ficando relativamente estáveis.

Aliado aos solos de planalto, ocorrendo nas zonas de topografia rebaixada e relativamente plana estão os Vertissolos e Planossolos. Aqui, não apenas o clima está influenciando a evolução dos solos mas também, às feições do relevo. O que existe aqui é um aprisionamento interno das águas de chuva provocando temporariamente condições de hidromorfia gerando características químicas e físicas muito diferentes dos solos anteriormente citados.

Rossignol (1983, 1984-1985) estudou a ocorrência destes solos ao Norte do Uruguai cuja tendência é a vertissolização. Nestes solos o teor de matéria orgânica total é alto sendo que ação dos ácidos fúlvicos pouco representa (18% em A1 e 7% em B2). Os teores dos ácidos húmicos atingem 21% em A1 e 35% em B2. Segundo o autor, a transformação de um Vertissolo para um Planossolo acontece devido a circulação lateral da água acarretando a perda de matéria.

Oliveira (1995), estudou a alteração das rochas vulcânicas da borda sudeste da bacia do Paraná identificou halloysitas 7 A e 10 A, a caolinita desordenada e os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio como sendo as principais fases minerais ocorrentes nas alteritas. Para o topo do perfil, domina a caolinita.

Os trabalhos citados mostram que, sob um mesmo tipo de substrato, as modificações físicas e químicas parecem estar sendo influenciados pela zonalidade climática que representa, junto com a drenagem e as migrações laterais, mecanismo ativo nos processos de pedogênese.

III - TÉCNICAS E ABORDAGEM METODOLÓGICA

III.1 - ABORDAGEM METODOLÓGICA

As bases teórico-metodológicas que orientaram esta pesquisa foram propostas por Pedro e Scherer (1974). O princípio do método é explicar a evolução geoquímica superficial a partir de um documento pedológico clássico.

Apoiados em dados mineralógicos e físico-químicos obtidos diretamente de cartas de solos existentes da França, os autores caracterizaram a evolução geoquímica do material pedológico.

As cartas pedogeoquímicas são a representação cartográfica que se baseia na caracterização dos meios pedogeoquímicos isto é, dos meios geoquímicos que se encontram na interface litosfera, biosfera e atmosfera.

Os solos e coberturas de alteração superficial são conjuntos móveis que resultam da evolução provocada pelos fenômenos atmosféricos sobre rochas normalmente anidras, maciças e coerentes (Pedro, 1981).

No curso da alteração as rochas, além de perderem as características físicas originais, sofrem também transformações de ordem química. Neste último tipo de alteração, os minerais primários evoluem e dão origem a novos minerais, os minerais secundários. Estes minerais são de natureza variada dependendo da agressividade do clima, do tipo de rocha de origem e também da posição que ocupam no perfil. (Pedro, 1981).

A distribuição e a análise conjunta das características dos solos armazenados e posteriormente mapeados permite que se conheça a natureza dos processos superficiais através da fração mineralógica do solo.

As características pedogeoquímicas dos solos desenvolvidos sobre as rochas vulcânicas da bacia do Paraná se traduzirá na forma de um documento sintético cuja apresentação se dará por meio de cartas temáticas representando as variáveis escolhidas.

Resta salientar que estas cartas, devido a escala de trabalho, apresentam boa resposta para análise de tendência não permitindo que se faça análises pontuais.

III.2 - TÉCNICAS

III.2.1 - Cartas temáticas

Os estudos biogeoclimáticos utilizados neste trabalho têm como principal objetivo promover a correlação dos fatores formadores dos solos, visando explicar a influência que eles exercem na gênese e distribuição dos solos da área de estudo.

Foram analisadas cartas temáticas geológicas (D.N.P.M., 1989, Nardy, 1987, Clemente, 1988 e Roisemberg, 1989), climáticas (Magnanini, 1955 e Nimer, 1989), de vegetação (Romariz, 1955 e IBGE, 1993), de solos (EMBRAPA, 1981) e, finalmente, topográficas (Carta do Brasil ao Milionésimo, 1960). Estes mapas, originalmente elaborados em diferentes escalas foram modificados de acordo com o objetivo do trabalho que é a delimitação das regiões homogêneas, caracterizando o ambiente físico e levando em consideração a variável de maior expressão na área, evitando assim, intenso detalhamento. A redução ou ampliação, homogeneizou as escalas em 1:5.000.000. Em seguida estas cartas foram "escaneadas" e coloridas.

III.2.2 - Trabalho de campo

Neste trabalho foram utilizados dados dos solos da bacia do Paraná já levantados em trabalhos anteriores. Em vista disto, o objetivo do trabalho de campo foi fazer o reconhecimento da área e atualizar os dados e descrições dos perfis coletados quando necessário. O campo serviu também para relacionar as mudanças das condições físicas da área com a distribuição dos solos complementando as cartas temáticas feitas.

III.2.3 - Levantamento, coleta e tratamento dos dados

Esta etapa foi fundamental para o desenvolvimento e resultado deste trabalho uma vez que com sua realização foi possível organizar as informações sobre os solos da Bacia do Paraná, tratar essas informações e tirar conclusões parciais a respeito da distribuição e características dos solos.

Nesta etapa foi importante também o aprendizado da utilização de um SIG (Sistema de Informação Geográfica) que atualmente vem se mostrando como uma eficiente ferramenta nos estudos de geociências.

Entende-se por SIG os sistemas voltados para a coleta, armazenamento, recuperação, manipulação e apresentação de informações sobre elementos ou objetos de expressão espacial e sobre o contínuo espacial. Tais sistemas suportam atividades de gerenciamento, manutenção, operação, análise e planejamento (Teixeira e Gerardi, 1986).

Com sua utilização há maior eficiência no manuseio de grande volume de dados, facilitando a centralização e integração das informações geográficas. Como resultado da análise, teremos a representação da variação espacial do objeto em estudo.

O levantamento e a coleta dos dados teve como base os Boletins Técnicos, Levantamentos do RADAM e trabalhos acadêmicos. Foram coletados dados físicos, químicos, físico-químicos e mineralógicos dos solos que são produtos da alteração das rochas da Formação Serra Geral.

Em seguida, estes perfis foram plotados em uma carta topográfica com a área de estudo previamente delimitada. A distribuição geográfica destes pontos se encontram na figura 10.

O armazenamento das informações foi feita através da criação de um banco de dados utilizando o programa DBase III Plus. No total foram armazenadas informações de 174.. A entrada de dados consiste em 9 variáveis descritivas do perfil e 12 variáveis descritivas de cada horizonte. Estas variáveis são do tipo caracter e/ou numérica sendo que, no caso dos caracteres, foram expressas sob a forma de códigos (nome dos solos) ou abreviações para facilitar o manuseio do banco de dados

Observa-se que apesar de a área de estudo ser uma importante região agrícola, os levantamentos de solos são escassos, não estão geograficamente bem distribuídos e as informações analíticas são, em algumas vezes, incompletas.

A organização das informações no banco de dados obedeceu os seguintes critérios: foram armazenadas as informações referentes ao perfil e aos horizontes A e B.

Figura 10: Localização dos pontos plotados.

Dentro do horizonte A, o subhorizonte A1 foi escolhido por apresentar as características típicas do horizonte. Na ausência deste subhorizonte coletaram-se informações do subhorizonte imediatamente anterior ou posterior. O mesmo procedimento foi adotado para o horizonte B, sendo que o subhorizonte escolhido foi o B2. No entanto, foram deixadas lacunas quando os solos não apresentavam a seqüência de horizontes A e B ou ainda quando as informações dos subhorizontes não estavam completas.

As variáveis escolhidas para armazenar as informações foram:

- SOLO: nomenclatura utilizada na classificação;
- LATITUDE E LONGITUDE: localização geográfica do perfil;
- PROFUNDIDADE: espessura dos horizontes A e B do perfil em questão;
- RELEVO: unidade geomórfica onde está inserido o perfil;
- PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL: quantidade média / ano de chuvas na região onde está inserido o perfil;
- TEMPERATURA MÉDIA ANUAL: temperatura média / ano, expressa em graus centígrados, na região onde está inserido o perfil;
- ALTITUDE: cota altimétrica onde está localizado o perfil;
- DECLIVIDADE: inclinação (%) da vertente onde se encontra o perfil;
- MATERIAL DE ORIGEM: litotipo da Formação Serra Geral onde se encontra o perfil;
- COR DO SOLO: coloração obtida através da tabela Munsell;
- pH (água): acidez iônica resultante da concentração de íons hidrogênio (H^+) na solução do solo. A acidez será progressivamente maior quanto maior for a quantidade de cátions deslocados para a solução do solo e lixiviados. As classes consideradas foram:

- menor que 5 = ácido
- de 5 - 7 = relativamente ácido
- acima de 7 = básico

- CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA: É a capacidade que o solo tem em adsorver e trocar cátions $(Ca+Mg+K+Na)+Al_3+H$. É alta nas argilas do tipo 2:1 e baixo nas argilas 1:1. A CTC portanto, refletirá o grau de intemperismo dos solos e a natureza dos produtos secundários. Assim como as argilas, o húmus também fixa fortemente os cátions. As escalas de valores adotada seguem aquelas adotadas pelos Boletins Técnicos que são:

- abaixo de 15mE/100 g = baixo
- de 15 - 25mE/100 g = médio
- acima de 25mE/100 g = alto

- SOMA DE BASES TROCÁVEIS (S): é a quantidade de cátions trocáveis $(Ca + Mg + K + Na)$ que realmente está retida nas partículas argilosas do solo. As escalas de valores adotada foram:

- abaixo de 4mE/100 g = baixo
- de 4 - 6mE/100 g = médio
- acima de 6mE/100 g = alto

- SATURAÇÃO DE BASES $(V\% = S/T \times 100)$: é a porcentagem do complexo coloidal que está ocupado pelos cátions trocáveis. A medida em que o solo perde bases durante o intemperismo a sua fertilidade natural irá progressivamente baixando mantendo relações estreitas com o pH. Os solos podem ser considerados eutróficos quando os valores de V ultrapassam 50% ou considerados distróficos quando os valores de V são inferiores a 50%. As classes consideradas foram:

- menor que 50% = baixa
- de 50 - 80% = alto
- acima de 80% = saturado

- ALUMÍNIO: é um dos elementos mais estáveis presentes no solo. Porém esta estabilidade será afetada a partir do momento em que há uma queda no pH, abaixo de 4, quando então se apresentará sob a forma trocável ou livre havendo possibilidade de ser adsorvido pelas argilas do solo. As classes utilizadas para definir solos aluminizados foram:

- de 0 - 1 mE/100g = baixo
- de 1 - 4 mE/100g = médio
- acima de 4 mE/100g = alto

- Fe_2O_3 : o ferro é um importante elemento na alteração dos solos porque sofre rápida individualização ao curso do intemperismo. Outro fato notável ligado a este elemento é que, ao contrário do alumínio, possui dificuldade de penetração nas estruturas dos minerais presentes no solo.

- Ki: é a relação molecular $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. Esta relação determina o tipo de evolução e migração dos elementos do material pedológico. Quando o Ki é inferior a 1,8 há predominância de hidróxidos de alumínio (gibbsita), quando o Ki se situa entre 1,8 e 2,0 há presença de argilominerais do tipo caolinita e, finalmente, quando o Ki é superior a 2,0 há presença de argilominerais do tipo 2:1.

- Kr: é a relação molecular $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$. Assim como o Ki, o índice Kr nos permite avaliar a evolução e a migração dos elementos do material pedológico.

- ARGILA NATURAL: é aquela dispersa em água é utilizada para medir o grau de estabilidade dos microagregados do solo resultantes da atividade coloidal das argilas. Quanto mais rico quimicamente é o solo, maior será a sua agregação.

- ARGILA TOTAL: é o teor de partículas inferiores a 0,002 mm. presentes nos solos.

- CARBONO: o carbono é o componente obrigatório da matéria orgânica. Calculando seu teor é possível saber o conteúdo de matéria orgânica presente nos solos. As classes consideradas foram:

- menor que 1,5% = baixo
- de 1,5 - 3,0% = médio
- acima de 3,0% = alto

Estas variáveis foram escolhidas porque, de uma maneira geral, a caracterização geoquímica da cobertura pedológica apoia-se em dois tipos de dados, segundo Pedro & Scherer, 1973: os dados cristaloquímicos relativos à determinação da natureza dos minerais secundários e os dados físico-químicos que se apoiam sobre o conhecimento

dos elementos relativamente móveis ao curso da pedogênese que podem estar dispersos na solução ou fixados na superfície das argilas ou nos espaços interfoliares. Enquanto os parâmetros cristalóquímicos representam o estágio de evolução do perfil, atingido em um determinado momento de sua evolução, os parâmetros físico-químicos definem o estado atual de equilíbrio entre os solos e as condições ambientais atuais. Porém, algumas variáveis armazenadas no banco de dados fogem deste objetivo, podendo servir para trabalhos futuros e que tenham outros objetivos.

As classes utilizadas para gerar as cartas foram baseadas nos métodos analíticos presentes nas bibliografias que serviram como fonte para o levantamento dos perfis do solo.

Com o banco de dados concluído, foi iniciado o tratamento dos dados utilizando um microcomputador 486. Para a parte gráfica utilizou-se uma impressora jato de tinta colorida.

Os softwares utilizados para o mapeamento geoquímico foram o SURFER e IDRISI.

Através do programa SURFER é possível criar mapas de contorno e superfície bi ou tri dimensionais que são bastante úteis nas representações gráficas em geociências. Este programa é bastante utilizado pois possui métodos versáteis de interpolação de dados e permite o controle dos parâmetros para a geração da malha regular além de diversas ferramentas para editar mapas de isovalores.

O método estatístico de interpolação utilizado foi a krigagem, cuja base conceitual está fundamentada na Teoria das Variáveis Regionalizadas que representam os valores das variáveis referenciadas geograficamente. A krigagem é um método geoestatístico de estimação que usa as informações dos pontos vizinhos considerando não apenas o valor do ponto mas também a posição espacial relativa dos mesmos. Este método proporciona uma estimação linear ótima e realiza o cálculo de erro associada a mesma (Yamamoto & Bettencourt, 1992).

Algumas limitações, porém, foram notadas. Como a bacia do Paraná é uma área muito extensa não foi possível distribuir os perfis homogeneamente em seu interior. Como consequência existem áreas com grande concentração de pontos, não excluindo

áreas com vazios. Aliado a este fato, deve-se salientar que os levantamentos de solos realizados no Brasil também não ocorrem de maneira homogênea apresentando igualmente diferenciações de distribuição. Devido a esta heterogeneidade, a interpretação dos resultados obtidos apoia-se, essencialmente, sobre o exame das tendências de cada unidade cartografada.

Em virtude destas limitações, ao utilizar a krigagem percebeu-se que as bordas da bacia na porção Oeste da região do Alto Paraná apresentavam valores negativos devido a deficiência de informações. Visando minimizar este problema, outro método de interpolação foi utilizado, o Inverso da Distância ao Quadrado que, devido a sua base de cálculo, não apresenta o mesmo problema que o método anterior.

Como foram utilizados dois métodos distintos de interpolação, foi feita a comparação entre os resultados obtidos em cada um deles para a mesma variável onde pode-se constatar que não havia diferenças na distribuição espacial das manchas mapeadas.

Após esta etapa, utilizou-se o programa IDRISI que é um Sistema de Informação Geográfica que dá condições para realizar a análise e cruzamento de dados espaciais.

A conversão de um arquivo SURFER para um arquivo IDRISI isto é, transformar as isolinhas geradas (SURFER) para um sistema "raster" (IDRISI) foi feito pelo programa ADENSE desenvolvido por Ferrari (1994). Inicialmente apenas os quatro pontos da malha são transformados em "raster" sendo que as isolinhas presentes no interior da célula não são convertidos para o IDRISI. Com o programa ADENSE, é possível fazer adensamentos maiores entre as isolinhas já criadas.

O procedimento básico de cálculo consiste em gerar vários grides (malha quadriculada) de interpolação permitindo criar progressivamente valores interpolados complementares em volta de valores observados. No curso de uma etapa, cada nó do gride (x, y) é calculado por interpolação local à partir de conjunto de pontos vizinhos a partir de um raio dado, neste caso, abrange os oito pontos (z) imediatamente próximos (Ferrari, 1994).

Quanto mais próximos os pontos estiverem, maiores serão suas influências. Porém, como foi dito anteriormente, a distribuição dos pontos dentro da área é irregular,

podendo ser buscado pontos que estão além de uma determinada zona de influência sendo que, muitas vezes, estes pontos não possuem relação com aquele a ser interpolado gerando possíveis distorções nas unidades mapeadas.

IV- APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

IV.1- INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DAS CARTAS

Neste capítulo serão analisados individualmente alguns dos parâmetros que constam no banco de dados para, posteriormente caracterizar o estágio de evolução geoquímica dos solos e estabelecer os domínios de alteração.

IV.1.1- Ki

Grosso modo, pode-se dizer que existe um decréscimo do valor da relação Ki, de sul para norte da bacia. Esta tendência é válida tanto para o horizonte A quanto para o horizonte B (figuras 11 e 12).

O Ki maior que 2 está presente em toda a área das Missões, assim como em parte do Planalto das Araucárias. Nestas regiões ocorrem os solos ricos em argilominerais do grupo 2:1, formados seja por uma bissialitização verdadeira, seja por uma bissialitização aparente, com desenvolvimento de argilominerais com estrutura 2:1 aluminizados.

O Ki próximo a 2 é predominante em quase toda a extensão da bacia ocorrendo desde a borda ocidental dos Planaltos sulinos e atinge praticamente toda a região do Alto Paraná. A caolinita é o argilomineral mais característico encontrado nos solos da bacia, podendo ocorrer, se bem que mais raramente halloysita (Oliveira, 1995)

O Ki menor que 2 é encontrado em algumas zonas do Alto Paraná nos locais onde ocorrem a Terra Roxa Legítima e alguns outros pontos isolados em outras regiões da bacia. Estes solos são bastante evoluídos e lixiviados sendo comum a associação de caolinita com gibbsita.

Figura 11: Relação ki no horizonte A

Figura 12: Relação k_i no horizonte B

IV.1.2- ALUMÍNIO TROCÁVEL

O teor de alumínio trocável foi analisado tanto para o horizonte A quanto para o horizonte B, notando-se diferenças consideráveis entre eles (figuras 13 e 14).

No caso do horizonte A, as maiores concentrações de Al^{+++} estão relacionadas com as zonas de altitude na região sul da Bacia, compreendendo a região de Vacaria no Rio Grande do Sul, a Serra do Espigão em Santa Catarina e o Planalto de Guarapuava no Paraná. Nota-se que o fator altitude parece ser fundamental no comportamento do alumínio pois a ocorrência dos solos denominados Criptopodzóis estão associados com as zonas frias e com altitudes elevadas que correspondem às regiões de Vacaria (900 metros) e Guarapuava (1200 metros),

No setor Norte da bacia, no Estado de São Paulo, uma grande zona aparece cartografada apresentando altos teores de alumínio trocável. Estes valores estão discordantes com o tipo de solo cartografado na região que é o Latossolo Roxo. A explicação para esta contradição baseia-se no fato de que os dados analíticos obtidos no Boletim de Levatamento dos Solos do Estado de São Paulo, (1960), consideraram a soma dos teores de alumínio trocável com os teores de hidrogênio, resultando valores que ultrapassam 5 meq. para o horizonte A.

A aluminização superficial também é expressiva nos médios planaltos sulinos embora os teores sejam um pouco inferiores a aqueles apresentados anteriormente.

Teores inexpressivos são encontrados na Zona das Missões.

No horizonte B, as grandes manchas de concentração de Al^{+++} estão concentradas na porção sul da bacia, sendo que os teores médios (1 a 4 meq) são predominantes.

Estas diferenças de ocorrência dos teores mais elevados parecem estar relacionados com duas causas básicas:

1- no horizonte A, as altas altitudes associadas ao clima relativamente frio e úmido faz com que haja um acúmulo de matéria orgânica em superfície dando origem aos ácidos orgânicos que atacam os constituintes minerais dos solos através de um

ataque acidolítico e extraem, além dos cátions básicos também o alumínio trocável que é relativamente móvel em pH pouco ácidos (4 - 4,5). Este processo de aluminização está presente tanto na zona do Planalto das Araucárias quanto nos Campos de Altitude sendo que esta última área apresenta um nível mais fortemente aluminizado e a outra com nível médio de aluminização.

2- No horizonte B outra tendência é verificada. A alta concentração de alumínio trocável parece estar ligado a ocorrência das vulcânicas ácidas predominantes na porção sul da bacia. Apesar de apresentarem a mesma seqüência de evolução no curso da alteração das vulcânicas básicas, estas rochas possuem matriz com maior concentração de alumínio sendo que este é rapidamente liberado logo nos primeiros estádios do intemperismo devido às condições de forte drenagem.

Figura 13: Distribuição dos teores de alumínio trocável no horizonte A (meq/100g)

Figura 14: Distribuição dos teores de alumínio trocável no horizonte B (meq/100g)

IV.1.3- pH

Basicamente, todos os processos pedogenéticos que ocorrem na área de estudo levam a formação de solos com tendência ácida, provocando constante empobrecimento da solução do solo e fixação do hidrogênio e/ou do alumínio. A distribuição dos valores de pH para os horizontes A e B se encontram nas figuras 15 e 16.

A maior homogeneidade na distribuição dos valores de pH são encontrados quando analisado o horizonte A. Para este horizonte, praticamente todas as zonas da bacia estão inseridas na classe que engloba os valores de 5 a 7. As áreas que se individualizam por apresentarem valores menores que 5, correspondem a Zona dos Campos de Altitude e coincidem com as áreas que possuem, também, forte concentração de alumínio trocável e de matéria orgânica em superfície.

Estas áreas com meio ácido é resultado do processo de acidólise que afeta os solos das altas altitudes. Nas outras regiões a ligeira acidez é resultado da intensa dessaturação provocada pela forte lixiviação.

Na região das Missões, a relativa acidez do horizonte superficial pode ser decorrente da alta porcentagem de matéria orgânica que se instala devido ao forte enraizamento das gramíneas.

No horizonte B, as maiores diferenças em relação ao horizonte A estão nas áreas onde aparecem onde aparecem os maiores e os menores índices de pH.

No extremo sul da bacia, na Zona das Missões, apesar de cartografada áreas com pH menor que 7, deve-se salientar que toda esta região apresenta solos com tendência a neutralidade, cuja média se aproxima de 7 podendo mesmo atingir valores acima de 8. Neste ambiente, a drenagem insuficiente impede a lixiviação total das bases ocorrendo, inclusive, a formação de nódulos calcáreos (Rossignol, 1983).

No horizonte B, as áreas que apresentam os menores valores de pH coincidirem com aquelas do horizonte A porém, são mais limitadas em área e parecem ser influenciadas pelas rochas ácidas. Nesta área, esta mancha coincide com aquela que indica alta concentração de alumínio trocável no horizonte B.

Figura 15: Distribuição dos valores de pH no horizonte A

Figura 16: Distribuição dos valores de pH no horizonte B

IV.1.4- SATURAÇÃO DE BASES

Grande parte dos solos da bacia do Paraná são dessaturados, tanto no horizonte A quanto no horizonte B exceto em algumas áreas onde predominam notadamente os solos eutróficos. Generalizando, pode-se afirmar que há um decréscimo de saturação no sentido sul-norte da bacia (figuras 17 e 18).

As grandes manchas de solos distróficos, com saturação inferior a 50%, aparecem na área sulina, no Planalto das Araucárias e na região norte, mais precisamente nos locais de ocorrência da Terra Roxa Legítima.

Os solos eutróficos, com saturação superior a 50%, estão concentrados na região das Missões, na porção sul, assim como nas áreas onde há presença da Terra Roxa Estruturada, na porção norte.

O caráter distrófico dos solos da bacia do Paraná é consequência da lixiviação contínua pelas águas das chuvas que provoca a eliminação dos cátions básicos e a substituição progressiva pelos íons de hidrogênio, caracterizando uma dessaturação hidrolítica. Além deste processo típico das regiões tropicais, um segundo processo de dessaturação ocorre especificamente na porção sul onde a presença dos ácidos orgânicos ácidos e leves, formado pela degradação da matéria orgânica acumulada em superfície, extrai e elimina os cátions básicos presentes nos argilominerais, caracterizando uma dessaturação acidolítica. (Melfi, 1978).

O caráter eutrófico dos solos da região das Missões está ligado com a topografia. Como esta região é relativamente plana, a drenagem interna do perfil é deficiente retardando a lixiviação. Como resultado, o material será composto basicamente de argilas do tipo 2:1 (esmectita) com uma taxa de saturação que pode ultrapassar 90%.

Na região do Alto Paraná, os solos eutróficos estão presentes nas áreas onde há ocorrência da Terra Roxa Estruturada que apesar da intensa lixiviação possui altos teores de bases trocáveis.

Figura 17: Saturação de bases no horizonte A (V%)

Figura 18: Saturação de bases no horizonte B (V%)

IV.1.5- CAPACIDADE DE TROCA CATIÔNICA

Os valores de CTC foram mapeados para o horizonte A e B, apresentando grande variação entre eles assim como a distribuição dos valores no interior da bacia (figuras 19 e 20).

Para o horizonte A percebe-se que não existe uma tendência clara de variação para as diferentes zonas consideradas. Contudo, algumas características podem ser notadas. As áreas que apresentam os valores médios (15 a 25 meq) e altos (> 25 meq) de CTC compreendem, para a região sulina, a zona das Missões e grande porção dos Planaltos Médios. Isto se deve ao fato de que, na primeira área as características de relevo e drenagem impedem que ocorra importante circulação de soluções do solo. Na segunda área, a presença constante da matéria orgânica nos horizontes superficiais contribuem para o aumento da CTC. Outra área que apresenta alta CTC é, dentro da porção norte, a região onde predomina a Terra Roxa Estruturada, de caráter eutrófico. A baixa CTC (<15 meq) é notável na porção norte da bacia onde predomina a Terra Roxa Legítima enquanto que na porção sul elas se distribuem aleatoriamente, destacando algumas áreas que se situam sobre as rochas ácidas.

No horizonte B, a seqüência de diferenciações de valores da CTC é nítida, uma vez que há decréscimo dos valores no sentido sul-norte da bacia, onde os maiores valores estão situados na Zona das Missões seguido de uma faixa com valores intermediários e finalmente atingindo valores baixos no restante da porção sul e norte.

Figura 19: Distribuição dos valores de CTC no horizonte A (meq/100g)

Figura 20: Distribuição dos valores de CTC no horizonte B (meq/100g)

IV.1.6- CARBONO

A quantidade de matéria orgânica representada pela porcentagem de carbono presentes nos solos da região apresentam valores mais diferenciados no horizonte A e praticamente homogêneos no horizonte B (figuras 21 e 22). Esta variação reflete não apenas ao tipo e uso do solo como também o fato de que as maiores concentrações de matéria orgânica estão ligadas aos horizontes de superfície.

Duas áreas, dentro do horizonte A, devem ser especialmente consideradas não apenas pelo seu significado isolado mas pela correlação que se pode fazer com os teores de alumínio trocável e pH.

Estas áreas estão localizadas na porção sul da bacia e correspondem aos Planaltos de Guarapuava e Vacaria.

Nestas áreas, a baixa latitude e alta altitude provocam uma maior queda de temperatura média anual ($<16^{\circ}\text{C}$) ao mesmo tempo em que a umidade permanece constante durante todo o ano.

Estas características topográficas e climáticas fornecem condições ideais para provocar o fenômeno de acidólise que se traduz por uma ligeira acidificação do meio pedológico provocando a mobilização parcial do alumínio. Resta salientar que a concentração de matéria orgânica no horizonte B destes mesmos solos sofre uma queda acentuada.

Como as condições ambientais não são tão severas para provocar o fenômeno de podzolização completo, o que ocorre nestas áreas são condições fracamente acidolíticas que atuando sobre rochas básicas levam a criptopodzolização (Duchaufour, 1978)

Nos Planaltos Médios onde as altitudes são menores e a temperatura média mais alta ($16 - 18^{\circ}\text{C}$), a matéria orgânica provoca apenas a brunificação dos horizontes superficiais do solo.

O mesmo ocorre em parte da Zona das Missões uma vez que a vegetação de gramíneas, com enraizamento profundo, conduz a uma forte impregnação de matéria orgânica.

O alto teor de matéria orgânica atinge as zonas tropicais, especialmente nas áreas onde encontra-se a Terra Roxa Estruturada diminuindo bruscamente nas áreas de Terra Roxa Legítima.

Quanto ao horizonte B, pode-se perceber que são mínimas as concentrações de matéria orgânica qualquer que seja a área considerada da bacia. Isto se deve, talvez, a intensa ocupação antrópica nestes solos.

Figura 21: Distribuição dos teores de carbono no horizonte A (%)

Figura 22: Distribuição dos teores de carbono no horizonte B (%)

IV.2- CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DO MATERIAL DE ALTERAÇÃO SUPERFICIAL

IV.2.1- A EXTENSÃO GEOGRÁFICA DOS MATERIAIS

A natureza e a distribuição dos diferentes materiais foi feita utilizando como parâmetro o K_i . Apesar de sintético, este parâmetro foi considerado porque reflete as condições de formação do solo.

Baseando-se neste critério, pode-se distinguir os principais argilominerais secundários presentes nos solos estudados e agrupá-los segundo o seu grau de evolução. Assim, dois grandes tipos de cobertura de alteração foram delimitadas: os materiais de alteração laterítica e os materiais de alteração bissialítica, sendo os primeiros predominantes do ponto de vista da extensão geográfica (figura 23).

hidrólise total (dessilicificação e desalcalinização total)	Alitização ($k_i < 2$)
Hidrólise parcial (dessilicificação parcial)	desalcalinização total monossilitização ($k_i = 2$)
	desalcalinização parcial bissialitização ($k_i > 2$)

Figura 23: Síntese dos grandes tipos de materiais de alteração encontrados na área (Fonte: Pedro, 1981)

O material laterítico se estende aproximadamente desde a latitude 17° até a latitude de 30° sul, isto é, ocorre desde a região tropical do Alto Paraná até a região subtropical compreendida pelos Planaltos Sulinos.

Neste material, os mecanismos hidrolíticos alteram os minerais primários e conduzem a individualização de todos os elementos químicos, com lixiviação total de bases, lixiviação total ou parcial da sílica e mantendo no perfil outros elementos como o ferro, o alumínio e o titânio sob a forma de hidróxidos e óxidos. A sílica não exportada pode se apresentar como quartzo residual ou caolinita de neoformação. A eliminação total, por lixiviação, destes elementos exige condições de alta precipitação para dissolver os minerais primários e individualizar os elementos químicos assim como boa drenagem interna dos perfis para eliminar os produtos individualizados e dissolvidos. (Pedro, 1981).

O domínio laterítico é essencialmente determinado pelas características naturais: temperatura alta, forte precipitação e balanço hídrico positivo. Porém, a alteração das rochas nestes ambientes pode variar devido a sua posição na paisagem influenciando na quantidade e qualidade da drenagem interna ocorrendo necessariamente uma mudança nas associações mineralógicas residuais e de neoformação.

Na cobertura basáltica da bacia do Paraná, o material laterítico evolui em duas fácies distintas. A fácies alítica, representada pela associação caolinita-gibbsita, com relação K_i sempre inferior a 2 e a fácies monossialítica, representada pela ocorrência da caolinita neoformada onde a relação K_i é próxima a 2 (Pedro, 1966).

O domínio monossialítico é dominante. Ocorre desde os Planaltos Médios da região subtropical até a quase totalidade dos solos do Alto Paraná. O domínio Alítico tem maior na região tropical junto às Terras Roxas Legítimas.

O material de alteração bissialítica conduz a evolução de minerais com estrutura 2:1, neoformadas do grupo das esmectitas. Este material é dividido também em duas fácies que, segundo a definição de Paquet (1969) podem ser classificados como bissialitos verdadeiros (neoformação de argila 2:1) ou aparentes (modificação da constituição dos espaços interfoliares sem que a estrutura 2:1 seja destruída).

O meio bissialítico verdadeiro se localiza na zona deprimida do planalto basáltico, na região das Missões. Neste ambiente os silicatos primários foram totalmente alterados originando argilas neoformadas e expansíveis do grupo das esmectitas. Neste caso o processo de hidrólise é parcial não ocorrendo total lixiviação dos cátions básicos. Nas argilas 2:1 as cargas são compensadas pela presença de íons em posições interfoliares e a relação K_i é sempre superior a 2 (Melfi & Pedro, 1978).

A bissialitização encontrada na zona de altitude do planalto das Araucárias é, na verdade, resultado de um ataque ácido parcial. O meio é pobre em cátions mas rico em Al^{+++} que se introduz nas folhas das argilas dando origem aos argilominerais transformados. Nestas regiões a relação K_i é muito variável, podendo ser maior ou menor que 2. Ocorre aí, o domínio da bissialitização aparente.

IV.2.2- O COMPLEXO ABSORVENTE

Os materiais superficiais da bacia do Paraná apresentam diferenças físico-químicas decorrentes de processos evolutivos distintos. Estes materiais já foram relativamente definidos, apoiados no parâmetro K_i . Para melhor auxiliar a caracterização do meio, os parâmetros físico-químicos do complexo absorvente (pH, saturação de bases e capacidade de troca catiônica) foram considerados, uma vez que eles refletem as condições atuais de evolução dos solos.

Como dito anteriormente, a hidrólise é o mais importante processo de alteração e evolução dos solos e atua em toda a bacia com intensidade semelhante.

Nos processos hidrolíticos é a água que, em contato com os materiais superficiais, condicionam o intemperismo.

Porém, a natureza da solução é influenciada pelas condições atuais do meio que, de forma direta ou indireta, provoca modificações nos domínios de alteração: diferentes intensidades de lixiviação, acidez, teor em cátions básicos etc.

O desenvolvimento da cobertura de alteração sobre as rochas vulcânicas apresenta forte grau de evolução devido a mecanismos hidrolíticos. Pode-se, entretanto, delimitar a atuação em dois ambientes distintos, sendo responsável por promover a solubilização diferenciada dos constituintes dos solos:

1- um ambiente determinado pela presença de água mais ou menos pura é onde ocorre a hidrólise dita normal, resultando em um processo de lixiviação contínua pelas águas das chuvas que provocam a eliminação dos cátions básicos. O meio torna-se pouco ácido, $pH > 5$, devido a substituição das bases lixiviadas pelos íons de hidrogênio

2- um ambiente determinado pela presença de água relativamente ácida mais ou menos carregada de ácidos orgânicos, com valores de pH entre 4 e 5, que provoca não apenas a eliminação dos cátions básicos mas também do alumínio provocando a aluminização superficial dos solos.

Na bacia do Paraná, duas zonas com diferentes intensidades de aluminização superficial foram delimitadas. Uma, com fraca aluminização é encontrada no Planalto das Araucárias, caracterizada por temperaturas médias anuais entre 16° e 18° C e altitudes entre 800 e 1000 metros. Outra, com forte aluminização está presente nas zonas de Campos de Altitude, caracterizada pela baixa temperatura média anual, menor que 16° C e altitudes acima de 1000 metros.

Tanto em um ambiente quanto em outro é evidente o papel do pH nos processos de alteração.

No ambiente bissialítico, o fluxo das soluções do solo é parcialmente impedido devido as condições de relevo. A desalcalinização não acontece e o pH apresenta tendência à neutralidade. A ligeira acidez que em alguns casos ocorre é que, nos períodos úmidos a matéria orgânica acumulada pelo forte enraizamento das gramíneas se decompõe lentamente e se incorpora até as camadas mais profundas do solo. Parte desta matéria penetra entre as camadas das argilas expansivas provocando a formação de estruturas aluminizadas que as protegem eficazmente da degradação microbiana (Rossignol, 1983).

Um corte no sentido da borda leste para oeste, partindo dos Campos de Altitude até o limite do Planalto das Araucárias (1000 até 400 metros) indicaria o decréscimo nos teores de carbono, alumínio trocável, na relação K_i , na saturação de bases e acréscimo nos valores de pH. Exceto os criptopodzóis que estão presentes nas maiores altitudes, o corte mostraria uma seqüência de solos com horizontes B latossólico cujas variações de composição físico-química parecem estar ligadas às mudanças climáticas, especialmente com as mudanças de temperatura já que a precipitação permanece constante em toda área. Existe também, nesta mesma seqüência, a suavização do relevo que, a oeste, apresentam os solos mais próximos dos Latossolos Roxos do Alto Paraná (Boletim Técnico, n. 30).

Na porção sul da bacia, onde afloram as rochas ácidas, aparecem perfis menos profundos que constituem basicamente os solos com horizontes B texturais, associados aos litólicos. Isto ocorre quando o relevo é mais acidentado, notadamente na parte leste desta região. Estes solos possuem baixa saturação em bases, pH ácido, médio teor de carbono. Porém , o alto teor de alumínio trocável concentrado nos horizontes mais profundos parece não estar ligado apenas ao rigor climático mas sim às características

da rocha mãe. Além do alumínio trocável, outro fato que os diferenciam é a relação K_i ser superior a 2, tanto em superfície quanto em profundidade.

Na zona deprimida do planalto, a presença dos vertissolos indica que as condições topográficas limitam a drenagem interna. O perfil fica encharcado durante longos períodos do ano uma vez que não há possibilidade de percolação da água. Quando há déficit hídrico, os períodos de aeração dão origem aos nódulos e concreções de cálcio e ferro presentes, especialmente, nos horizontes mais profundos. (Rossignol, 1984-1985).

Na zona tropical, predominam os solos com horizonte B latossólico, exceto nas áreas onde aparecem a Terra Roxa Estruturada que possui horizonte B textural. A intensidade de alteração, a lixiviação pelas águas das chuvas e a drenagem interna são as causas da alta dessaturação e da fraca acidez.

IV.3- SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS COM AS CARTAS PEDOGEOQUÍMICAS: DEFINIÇÃO DOS TRÊS PRINCIPAIS TIPOS DE ALTERAÇÃO PEDOGEOQUÍMICA

Baseando-se nos resultados obtidos, três domínios de alteração superficial foram encontrados: um meio dessaturado, um meio aluminizado e um meio saturado.

IV.3.1- O MEIO DESSATURADO

Corresponde aos solos presentes na região do Alto Paraná, exceto alguns solos com horizonte B textural que apresentam variações muito grandes na taxa de saturação de bases e são menos desenvolvidos que os solos com horizonte B latossólico.

Os minerais secundários são neoformados, predominando ora caolinita (monossilicização), ora gibbsita (alitização) ou caso mais geral, ambos associados. A relação K_i é igual ou inferior a 2.

O agente de dissolução é a água relativamente pura que coloca em solução os elementos mais móveis do solo como os cátions básicos (Ca, Na, K, Mg) e a sílica. Os oxihidróxidos de ferro e alumínio permanecem como elementos residuais.

Estes solos possuem, em sua maioria, horizonte B latossólico ou B textural segundo a Comissão Brasileira de Solos (1960) ou solos Ferralíticos de acordo com a classificação francesa (1967). Estes solos são bastante evoluídos, com grau de alteração próximo a 100 e de constituição basicamente argilosa. É alta a concentração de produtos feríferos, sejam eles bem cristalizados como no caso da TL ou amorfos como no caso da TE (Pedro et al., 1976, Melfi et al., 1979). A presença da gibbsita é notável na TL.

O meio natural apresenta a cerrado como vegetação original, relevo com topo aplainado e altitude próxima a 600 metros onde predomina a TL. Onde o relevo é ondulado predomina a TE. O clima é o tropical típico.

IV.3.2- O MEIO ALUMINIZADO

Estes solos, também possuem características lateríticas e estão localizados nos planaltos sulinos. São solos profundamente alterados, bem drenados e dessaturados. Predomina a caolinita como mineral secundário associada ou não a clorita aluminosa. A relação Ki é próxima a 2 na borda Oeste da Bacia e na maior porção dos Estados de Santa Catarina e Paraná. No Rio Grande do Sul, exceto na borda Oeste, a relação Ki é superior a 2. Esta distribuição é menos precisa no horizonte B.

A diferença de evolução destes solos com aqueles descritos anteriormente é que, neste caso, o agente de dissolução é a água contendo certa quantidade de ácidos orgânicos.

Estes solos possuem em sua maioria horizonte B latossólico, de coloração bruna exceto os criptopodzólicos que são menos evoluídos, possuem horizonte câmbico ou textural e horizonte superficial orgânico cinza-preto.

A aluminização superficial está relacionada com a altitude e parece estar em concordância com as condições climáticas atuais.

O meio natural apresenta a Floresta de Araucárias como vegetação original, relevo forte ondulado com altitude variando entre 400 e 1000 metros onde ocorrem os latossolos brunos com médio teor de aluminização. A temperatura média anual é de 18 C. Nas áreas com altitude superior a 1000 metros aparecem os planaltos com suaves ondulações no topo onde aparecem os criptopodzóis, bastante aluminizados. A temperatura média anual é de 16 C e a vegetação de gramíneas.

IV.3.3- O MEIO SATURADO

Estes solos estão distribuídos na zona das Missões, na região sudoeste do Estado de Rio Grande do Sul. É o material menos representativo da cobertura basáltica da bacia do Paraná uma vez que grande parte da área é recoberta por um espesso manto de alteração de natureza laterítica.

Os solos presentes nesta unidade apresentam minerais secundários neoformados, essencialmente esmectita. As concreções de carbonato de cálcio são comuns.

A água é o principal agente de dissolução porém, a eliminação dos elementos mais móveis não é realizada devido a limitada drenagem interna. As condições topográficas são determinantes na alta saturação destes solos. A pequena lixiviação dos elementos ocorre no sentido vertical, do horizonte A para o B.

Estes solos possuem essencialmente horizonte B vértico, escuro e com teor médio de carbono em superfície, o que acarreta pequena acidez.

O relevo é constituído por baixos planaltos com altitude de até 200 metros e suaves ondulações, as coxilhas. A vegetação é de campo e o clima apresenta uma sucessão de meses frios e quentes com amplitude térmica superior a 10°C.

V- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos permitem estabelecer algumas considerações referentes à gênese e distribuição dos solos desenvolvidos sobre as rochas vulcânicas da bacia do Paraná:

- as condições físico-químicas do meio ambiente possibilitam os mecanismos hidrolíticos atuarem praticamente em toda a bacia entretanto, a intensidade da hidrólise não é constante, havendo possibilidade de formação de solos lateríticos, predominantemente na parte norte e bissialíticos na parte sul;

- de acordo com a intensidade de alteração foi possível separar materiais formados num ambiente laterítico (monossialítico e alítico) e bissialítico (verdadeiro e aparente);

- três grandes domínios de alteração puderam ser definidos: o meio saturado, o meio dessaturado e o meio aluminizado;

- o tipo litológico parece ter papel secundário na determinação das características dos solos. Apenas algumas características encontradas no horizonte B poderiam estar relacionadas com a rocha matriz;

- as cartas geoquímicas seriam mais completas se houvesse a distribuição espacial dos dados de forma densa e homogênea. Porém, como isto não acontece na bacia, podem ocorrer erros ligados aos contornos dos limites entre as diferentes unidades de solos. Apesar disto, estas cartas cumprem o objetivo de mostrar as tendências de evolução superficial.

VI - BIBLIOGRAFIA

- AB'SABER, A.N. (1949) Regiões de circundesnudação pós-Cretácea no Planalto Brasileiro. Bol. Paul. Geog., n.1, p. 3-21.
- ALMEIDA, F.F.M. (1949) Relevos de Cuestas na bacia sedimentar do Paraná. Bol. Paul. Geog., n.3, p. 21-33.
- ALMEIDA, F.F.M. (1956) O Planalto Basáltico da Bacia do Paraná. Bol. Paul. de Geog., n.24, p. 3-34.
- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S.; MARTINEZ, L.A.; MELFI, A.J.; NARDY, A.J.R.; PICCIRILLO, E.M.; STOLFA, D. (1986) Continental flood basalts from central-western regions of the Paraná plateau (Paraguay and Argentina): petrology and petrogenetic aspects. Neues Jahr. Miner. Abh., 154, 2, p.11-139
- BENEDETTI, M.F.; MENARD, O.; NOACK, Y.; CARVALHO, A.; NAHON, D. (1994) Weather-rock interactions in tropical catchments: field rates of weathering and biomass impact. Chem. Geol., 118, p. 203-220.
- BOLETIM TÉCNICO N. 75. Estudo expedito de solos do Estado do Rio Grande do Sul e parte de Santa Catarina para fins de classificação, correlação e legenda preliminar.
- BOLETIM TÉCNICO n. 65. Estudo expedito dos solos do Estado de Santa Catarina para fins de classificação, correlação e legenda preliminar
- BOLETIM TÉCNICO n. 17. Mapa esquemático dos solos da região Norte, Meio-Norte e Centro-Oeste do Brasil.
- BOLETIM TÉCNICO n. 39. Levantamento de reconhecimento dos solos do Oeste do Estado do Paraná.
- BOLETIM TÉCNICO n. 18. Levantamento de reconhecimento dos solos do Sul do Estado do Mato Grosso

BOLETIM TÉCNICO n. 14. Levantamento de reconhecimento dos solos do Noroeste do Paraná (informe preliminar). Rio de Janeiro, 102p.

CARVALHO,A. (1970) Study of Terra Roxa Estruturada and Latossolo Roxo on a topographic sequence in São Paulo State (Brazil). Th. Master. Newcastle upon Tyne, 93 p.

CHESWORTH,W.; DEJOU,C.; KIMPE,C.; VASQUEZ,F.M.; CANTAGREL,J.M.; LARROQUE,P.;PAZ,C.G. ; RODEJA,E.G. (1983) Importance de la fessialisation sur les basaltes miocenes du Massif Central: principales caracteristiques de cette pedogenese. Sci. Géol., Mém., 73, p.53-62.

CLEMENTE,C.A. (1988) Alterações de solos desenvolvidos sobre rochas vulcânicas ácidas da Formação Serra Geral nos Planaltos de Guarapuava e Palmas, região Centro Sul do Estado do Paraná. Piracicaba, 211p. (Tese de Doutorado)- ESALQ, USP.

CONTRIBUIÇÃO AO RECONHECIMENTO DOS SOLOS DA REGIÃO CAFEEIRA DO ESTADO DO PARANÁ. 1965. Curitiba.

CORDANI,U.G.; SARTORI,P.L.P. & KAUASHITA,K.(1980) Geoquímica dos isótopos de estrôncio e a evolução da atividade vulcânica da Bacia do Paraná (Sul do Brasil) durante o Cretáceo. An. Acad. Bras. Cienc., 52, p.811-819.

DELVIGNE,J.(1967) Bilans géochimiques de l'altérations des roches basiques en Côte-D'Ivoire ferralitique. Revue de Geographie Physique et de Géologie Dynamique, IX, 2 (4), p.311-320.

DEMATTÊ,J.L.I.; TORRADO,P.V. ; SPAROVEK,G,(1992) Influência da drenagem na morfogênese de solos desenvolvidos de rochas básicas no município de Piracicaba-SP. Rev. Bras. Cien. do Solo, Campinas, vol. 16, 2, p. 241-247.

D.N.P.M.(1981) Mapa geológico do Brasil. Escala 1: 2.500.000.

DUCHAUFOR,P. (1978) Les sequências climáticas des zones froides et tempérés: comparaison Europe- Amérique. Science du Sol, 4, p. 215-227.

EMBRAPA(1981) Mapa de solos do Brasil. Escala 1:5.000.000.

ESPÍNDOLA,C.R.(1979) Pedogênese em áreas basálticas do reverso de cuevas no médio curso do rio Tietê. (Tese de Livre Docência), Botucatu, Fac. de Ciências Agronômicas, UNESP.

ESPÍNDOLA,C.R.; BONI,N.R. ; GARCIA,G.J.(1994) Componentes de basaltos alterados sob diferentes condições locais da região de Barra Bonita-Jaú (SP). Rev. Geoc., UNESP, 13,1, p.25-36.

ESWARAN,H.(1972) Micromorphological indicators of pedogenesis in some tropical soils derived from basalts from Nicaragua. Geoderma, 7, p.15-31.

ESWARAN,H.(1979) The alteration of plagioclases and augites under differing pedo-environmental conditions. Journal of Soil Science, 30, p. 547-555.

ESWARAN,H. ; CONINCK,F.(1971) Clay mineral formations and transformations in basaltic soils in tropical environments. Pedologie, XXI, 2, p. 181-210.

FAO/UNESCO(1977) Carta Mundial dos Solos, vol. 1. Legenda e Volume IV, 1971, América do Sul.

FERRARI,J.A.(1994) Conversão e adensamento de arquivos: exemplo SURFER-IDRISI. Anais do 38 Congr. Bras. Geol., Camboriú, SC, p. 338-340.

FÚLFARO,V.J., SAAD,A.R., SANTOS,M.V. ; VIANNA,R.B.(1982) Compartimentação e evolução tectônica da Bacia do Paraná. Rev. Bras. Geoc., 12, p. 590-611 .

GENSE,C.(1970) Premières observations sur l'altération de quelques roches des Hautes Terres Malgaches. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., VIII, 4, p. 451-467.

GLASMANN,J.R. ; SIMINSON,G.H. - 1985. Alteration of basalt in soil of Western Oregon. Soil Sc. Am. J., 49, 1, p.262-273.

- GONÇALVEZ, N.M.M. (1978) Estudo dos materiais superficiais da região de Ribeirão Preto- SP. e suas relações com os elementos morfológicos da paisagem. (Dissertação de Mestrado), 177p., Inst. Geoc., USP.
- GONÇALVES, N.M.M. (1987) Transformações mineralógicas e estruturais relacionadas à alteração hidrotermal e intempérica de rochas vulcânicas básicas da Bacia do Paraná Setentrional (região de Ribeirão Preto, SP, Brasil). (Tese de Doutorado), 212 p., Inst. Geoc., USP.
- IBGE. (1960) Carta do Brasil ao Milionésimo
- IBGE (1993) Carta de vegetação do Brasil. Escala 1:5.000.000.
- KAMPF, N. , KLANT, E. (1978) Mineralogia e gênese de Latossolos (oxisols) e solos Podzólicos da região NE do Planalto Sul Riograndense. Rev. Bras. Ci. do Solo. vol. 2, 1, p.68-73.
- KAMPF, N. ; SCHWERTMANN, V. (1983) Relações entre óxidos de ferro e a cor em solos caoliníticos do Rio Grande do Sul. Rev. Bras. Ci. do Solo, Campinas, vol. 7, 1, p. 27-31.
- KER, J.C. ; RESENDE, M. (1990) Caracterização química e mineralógica dos solos brunos subtropicais do Brasil. Rev. Bras. Cien. do Solo, Campinas, vol. 14, 2, p. 215-225.
- LEINZ, V. (1949) Contribuição a geologia dos derrames basálticos do sul do Brasil. F.F.C.L., Boletim CIII, 5, 61p.
- LEINZ, V.; BARTORELLI, A.; SADOWISKI, G.R. ; ISOTTA, C.A.L. (1966) Sobre o comportamento espacial do trapp basáltico da Bacia do Paraná. Bol. da Soc. Bras. Geoc., 15, p. 79-91.
- LEMOS, R.C. (1975) Os solos de eruptivas básicas do Sul do Brasil. XV Congr. Bras. de Ciência do Solo, Campinas, p. 351-358.
- LEVANTAMENTO DE RECONHECIMENTO DOS SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1960) - Ministério da Agricultura, 634p.

LEVANTAMENTO DE RECONHECIMENTO DOS SOLOS DO ESTADO DE SANTA CATARINA: primeira etapa/ zona Oeste e Rio do Peixe, 1970. - UFSM-SUDESUL

LEVI,F. ; MELFI,A.J.(1972) Geochemical and mineralogical study of the first stages of weathering of basic and related rocks. Part II: Geochemical study. Rev. Bras. Geoc., 2,1, p. 1-7.

LOCZY,L.(1966) Evolução paleogeográfica e geotectônica da Bacia Gondwânica do Paraná e seu embasamento. Depto. Nac. Prod. Min., Bol. 214, p.1-113.

MAGNANINI,R.L.C.(1955) Observações sobre o clima da Bacia Paraná-Uruguai in: Condições geográficas e aspectos geoeconômicos da Bacia Paraná-Uruguai. Vol. I e II. AGB, São Paulo, p. 111-131.

MELFI,A.J.(1967) Intemperismo de granitos e diabásios no município de Campinas e arredores, Estado de São Paulo. (Tese de doutoramento), FFCL, USP.

MELFI,A.J.(1978) Natureza e origem dos constituintes secundários dos solos desenvolvidos sobre as rochas básicas da Bacia do Paraná. II Simpósio sobre argilas brasileiras, Recife, 24,105, p. 347-354.

MELFI,A.J. ; LEVI,F.(1971) Geochemical and mineralogical study of the first stages of weathering of basic and related rocks. Part I: Mineralogical study. Rev. Bras. Geoc., 1,1, p. 22-28.

MELFI,A.J. ; PEDRO,G.(1978) Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil (II). Rev. Bras. de Geoc., USP, VIII,1, p.11-22.

MELFI,A.J.; PEDRO,G. ; VOLKOFF,B. (1979) Natureza e distribuição dos compostos ferríferos nos solos do Brasil. R. Bras. Ci. Solo, 3, 1, p.47-53.

MENEGOTTO,E. ; GASPARETTO,N.V.L.(1987) Intemperização de rochas vulcânicas básicas e ácidas na região de Santa Maria- RS. Anais do I Congr. Bras. de Geoq., 2, p. 69-83.

- MOINEREAU, J. (1977) Altération des matériaux basaltiques et genèse des argiles en climat tempéré humide et milieu organique. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XV, 2, p. 157-173.
- MONIZ, A.C. ; JACKSON, M.L. (1970) Quantitative mineralogical analysis Brazilian soils derived from basic rocks and slate. Madison, Wisconsin, 74p.
- MONIZ, A.C. ; NASCIMENTO, A.C. ; PAIVA NETO, J.E. (1973) Mobilidade dos constituintes de rochas básicas de São Paulo durante o intemperismo. Rev. Bras. Geoc., 3, p. 201-213.
- MONTEIRO, C.A.F. (1963) Geomorfologia in: Grande Região Sul. IBGE, Tomo I, Rio de Janeiro. p. 15-79.
- NARDY, A.J.R. (1987) Estratigrafia, paleomagnetismo e petrologia das rochas vulcânicas da Região Centro-Sul do Estado do Paraná: Formação Serra Geral. (Dissertação de Mestrado), IAG/USP.
- NARDY, A.J.R.; PICCIRILLO, E.M.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MELFI, A.J.; BELLINI, G. ; OLIVEIRA, M.A.F. (1993) Caracterização litoquímica e aspectos petrológicos de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral: região Centro-Sul do Estado do Paraná. Rev. Geoc., UNESP, 12,2, p. 275-313.
- NICOLA, S.M.C. (1993) Sistema pedológico desenvolvido sobre basalto na região de Ilha Solteira (Estado de São Paulo, Brasil): Gênese e Transformações. (Tese de doutoramento), Inst. Geoc., USP, 116p.
- NIMER, E. (1989) Climatologia do Brasil. IBGE, 2a. edição, Rio de Janeiro, 421 p..
- NOACK, Y.; MATHIEU, D.; CLAPAROLS, C.; LOUBET, M.; BERNAT, M. , GONÇALVES, N.M.M. (1990) Weathering of basalts in the north Paraná Basin (Brazil): chemical aspects. In: Y. Noack and D. Nahon (Editors), Geochemistry of the Earth's surface and mineral formation. Chem. Geol., 84, p. 111-113.

- OLIVEIRA,M.T.G. (1995) Evolução mineralógica da alteração laterítica em rochas vulcânicas básicas da borda sudeste da bacia do Paraná (Rio Grande do Sul e Santa Catarina). (Tese de Doutorado), IG\ UFRGS, 244 p.
- OLIVEIRA,J.B.; JACOMINE,P.K.T ; CAMARGO,M.N.(1992) Classes gerais de solos do Brasil. Ed. UNESP/FUNESP. 201 p.
- OLIVEIRA,J.B. ; MENK,J.R.F.(1984) Latossolos roxos do Estado de São Paulo. Bol. Tecn. Inst. Agron., Campinas, 82, 132p.
- PAIVA NETO,J.E. ; NASCIMENTO,A.C.(1957) Diabásio e seus produtos de decomposição. XI Congresso de Geol., Salvador, Bahia.
- PAQUET,H. (1969) Évaluation géochimique des minéraux dans les altérations et les sols des climats méditerranéens et tropicaux à saisons contrastées. Thèse Fac. Sc. Strasbourg, 348 p.
- PAVAN,M.A.(1983) Alumínio em solos ácidos do Paraná: relação entre o alumínio não trocável, trocável e solúvel, com o pH, CTC, porcentagem de saturação de Al e matéria orgânica. Rev. Bras. Ci. Solo, 7,1, p. 39-46.
- PEDRO,G.(1966) Essai sur la caractérisation géochimique des différents processus zonaux résultant de l'altération superficielle. C. R. Ac. Sc. Paris, 262D, p.1828-1831.
- PEDRO,G.(1981) Les grands traits de l'évolution cristallogénétique des minéraux au cours de l'altération superficielle des roches: introduction de la cristallogénétique à l'étude des phénomènes d'altération. Società Italiana de Mineralogia e Petrologia, 37, 2, p. 633-666.
- PEDRO,G.; CHAUVEL,A. ; MELFI,A.J.(1976) Recherches sur la constitution et la genèse des Terra Roxa Estruturada du Brésil. Annales Agronomiques, 27, 3, p.265-294.
- PEDRO,G. ; SCHERER,S.(1974) Essay d'interprétation géochimique de la Carte Pedologique de France (échelle 1/ 1 000 000). Ann. Agron., 25 ,I, p. 25-48.

- PICCIRILLO, E.M. ; MELFI, A.J. (1988) The Mesozoic flood volcanism of the Parana Basin: petrogenetic and geophysical aspects. 600 p.
- RADAMBRASIL (1982) Folha SF 21 Campo Grande. Levantamento de Recursos Naturais, vol. 28, Rio de Janeiro, 416p.
- RADAMBRASIL (1983) Folha SE 22 Goiânia. Levantamento de Recursos Naturais, vol. 31, Rio de Janeiro, 768p.
- RADAMBRASIL (1986) Folha SH 22 Porto Alegre e parte das folhas SH 21 Uruguaiana e SI 22 Lagoa Mirim. Levantamento de Recursos Naturais, v. 33, Rio de Janeiro, 776p.
- RAPOSO, M.I.B. (1987) Evolução magmática e petrológica das rochas vulcânicas ácidas mesozóicas da região de Pirajú - Ourinhos (SP e PR). (Dissertação de Mestrado), São Paulo, IAG/USP, 159 p.
- ROISEMBERG, A. (1989) Petrologia e geoquímica do vulcanismo ácido Mesozóico da Província Meridional da Bacia do Paraná. (Tese de doutoramento), UFRS. 285p.
- ROMARIZ, D.A. (1955) Vegetação Original da Bacia Paraná- Uruguai. In: Condições geográficas e aspectos geoeconômicos da Bacia Paraná- Uruguai. Vol. I e II, AGB, São Paulo. p. 103-110.
- ROSSIGNOL, J.P. (1983) Les Vertisols du Nord de l'Uruguai. Cah. ORSTOM, sér. Pedol., XX, 4, p. 271-291.
- ROSSIGNOL, J.P. (1984-1985) Les planossols de nord de l'Uruguai. Cah. ORSTOM, sér. Pedol., XXI, 1, p. 57-78.
- RUEGG, N.R. (1975) Natureza serial do magmatismo basáltico da bacia do Paraná. Naturália, 1, p. 141-152.
- RUEGG, N.R. (1976) Características de distribuição e teor de elementos principais em rochas basálticas da bacia do Paraná. Bol. Inst. Geoc., USP, 7, p. 81- 106.

- SARTORI, P.L.P. ; BORTOLOTTI, O.J. (1982) Os principais tipos de rochas vulcânicas da Bacia do Paraná no Planalto de Santa Catarina. *Ciência e Natura*, 4, p. 71-84.
- SARTORI, P.L.P. ; MACIEL FILHO, C.L. (1983) Petrografia das rochas ácidas da Formação Serra Geral na região do rio Paranapanema, São Paulo. *Ciência e Natura*, 5, p. 19-23.
- SARTORI, P.L.P. (1984) As principais ocorrências de rochas vulcânicas ácidas da Formação Serra Geral no Planalto do Paraná. XXXIII Congr. Bras. Geol., Rio de Janeiro, 4, p. 539-4.547.
- SEGALEN, P. (1957) Etude des sols dérivés de roches volcaniques basiques à Madagascar. Thèse Sciences Nat., Paris, Mém. Inst. Sciences Madagascar, D, VIII, 182p.
- SETZER, J. (1949) Os solos do Estado de São Paulo. Cons. Nac. Geogr., 6, série A, IBGE, Rio de Janeiro, 387p.
- SINGER, A. ; NAVROT, J. (1977) Clay formation from basic volcanic rocks in a humid mediterranean climate. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41, p. 645-650.
- TEIXEIRA, A.L.A. ; GERARDI, L. (1986) Notas sobre SIG. UNESP, mimeografado.
- VALLEJO, G.L. ; SEGALEN, P. (1970) Observations sur des sols rouges dérivés des roches volcaniques basiques dans le Bajio (Mexique Central). *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, VIII, 1, p. 49-61.
- VOLKOFF, B. ; CERRI, C.C. (1978) Quelques propriétés de l'humus d'un sol ferralitique humifère sur granite du Paraná (Brésil). *Science du Sol*, 4, p. 269-280.
- VOLKOFF, B. ; CERRI, C.C. (1988) L'humus des sols du Brésil. Nature et relations avec l'environnement. *Cahiers ORSTOM, Ser. Pedol.*, XXIV, 2, p. 83-95.
- YAMAMOTO, J.K. ; BETTENCOURT, J.S. (1992) Avaliação de jazidas. Apostila para o curso de Pós-Graduação. Departamento de Geologia Econômica e Geofísica Aplicada, Instituto de Geociências, USP.