



## EROSÃO NOS CAMPOS SULINOS: ARENIZAÇÃO NO SUDOESTE DO RIO GRANDE DO SUL

**Dirce Maria Antunes Suertegaray**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul. - Campus do Vale, Instituto de Geociências - POSGEA/UFRGS  
Av. Bento Gonçalves 9500 - Bairro Agronomia - Porto Alegre/RS/ - e-mail: [suerte.ez@terra.com.br](mailto:suerte.ez@terra.com.br)

---

### Resumo

O sudoeste do Rio Grande do Sul apresenta um conjunto de áreas sem cobertura vegetal que formam, visualmente, extensas áreas de solo exposto (areais). Para sintetizar a explicação deste processo, Suertegaray (1987,1992,1994) desenvolveu o termo arenização, sendo este entendido como o retrabalhamento de depósitos areníticos (pouco consolidados) ou arenosos (não consolidados), que dificulta a fixação da vegetação devido à constante mobilidade dos sedimentos. O retrabalhamento resulta da dinâmica de chuvas torrenciais. Os processos hídricos superficiais, particularmente o escoamento concentrado do tipo ravina ou voçoroca, expõem, transportam e depositam areia, dando origem à formação de areais que, em contato com o vento, tendem a uma constante remoção. Novos estudos permitem construir a seguinte interpretação sobre a formação de areais: uma fase inicial de instabilidade de determinados lugares, associada às condições estruturais da área (fraturas, diaclases e depressões), instabilizando determinados locais; a segunda fase de intensificação da dinâmica hídrica superficial e subsuperficial, facilitada pelas características estruturais que promovem nas médias encostas a formação de degraus de abatimento; a terceira fase de continuidade dos processos hídricos com intensificação de escoamento concentrado e formação de ravinas e voçorocas e, conseqüentemente, depósitos de areia, em forma de leques aluviais, em suas bases. A quarta fase é a evolução erosiva de ravinas e voçorocas, lateralmente e a remontante, promovendo a coalescência de depósitos arenosos e originando os areais.

**Palavras-chave:** Sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul; areais; arenização.

### Abstract

The southwest of Rio Grande do Sul has a group of areas without vegetation that form, visually, extensive areas of exposed soil (areais or sand deposits). To summarize the explanation of this process, Suertegaray (1987,1992,1994) developed the concept of *arenização* (sandization), which is understood as the reworking of sedimentary sand deposits (little consolidated) or sandy deposits (unconsolidated), which hinders the establishment of vegetation due to the constant mobility of the sediments. New studies allow to build the following interpretation about the formation of sand deposits. An initial phase of instability of some places associated with the structural conditions of the area (fractures, diaclases and depressions). The second phase of intensification of superficial and subsuperficial water dynamics, facilitated by the underlying structural characteristics and promoting in the medium hill slopes the formation of steps. The third phase of continuous processes with increased stream flow, formation of gullies and, consequently, sand deposits, in alluvial fans shape in their bases. The fourth phase is the erosive development of gullies, sidelong and retrograde, promoting the coalescence of sandy deposits and originating the sand deposits.

**Keywords:** Southwest of Rio Grande do Sul; sandization; sand deposits.

## Introdução

A partir da década de 70, no Rio Grande do Sul, em especial a Campanha Gaúcha, área drenada pelos rios que compõem a Bacia do Rio Uruguai, começa a ser vista como uma área sujeita aos processos de desertificação. Esta visão se deve aos primeiros trabalhos feitos à época e, mais especialmente, à imprensa, que passa a divulgar nessa década uma série de reportagens sobre degradação dos solos naquela região - denominando a feição que a caracteriza como deserto. Nesse período difundem-se trabalhos e reportagens que tratam o fenômeno visualizado como deserto e o processo como desertificação. Associa-se o referido processo às atividades humanas, seja à pecuária através do superpastoreio, seja à agricultura, através da expansão da lavoura da soja, e à mecanização, em municípios como Alegrete, São Francisco de Assis e Itaqui, especialmente. Nessa época realizou-se a Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação em Nairóbi (Quênia, 1977). Nesta, foram discutidos conceitos de desertificação, além da problemática decorrente da intensificação do uso do solo, em particular no Sahel, África. Resultou daí a progressiva divulgação dos conceitos sobre desertificação.

Há na literatura científica um número expressivo de conceitos sobre desertificação. Estes associam, de maneira geral, desertificação ao processo de degradação de terras decorrentes das atividades humanas.

O primeiro conceito que faremos referência resulta da Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação (1977).

*“Desertificação é a diminuição ou a destruição do potencial biológico da terra, o qual desemboca em definitivo em condições do tipo desértico. A desertificação é um aspecto da deterioração generalizada dos ecossistemas sob pressões combinadas de um clima adverso e flutuante e de uma exploração excessiva.”* (os grifos são nossos) (SOBRINHO, 1978).

Durante a Conferência do Rio - 92 pode-se dizer que a desertificação aparece associada à destruição do potencial biológico de terras áridas, semiáridas e subúmidas secas, podendo-se assim estabelecer a escala espacial proposta para cartografar o processo. Na avaliação dos conferencistas ocorre a deterioração da vida, uma interferência na relação entre clima, solo e vegetação ocasionando o rompimento do equilíbrio desses três fatores que compõem o meio. O conceito mais usual considera:

*“Desertification is the impoverishment of terrestrial ecosystems under the impact of man. It is the process of deterioration in these ecosystems that can be measured by reduced productivity of desirable plants, undesirable alterations in the biomass and the diversity of the micro and macro fauna and flora, accelerated*

*soil deterioration, and increased hazards for human occupancy”* (DREGNE 1986).

A análise destes conceitos indica como causa da desertificação a atividade humana através da exploração excessiva da natureza. Ao mesmo tempo vincula, a exemplo dos dois primeiros conceitos aqui citados, desertificação a uma forma de degradação que “desemboca em definitivo em condições do tipo desértico” (climático) ou que pode ocorrer em “áreas secas em geral”.

Partindo, portanto, destes conceitos e analisando a região onde ocorre o processo de degradação de terras denominado arenização, na Bacia do Rio Uruguai, mais precisamente o Sudoeste do Rio Grande do Sul, considerou-se inadequado o uso do conceito de desertificação para a explicação dos processos característicos dessas áreas.

Denominou-se então a feição observada como areal (denominação historicamente utilizada para as manchas de areia expostas) e o processo como arenização. Importa, no entanto, mesmo que tenhamos excluído o processo de degradação do SW do RS da ótica da desertificação, explicitar a construção do conceito de arenização.

Suertegaray, 1987, partindo da análise de conceitos sobre desertificação e analisando a região em processo de arenização considerou inadequado o uso do conceito de desertificação para explicar os processos lá observados. A região em estudo não se constitui em uma região árida ou semiárida. Esta registra precipitações médias anuais em torno de 1.400mm e, por outro lado, não há evidências confiáveis de que a expansão desse processo estaria mudando o clima regional (úmido) para um clima do tipo semiárido ou árido, como indica o conceito de desertificação da Conferência de Nairóbi, em 1977.

Assim, para sintetizar a explicação deste processo, Suertegaray (1987) construiu o conceito de arenização. Para a autora, o processo de formação de areais (Figura 1) no Sudoeste do Rio Grande do Sul, resulta da arenização, conceito mais recentemente ampliado (SUERTEGARAY & VERDUM, 2008), ou seja, arenização consiste em:

*“retrabalhamento de depósitos areníticos (pouco consolidados) ou arenosos (não consolidados) que promove nessas áreas dificuldade de fixar a vegetação, devido à constante mobilidade dos sedimentos. O retrabalhamento desses depósitos, no caso de formações superficiais, provavelmente quaternárias, resultou de uma dinâmica morfogenética onde os processos hídricos superficiais, particularmente o escoamento concentrado do tipo ravinha ou voçoroca, associados a chuvas torrenciais, expõe, transporta e deposita areia, dando origem à formação de areais que, em contato com o vento, tendem a uma constante remoção”.*



*Figura 1 - Vista parcial de um areal, Bacia do Arroio Cati afluente do Rio Quaraí/Bacia do Rio Uruguai. Município de Quaraí/RS. Autoria Rozalia Torres, 2005.*

A perda de nutrientes e a mobilização dos sedimentos, por sua vez, dificultam a continuidade da pedogênese e a fixação da vegetação, resultando em areais.

Os areais constituem a forma mais evidente deste processo. Entende-se por areal uma área caracterizada por depósitos arenosos recentes, portanto, inconsolidados em constante remoção pelo processo de arenização.

Os areais tornam-se visíveis na paisagem enquanto superfícies arenosas com ausência de recobrimento com algum tipo de cobertura vegetal de forma contínua.

No Sudoeste do Rio Grande do Sul, este processo foi descrito por Suertegaray, 1987, como de origem natural, podendo ser intensificado pela atividade pastoril ou agrícola.

As áreas em processo de arenização da Bacia do Ibicuí não foram incluídas como áreas desertificadas no mapa de ocorrência de desertificação e áreas de atenção especial no Brasil do Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (1992). As áreas de degradação do Sudoeste do Rio Grande do Sul são identificadas como áreas de atenção especial, isto é, apresentam forte processo de degradação ambiental derivado da “ação do homem”, segundo este documento.

No Brasil, esta área vem sendo motivo de preocupação e de desenvolvimento de pesquisas, mais precisamente a partir dos anos 80, do século XX. A tentativa já nessa época de descrevê-la como área desertificada associava-se, de certo modo, ao desejo de obtenção de verba internacional para recuperação dessas áreas. Na evolução desta discussão, o MMA (Ministério do Meio Ambiente) ao elaborar o mapa do Brasil, com vistas à definição das áreas desertificadas, identifica estas áreas arenizadas como áreas especiais, tendo-se assim uma possibilidade de aquisição de verbas através dos fundos internacionais de combate à desertificação e à seca, por exemplo.

### **Caracterização dos processos de formação de areais e área de ocorrência**

A área de ocorrência de areais, segundo Suertegaray (1987) tem como substrato a Formação Botucatu mais recentemente, em particular na região ao norte do Rio Ibicuí. O substrato dessas áreas é reconhecido como Formação Guará (CPRM, 2008). Sobre estas formações Mesozoicas assentam-se depósitos arenosos não consolidados, originários de deposição hídrica e eólica durante o Pleistoceno e Holoceno. Estes foram denominados de unidade A (fluvial) e B (eólica) por Suertegaray (1987) ao analisá-los no município de Quaraí, Bacia do Rio Quaraí, afluente do Uruguai na fronteira Uruguai - Brasil. São sobre estes depósitos que se originam os areais, mais particularmente os depósitos da unidade B, com teores mínimos de argila e matéria orgânica.

A formação dos areais, interpretada a partir de estudos geomorfológicos, associada à dinâmica hídrica e eólica (SUERTEGARAY, 1987), indica que estes resultam inicialmente de processos hídricos. Estes processos, relacionados com uma topografia favorável, permitem, numa primeira fase, a formação de ravinas e voçorocas. Estas, na continuidade do processo desenvolvem-se por erosão lateral e regressiva, conseqüentemente alargando suas bordas. Por outro lado, à jusante destas ravinas e voçorocas, em decorrência do processo de transporte de sedimentos pela água durante episódios de chuvas torrenciais, formam-se depósitos arenosos em forma de leques. Com o tempo, esses leques vão se agrupando e em conjunto dão origem a um areal. O vento que atua sobre essas areias, em todas as direções, permite a sua ampliação.

Os areais ocorrem sobre unidades litológicas frágeis (depósitos arenosos) em áreas com baixas altitudes e declividades. Estes, conforme levantamento e cruzamento com o mapa de declividade, têm sua maior área de ocorrência nas faixas de declividade de 0°-3° e 3°-6°, indicando que o processo de arenização se articula com processos

hidrológicos e, em menor proporção, com a declividade do relevo, como já demonstram estudos de Suertegaray (1987). Ocorrem predominantemente em áreas com declividades entre 0° e 6°.

Na região de ocorrência dos areais, as classes de declividades mais elevadas correspondem às áreas de maior altitude, caracterizadas pela escarpa do planalto e escarpas de morros testemunhos. Estes compartimentos diferenciam-se do conjunto rebaixado da bacia (predominantemente arenoso). Apresentam substrato rochoso, solos e cobertura vegetal diferenciada, ou seja, nos compartimentos mais elevados predominam os solos originários do basalto, com maiores teores de argila e presença de cobertura vegetal expressiva.

Portanto, os areais são comuns nas médias colinas ou nas rampas em contato com escarpas de morros testemunhos. Sobre outro aspecto, a formação de ravinas e voçorocas, processos que estão na origem dos areais, pode também ser resultado do pisoteio do gado e do uso de maquinaria pesada na atividade agrícola, originando sulcos e desencadeando condições de escoamento concentrado.

O retrabalhamento desses depósitos resulta da dinâmica de chuvas torrenciais, onde os processos hídricos superficiais, particularmente o escoamento concentrado do tipo ravina ou voçoroca, expõem, transportam e depositam areia, dando origem à formação de areais que, em contato com o vento, tendem a uma constante remoção. A perda de nutrientes e a (re)mobilização dificultam a continuidade da pedogênese e a fixação da vegetação herbácea.

### Sobre a gênese natural dos areais

Outra questão diz respeito à gênese natural dos areais. Para investigar esta temática trabalhou-se com dados da história, buscou-se comprovação da existência desses areais em períodos anteriores à ocupação territorial por portugueses e espanhóis. Indicação sobre a existência de areais, em períodos bastante recuados, encontra-se em:

- Ave-Lallemant (1980, p. 332). Neste livro, o autor escreve, referindo-se aos areais do município de Alegrete, da seguinte forma:

*“A lua um pouco velada deitava um clarão turvo sobre a região. Subitamente, em torno de nós tudo parecia branco. Crer-se-ia viajar num campo de neve. Em volta a areia pura, limpa, sem nenhuma vegetação, verdadeiro deserto africano, embora de pouca vegetação. Dava-se uma impressão particularmente melancólica. Viajamos juntos em silêncio”.*

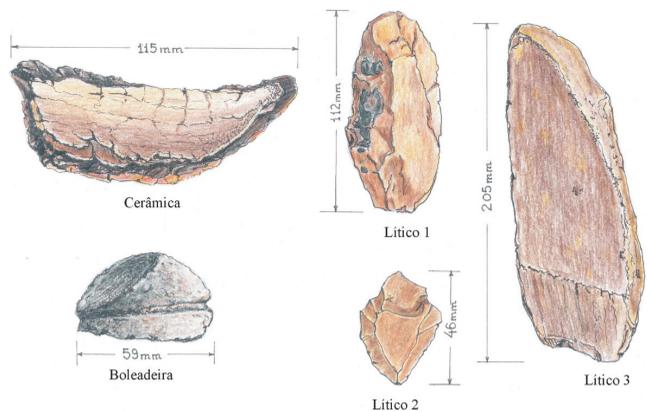
Outro indicativo da ocorrência destes areais, agora para o município de Quaraí, encontra-se em Heráclides Santa Helena (crônica publicada no Correio do Povo).

Nesta crônica, o autor faz referência ao “velho” Braga. Segundo Heráclides, os ancestrais do “velho” Braga chegaram àquelas paragens por volta de 1830, ou seja, poucos anos antes da concessão das primeiras sesmarias no município então denominado Distrito de Entre Rios. (SUERTEGARAY, 1987)

Mais recentemente, Bellanca (2002) construiu um trabalho que resgata os processos de transformação da paisagem ao longo dos últimos 10.000 anos (Holoceno) (Figura 2). Para tanto trabalhou com dados provenientes da geografia, geologia, geomorfologia e arqueologia. Esta interpretação indica que os povos coletores-caçadores que viveram nessa região co-habitaram com os areais. Os estudos indicam ocorrência de sítios arqueológicos juntamente com areais. Corroborando esta interpretação a tese de que, na origem, os areais são naturais, podendo ser o processo de arenização intensificado pelo manejo inadequado do solo, como é possível observar em determinadas áreas do Sudoeste, particularmente, aquelas utilizadas para o cultivo da soja.



Figura 2 - Fotografia do sítio e ilustração dos líticos.



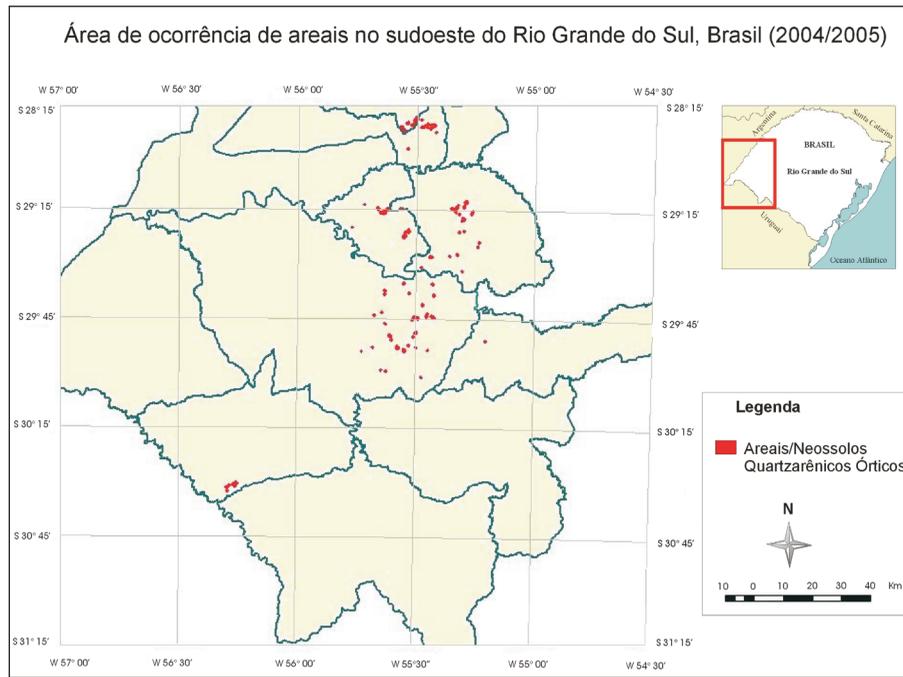
Fotografia e Desenho: Bellanca, 2002.

Figura 2 - Areal no município de Quaraí/RS. Registro de sítio arqueológico e artefatos encontrados desde 12.000 anos A.P. Pedra lascada, bolhadeira e fragmentos de cerâmica indicam a sucessão dos grupos habitantes da área antes da colonização europeia.

## Características da área de ocorrência de areais

Na Bacia do Rio Uruguai, as áreas reconhecidas regionalmente como areais localizam-se, mais precisamente, entre as latitudes de 29°00' e 31°00'S e as longitudes 54°30' e 58°45' W (Figura 3). Como areais entendem-se as manchas de pequeno, médio e grande porte, que se individualizam ao

longo de uma área de cobertura vegetal por serem constituídas de areais, sem cobertura vegetal e em constante ataque por processos pluviais e eólicos. Além destas “manchas”, a área também apresenta o que denominamos focos de arenização, áreas onde a cobertura vegetal é rarefeita e onde é significativa a presença de ravinas e voçorocas.



Fonte: Mapeamento elabora através de imagens Landsat TM 5, Projeto CNPq, Departamento de Geografia/UFRGS, bolsista Clódis de O. Andrades Filho, Orientadora: Profª Draª Dirce Maria Antunes Suertegaray - Porto Alegre - 2005

Figura 3 - Distribuição dos areais nos municípios do Sudoeste do Rio Grande do Sul.

Os areais têm um padrão de localização característico, ou seja, localizam-se, predominantemente, em médias vertentes das colinas ou morros testemunhos, formas de relevo típicas da área. O substrato sobre os quais se desenvolve este processo é arenoso, decorrente, na sua grande parte, da deposição eólica pretérita. A vegetação original é de campo.

As áreas mais deprimidas da topografia regional constituem as várzeas dos rios. Estas se caracterizam pela presença de solos argilo-arenosos com elevado teor de matéria orgânica, por conseguinte não são áreas de ocorrência de areais, conforme definidas anteriormente. Ao longo dos rios nessas áreas há presença de depósitos arenosos característicos de rios meândricos. Estes se apresentam em forma de meia lua (*point bar*) e resultam da dinâmica hídrica. São depósitos decorrentes de processos fluviais, portanto, diferentes daqueles encontrados nas médias encostas e que dão origem aos areais. Estes representam o processo de assoreamento fluvial que, em alguns canais, está associado à erosão e ao transporte de material pela dinâmica da arenização.

## Formação de areais

A formação dos areais, interpretada a partir de estudos geomorfológicos, associada à dinâmica hídrica e eólica (SUERTEGARAY, 1987), indica que estes resultam inicialmente de processos hídricos. Estes processos relacionados com uma topografia favorável permitem, numa primeira fase, a formação de ravinas e voçorocas. Estas, na continuidade do processo, desenvolvem-se por erosão lateral e regressiva, conseqüentemente, alargando suas bordas. Por outro lado, à jusante destas ravinas e voçorocas em decorrência do processo de transporte de sedimentos pela água durante episódios de chuvas torrenciais formam-se depósitos arenosos em forma de leques.

Estes dados, mais recentemente associados aos dados arqueológicos, corroboram a tese defendida por Suertegaray (1987) relativa à origem dos areais. Para a autora, estes são decorrentes da dinâmica da natureza na sua origem, ainda que a ação do homem possa intensificar este processo, como os estudos das dinâmicas atuais indicam.

Um dos componentes significativos na dinâmica da arenização corresponde à dinâmica do escoamento subsuperficial, através de dutos e fluxos mais profundos, os lençóis subterrâneos. Estes são os responsáveis pela evolução de feições do tipo ravinas para feições do tipo voçorocas, formas-processos que estão na origem dos areais.

Considera-se que a gênese dos areais no que se refere à dinâmica da natureza pode ser sintetizada em três fases. A primeira corresponde à formação de degraus de abatimento, a segunda à de ravinas e voçorocas e a terceira à formação do areal propriamente dito.

### **Formação de degraus de abatimento: sobre os condicionantes estruturais e o escoamento das águas subsuperficiais**

Os estudos sobre a dinâmica de formação de areais, mais recentemente, foram associados a formas denominadas de degraus de abatimento (UAGODA, 2004). Estes degraus podem ser visualizados na Figura 4. Estas formas não são exclusivas do processo de arenização, podendo ser observadas sob outros tipos de substrato, seja no Rio Grande do Sul e mesmo no Uruguai.



*Figura 4 - Feição denominada degrau de abatimento, forma associada ao surgimento de areais. Observa-se, entretanto, que esta forma é muito comum sob outras condições estruturais. Representando um fenômeno estrutural de perspectiva regional e que interfere e auxilia a formação de areais. Foto: Uagoda 2004.*

Em estudo específico nas cabeceiras de drenagem da Bacia do Arroio Puitã, afluente do Rio Uruguai, a orientação dos lineamentos tectônicos é principalmente NE-SW, sendo conformados pelo Arco de Rio Grande. Através do processamento digital de imagens fica demonstrado que as áreas próximas aos lineamentos tectônicos oferecem uma resposta espectral que indica a maior incidência de óxidos de ferro entre os materiais de cobertura superficial, demonstrando certa relação entre a distribuição de lineamentos e áreas mais ou menos suscetíveis aos processos erosivos. Estas respostas espectrais coincidem com as informações obtidas da análise sedimentológica, tanto na análise macroscópica, quanto na análise da granulometria.

A macroscopia demonstra que testemunhos colhidos em áreas onde a imagem mostra maior ocorrência de ferro

são mais friáveis e mais homogêneos (com óxidos de ferro espalhados em todo o testemunho). Já os que foram coletados em áreas onde a imagem demonstra maior ocorrência de argilo-minerais, acinzentados, agregados, são resistentes e heterogêneos (com camadas de matéria orgânica e ferro intercaladas e concentradas).

Considerando-se apenas o teor de elementos agregadores, fração silte e argila, este é menor nas áreas onde a resposta espectral informa riqueza em óxidos de ferro e proporcionalmente maior nas demais. A mineralogia aplicada ao tamanho areia fina individualizado permitiu interpretar que os materiais encontram origem em sedimentos retrabalhados da Formação Botucatu e são mais presentes nas áreas onde a resposta espectral demonstra riqueza em óxidos de ferro. Nestas, a mineralogia demonstrou boa distribuição de minerais

estáveis a ultraestáveis e assinalou a forte presença de microconcreções de óxidos de ferro, que são responsáveis pela resposta espectral avermelhada. A presença de óxidos de ferro indica a ocorrência de intemperismo. Sendo assim, áreas onde há predominância de óxido de ferro são áreas de maior oxidação quando comparadas às outras áreas que possuem predominância de argilo-minerais.

O estudo dos comportamentos internos dos testemunhos experimentais construídos na área leva a duas considerações. A primeira é relativa às concreções ferruginosas de tamanho cascalho. Elas são encontradas na base do testemunho à montante, área que na imagem é indicada com grande presença de argilo-minerais. A segunda diz respeito à diminuição dos percentuais dos elementos agregadores (tamanho silte e argila) dos testemunhos montantes para os testemunhos jusantes. Isto é regra para os dois pontos de coleta.

Nas coletas da Bacia Hidrográfica do Arroio Puitã, o material é derivado de sedimentos retrabalhados da Formação Botucatu, muito antigos, pobremente agregados e friáveis, possuindo uma profundidade superior a um metro. As cotas altimétricas são de aproximadamente 200 metros.

As análises demonstraram haver padrões de distribuição de lineamentos tectônicos e junto a estes lineamentos existe uma série de descontinuidades estruturais, falhamentos ou fraturamentos, a eles correlacionados perpendicular ou paralelamente. A representação dos padrões geológico-geomorfológicos permite interpretar que o fluxo subsuperficial de água é vertical e condicionado por descontinuidades de um substrato rochoso irregular.

Este escoamento subsuperficial condiciona o carreamento de elementos agregadores, argila e silte, que estão presentes nas análises granulométricas. Após os elementos cimentadores serem carreados, o *esqueleto* também o é, aumentando a erodibilidade do terreno.

A partir destas informações foram construídos esquemas explicativos para a gênese e evolução esperada da forma denudacional - *degrau de abatimento* - para a área estudada.

O esquema (Figura 5) demonstra a gênese dos degraus de abatimento. A partir dos resultados obtidos é proposto um modelo de interpretação de sua evolução.

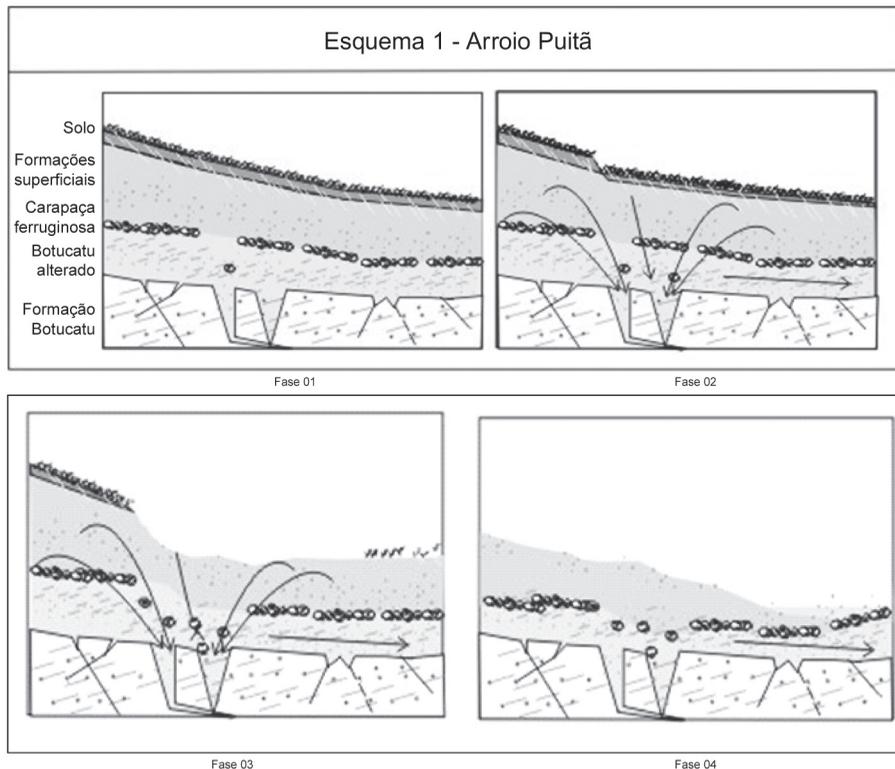


Figura 5 - Esquema representativo da gênese dos degraus de abatimento e formação de areais. Fonte: Ugoda, 2005.

Através de sua análise, pode-se visualizar o substrato rochoso irregular que concentra o fluxo subsuperficial, causando carreamento de elementos agregadores do *esqueleto* quartzozo e o abatimento do relevo em forma de degrau. Na continuidade, em particular para a Bacia do Arroio Puitã, ocorre o desenvolvimento de ravinas, voçorocas e areais.

A revisão da literatura mostrou que este condicionamento é possível, principalmente em áreas de cabeceira de drenagem, onde padrões de relevo que possuem pouca declividade condicionam um escoamento quase sempre vertical, percolando pelas falhas do substrato rochoso.

As análises permitem dizer que paralelos ou perpendiculares a estes lineamentos são encontrados uma sucessão de descontinuidades, falhamentos ou fraturas subverticais. Verificou-se a existência destes lineamentos na área estudada, a partir da análise de imagens digitais de satélites orbitais e da confecção de perfis geológicos-geomorfológicos. Em campo, observou-se que zonas de fraturas são localizadas próximo às áreas de ocorrência dos degraus de abatimento. Da mesma forma, verificou-se certa relação entre os lineamentos e a distribuição de áreas mais ou menos susceptíveis à ocorrência de processos erosivos.

## Formação de ravinas e voçorocas

No item anterior apresentou-se um exemplo de estudo relativo à formação da feição degrau de abatimento. Estes são passíveis de serem correlacionados com a formação de areais. No compartimento de relevo onde as feições de ravinas, voçorocas e areais são comuns também estão presentes os degraus de abatimento. Para o entendimento de dinâmica da arenização tem-se na continuidade a formação de ravinas e voçorocas. Inicialmente será caracterizada a paisagem de maneira geral e os compartimentos de relevo onde ocorrem areais ou o processo de arenização.

Mais especificamente, arenização é um processo cuja sequência evolutiva natural apresenta, conforme estudos geomorfológicos realizados por Suertegaray (1987, 1989, 1992, 1994), localização similar, correspondendo não raro a divisores de água e/ou as médias vertentes limitadas à montante por uma escarpa arenítica (Figura 6). Portanto, a ocorrência de areais segue um padrão de localização característico na área, ou seja, dominam predominantemente as médias vertentes das colinas ou rampas na base de morros testemunhos, formas de relevo típicas da região.



Figura 6 - Ravinas, em cabeceiras de drenagem, em áreas de rampa, médias vertentes limitadas à montante por uma escarpa arenítica. Foto: Clódis de O. Andrades Filho, 2006.

Nestes setores de média vertente dominam processos de ravinamentos e voçorocamentos, associados, em geral, a bacias de captação fluvial à montante.

O substrato sobre o qual este processo de arenização se desenvolve é arenoso, decorrente, na sua grande parte, da deposição eólica pretérita (Quaternário). Os solos que caracterizam essas áreas foram mais recentemente (EMBRAPA) classificados como Solos Neossolos Quartzarêncios Órticos. São solos novos, pouco desenvolvidos, muito frágeis e altamente susceptíveis à erosão hídrica e, quando expostos, à erosão eólica. A cobertura vegetal original é o campo.

Estudos feitos na região de ocorrência de areais indicam domínio de solos arenosos com diferentes teores de areia. A análise de algumas amostras levantadas indica para as amostras da Unidade B (unidade eólica), com predominância de areia (87%, 47% e 94,88%). Estes dados referem-se à unidade onde predominam os areais, o percentual de 87% corresponde às áreas arenosas cuja cobertura vegetal é de campo. O valor 94,88% é representativo de um areal propriamente dito, portanto, área sem cobertura vegetal que sofre constante processo de remoção de sedimentos pelo vento e/ou água. Valores menores, percentuais de 46,12% de areia, são indicativos de unidade deposicional fluvial com cobertura de campo.

O processo inicial de formação de areais ocorre sob áreas de reduzida biomassa (gramínea) evoluindo para manchas arenosas ou areais propriamente ditos, passando por feições de degradação como áreas de ravinamento e de formação de voçorocas.

O retrabalhamento desses depósitos, no caso, formações superficiais, provavelmente quaternárias, resulta de uma dinâmica morfogenética onde os processos hídricos superficiais, particularmente o escoamento concentrado do tipo ravina ou voçoroca expõe, transporta e deposita areia, dando origem à formação de areais que, em contato com o vento, através do processo de deflação, tendem a uma constante remoção. Em síntese, o progressivo desenvolvimento de ravinas e voçorocas levaria, em fases posteriores, a uma coalescência de depósitos arenosos à jusante. Esta deposição, associada à expansão lateral e remontante das ravinas e voçorocas, promove a formação do areal propriamente dito.

A perda de nutrientes e a mobilização desses solos, por sua vez, dificultam a continuidade da pedogênese e a fixação da vegetação, resultando em areais (depósitos arenosos com ausência de cobertura vegetal). Este processo poderá ser desencadeado por agentes naturais ou atividades humanas. No Sudoeste do Rio Grande do Sul este foi descrito por Suertegaray (1987) como se origem natural, podendo ser intensificado pela atividade pastoril ou agrícola.

Em síntese, a ocorrência dos areais está associada ao substrato arenítico não consolidado (formações superficiais), com cobertura vegetal original de campo que sofre a intensificação do processo de escoamento concentrado, característico do clima úmido atual. Em termos paisagísticos, os areais são resultado, segundo Suertegaray (1987) da atuação de processos de clima úmido, retrabalhando formações superficiais características de clima semiárido ou semiúmido de um passado recente. Tudo indica que a constituição da paisagem e em particular a pedogênese e a cobertura vegetal, dado ao curto espaço entre o último período seco (holoceno) e a umidificação atual aproximadamente de 2500 A.P., favorecem a fragilidade atual, permitindo o retrabalhamento e a exposição deste substrato.

Em que pese a dinâmica natural na explicação deste processo, a ação antrópica sobre estes ambientes pode favorecer a intensificação desses processos. Suertegaray *et al* (1995), centrando os estudos em período histórico mais recente (1960 - 1993), através de análise multitemporal, avaliaram o uso do solo e suas transformações, particularmente na região em que ocorre a expansão da agricultura da soja. Os dados levantados, numa área piloto, nos limites entre São Francisco de Assis e Manuel Viana, indicam o surgimento de novas manchas de areia (areais). A análise multitemporal feita através de fotografias aéreas (1964) e imagens de satélite Landsat TM-5 (1989) indicam um aumento de 47,52ha na extensão dos areais num período de 25 anos.

Os areais na Bacia do Uruguai constituem feições antigas da paisagem, associam-se a uma dinâmica hídrica e eólica sob solos frágeis. Resultam de uma associação de processos que, mais recentemente, são intensificados pelo uso do solo. Não obstante, se em algumas áreas os areais se expandem, em outras, naturalmente, se recuperam, na medida em que a vegetação os estabiliza. Trata-se de um fenômeno complexo.

As áreas de ocorrência de areais estão diretamente vinculadas aos municípios de Quaraí, Alegrete, Itaqui, São Francisco de Assis, Manuel Viana, Maçambará, Unistalda, São Borja, Rosário do Sul e Cacequi. A extensão de areais para o conjunto desses municípios está expressa na tabela nº 1. Ao observar esta tabela, verifica-se uma pequena variação na extensão dos areais para o período analisado (1989 - 2004/05), ou seja, a variação do total de hectares é de 3024,37 em 1989 e 3027,41 em 2004/05. Este dado revela que a expansão dos areais não é em grandes dimensões. Por outro lado, ao observar os dados por município, verifica-se uma expansão em algumas áreas municipais enquanto em outras há redução de areais. São exemplos os municípios de Alegrete, Manuel Viana e São Borja, entre outros. São Francisco de Assis corresponde ao município que apresenta redução da área.

Tabela nº1 - Extensão dos areais por município Bacia do Rio Uruguai.

Município	Área do município (ha)	Área de areais (ha)		% de areais por município		Nº de manchas arenosas	
		1989	2004/2005	1989	2004/2005	1989	2004/2005
Alegrete	772060,0	934,67	939,87	0,1211	0,1217	461	546
Cacequi	233307,0	9,36	18,00	0,0040	0,0077	17	16
Itaqui	329675,0	23,30	14,48	0,0071	0,0044	17	31
Maçambará	178857,0	276,66	276,12	0,1547	0,1544	186	217
Manuel Viana	128738,0	551,97	561,78	0,4287	0,4364	152	142
Quarai	322466,0	230,40	234,09	0,0714	0,0726	94	169
Rosário do Sul	437887,0	15,39	26,46	0,0035	0,0060	38	27
São Borja	380185,0	194,94	212,40	0,0513	0,0559	150	92
São F. de Assis	259859,0	765,27	720,72	0,2945	0,2773	335	334
Unistalda	57601,0	22,41	23,49	0,0389	0,0408	47	60
<b>TOTAL</b>	<b>3100635</b>	<b>3024,37</b>	<b>3027,41</b>	<b>0,0975</b>	<b>0,0976</b>	<b>1497</b>	<b>1634</b>

A redução dessas áreas se deve em parte ao plantio de espécies de eucalipto. Estes, ao recobrirem a área de areal, promovem a diminuição da extensão destes, embora o processo de arenização não seja extinto.

### Recuperação através da silvicultura do eucalipto

O florestamento tem sido utilizado como medida efetiva de recuperação de áreas degradadas em muitos países, embora, segundo Lima (1993), a interação em longo prazo de espécies florestais com o solo possa conferir diferentes efeitos sobre a restauração das suas condições originais, uma vez que as espécies diferem quanto à dinâmica do sistema radicular, às características da serapilheira, às atividades biológicas e à interceptação da luz, por exemplo. Para o autor, a conjugação destes fatores culmina geralmente com a melhoria das condições gerais do solo. No entanto, é necessário reconhecer que, sem o manejo adequado, as atividades de cultivo intensivo, por exemplo, pode destruir, rapidamente, qualquer efeito benéfico das plantações de eucalipto, inclusive o próprio solo.

No caso de extensas plantações florestais com espécies de crescimento rápido e regime de corte raso, por exemplo, há perda direta de nutrientes ao longo das rotações, além das perdas adicionais de solo por erosão devido às atividades rotineiras de manejo. A taxa de absorção de nutrientes por uma plantação florestal de eucalipto atinge seu máximo num estágio inicial do período de rotação (até mais ou menos oito anos). Esta fase está associada à ocorrência da máxima taxa de acumulação de biomassa foliar. Após este estágio, a demanda de nutrientes pode ser suprida pela ciclagem interna. A absorção de nutrientes é altamente dependente, portanto, da taxa de crescimento da planta, assim como o será a transferência de nutrientes ao solo pela deposição do folheto. Isto faz com que em plantações industriais em países como o Brasil, o momento do corte coincida com o momento de máxima absorção de nutrientes pela planta, tendo como consequência o contínuo empobrecimento do solo (LIMA, 1993).

No Rio Grande do Sul, as propostas de recuperação dos areais datam da década de 70 e tiveram início através da

Secretaria da Agricultura do Estado com o plano-piloto de Alegrete. Este projeto foi desenvolvido no chamado “Deserto de São João” (Alegrete/Rio Grande do Sul). Resumidamente constou do uso de esteiras como quebra-vento, plantio de uma variedade de espécies arbóreas, arbustivas (frutíferas ou lenhosas) leguminosas e gramíneas. Deste resultou a conclusão de que a espécie que melhor desenvolveu-se sobre os areais foi o eucalipto.

Os problemas surgidos promoveram, ao longo daqueles anos, certo abandono do processo de recuperação dessas áreas. A década de 80 constituiu-se num momento de pesquisa mais intensiva por parte de um número reduzido de pessoas. No final dos anos 80 e início dos anos 90, sob a orientação de um novo governo no Estado do Rio Grande do Sul, ocorreram novas tentativas de discussão e proposições de recuperação dessas áreas. Surgiram então, propostas alternativas hoje em discussão/implantação no estado e que têm no seu bojo os seguintes elementos:

Recuperação de áreas de areais através da iniciativa privada com intermediação do Governo do Estado via Secretaria da Agricultura;

Recuperação dos areais através do plantio de espécies exóticas (eucalipto e acácia negra) pelo sistema de consórcio entre produtor rural e empresário ou pela aquisição direta de mudas na empresa;

Incorporação das áreas de areais ao processo produtivo pela introdução, na área, de outras formas do uso do solo, em particular o florestamento com vistas à industrialização da região. Esta proposição está assentada, inicialmente, no florestamento e, posteriormente, na implantação de indústrias moveleiras, de madeira e celulose naquele setor do estado, acrescida de uma política de incentivos fiscais para desenvolvimento desta atividade agroindustrial sem os quais não haveria competitividade, devido ao custo de transporte da matéria-prima até as indústrias localizadas na região metropolitana.

No final dos anos 80 e início dos 90, ocorreram novas tentativas de recuperação dessas áreas. Uma delas sintetiza-se em:

Recuperação de areais através da iniciativa privada com intermediação do Governo do Estado via Secretaria da Agricultura;

Recuperação dos areais através do plantio de espécies exóticas (eucalipto e acácia-negra) pelo sistema de consórcio entre produtor rural e empresário ou pela aquisição direta de muda na empresa.

Incorporação de areais ao processo produtivo pela introdução, de outras formas de uso do solo, em particular o florestamento, com vistas à industrialização da região. Esta proposta vem sendo desenvolvida, em caráter experimental, através de contrato entre o proprietário e a indústria de produção de Celulose Riocell (incentivadora desta iniciativa) no mesmo “deserto de São João”, em Alegrete.

### **Silvicultura atual**

A evolução dessa proposição resulta na sua efetivação a partir de 2006, com o apoio do Governo de Estado. Do ponto de vista socioeconômico, com a introdução dessa monocultura, o objetivo é transformar a matriz econômica da campanha do RS, histórica e culturalmente pastoril, em região de produção de madeira e celulose. Este projeto se estende pelo Uruguai e Argentina, portanto, tem dimensão internacional. Objetiva constituir um pólo de produção de celulose em terras do Rio Grande do Sul, Uruguai e Argentina (O Cone Sul), implantar fábricas de celulose (as papeleiras tão discutidas e geradoras de conflito entre o Uruguai e a Argentina recentemente) e promover o escoamento dessa produção através de vias navegáveis como a Lagoa dos Patos, pelo Porto de Rio Grande e Rio Uruguai pelo “Mar del Plata”. O destino é o mercado internacional.

No caso específico desta atividade não há uma vinculação direta com a proteção do solo. Esta atividade visa à inserção de áreas improdutivas, já que são consideradas degradadas, ao processo produtivo. Não se tratando, portanto, de ação de revegetação e conservação do solo e/ou biodiversidade.

### **Outras proposições em experimentação e ou debate**

Sob a perspectiva de preservação do Bioma Pampa, a discussão presente nesses dois últimos anos (2008-2010) e as propostas em debate são descritas a seguir.

### **A reconstituição com espécies nativas**

Rovedder (2007) em sua tese de doutorado analisa o potencial do *Lupinus albus* (Tremoços) para a recuperação de solos arenizados. A autora encaminha sua pesquisa objetivando avaliar o potencial dessa espécie nativa na região do Bioma Pampa. O resultado desta pesquisa revela, segundo a conclusão da autora, que:

*“a revegetação com Lupinus albus como estratégia de recuperação de solos arenosos é viável por seu potencial para produção de massa seca e ciclagem de nutrientes. Contudo, devido à baixa resiliência do ecossistema local, seus resultados, principalmente em relação ao incremento em carbono e macro nutrientes do solo são sentidos mais lentamente”* (ROVEDDER, 2007).

Na continuidade de sua pesquisa, Rovedder (2007) apresenta as características que destacam essa espécie como própria para o uso na recuperação de áreas arenizadas. Cinco são os elementos considerados relevantes:

A espécie não é utilizada como alimento para os animais. A espécie apresenta elevada pelosidade. Está associada à presença de corpos resiníferos que afastam os animais, e impedem a alimentação. Com isto não se apresenta ataque de formigas e conseqüentemente favorece a fase inicial de revegetação.

Elevada produção de massa seca. A espécie contribui com elevada densidade de massa seca. Portanto, permite proteção da erosão, redução da umidade, amenização da temperatura, incremento da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes.

Ausência de efeito alelopático sobre a composição florística do campo nativo. A fixação do solo e de nutrientes por esta espécie permite condições favoráveis à germinação de espécies do entorno transportadas ao local.

Amenização de processos erosivos. Rovedder (2007) constatou que 93% da areia movimentada pela erosão eólica foram reduzidos a partir do plantio consorciado de *Lupinus albus* e aveia preta.

Ciclagem de nitrogênio no solo. Estas são excelentes recicladoras de nitrogênio devido à simbiose que realizam com bactérias fixadoras de nitrogênio.

### **A reconstituição com culturas biodiversas**

Tem-se como exemplo cana-de-açúcar, forrageiras, frutíferas, hortaliças, entre outras, com adubação orgânica. São proposições que sugerem a diversificação das culturas e vêm sendo pensadas no âmbito da economia alternativa e solidária, objetivando a produção de alimento, renda e sustentabilidade ambiental.

Importa registrar também que iniciativas sob outras perspectivas vêm sendo pensadas e desenvolvidas nessas áreas por proprietários e/ou órgãos do estado.

### **Reconstituição com barreiras de vegetação nativa**

Técnica desenvolvida na Fazenda Paredão em São Francisco de Assis/RS. A recuperação de áreas degradadas nesta fazenda consistiu em construir barreiras (quebra-

vento) e também controle hídrico superficial através do plantio do Butiá Anão, espécie original e abundante na área. Estas são plantadas seguindo as curvas de nível e a direção predominante do escoamento. Nos intervalos entre as barreiras foram plantadas diferentes espécies de gramíneas - bracheária, pensacola e pangola. A espécie bracheária tem apresentado melhores resultados no que se refere ao recobrimento do solo. Trata-se de uma iniciativa do proprietário individualmente. Outros proprietários promoveram a revegetação de áreas de areais com estas espécies. Na avaliação de alguns proprietários, o resultado relativo à introdução dessas espécies não foi favorável, seja para a alimentação do gado, seja para o recobrimento do solo arenoso.

### **Reconstituição com o plantio de gramíneas exóticas**

No mesmo município de São Francisco de Assis, sob a iniciativa da EMATER, foram experimentados processos de revegetação com espécies florestais (eucalipto) e proposta de recuperação com gramíneas, em especial a bracheária. Segundo o engenheiro florestal responsável pelo projeto, esta gramínea perene, de clima tropical, apresenta boa adaptação à área com invernos amenos; boa produção de sementes; boa produtividade de massa verde; palatabilidade e valor nutritivo; constituindo-se espécie complementar para a produção de forragem. Para além destas características, esta espécie apresenta até 10 toneladas/ha de produtividade média, suporta o pisoteio e a alta lotação em plantio direto e é apta a solos arenosos. O manejo é feito por semeadura em solo com o mínimo de adubação e profundidade (até 2cm). A semeadura é feita entre setembro e outubro na quantidade de 6 a 10kg/ha.

### **Reconstituição natural por isolamento da área e formação de barreiras**

Em trabalhos de pesquisa na área de ocorrência de areais, Suertegaray (1987) Trindade (2003) e Freitas (2006) revelam através de análises diferenciadas que os areais no contato com a gramínea, dependendo da estação do ano, podem se ampliar ou reduzir. As razões disto são explicadas:

Pela dinâmica eólica, segundo Suertegaray (1987), a dinâmica dos ventos, ora soterra as gramíneas, como na primavera e verão quando os ventos são mais fortes na região, ora promove o avanço dessas espécies sobre os areais. O avanço da gramínea e/ou de outras espécies sobre os areais ocorrem em períodos de maior umidade e menor velocidade do vento (outono). Assim, o isolamento da área corresponde a um procedimento eficaz em longo tempo.

Pela resposta das comunidades vegetais ao soterramento. Para Trindade (2003), esta capacidade depende

da composição florística. Em suas conclusões, o autor revela que “independente da composição inicial das” comunidades manejadas sob soterramento e da altura média da biomassa das comunidades, foi observado o surgimento de novos indivíduos e aumento da cobertura de indivíduos já identificados anteriormente (*Aristida laevis*) nas comunidades. Não houve aparentemente nenhuma relação entre tolerância ao soterramento e surgimento de novos indivíduos nas comunidades soterradas. O soterramento de comunidades do entorno de areais não impediu o posterior desenvolvimento de novos indivíduos.

*“Em comunidades arenizadas, após soterramento, a identificação de novos indivíduos reflete um provável potencial de revegetação de comunidades naturais do entorno dos areais”.*

Pelo reconhecimento dos períodos de estiagem. Freitas 2006 indica que na área estudada em processo de arenização a redução da cobertura vegetal e o aumento do solo exposto estiveram associados aos processos de remoção do solo que caracterizam a arenização e diretamente relacionados com a dinâmica pluviométrica regional, tendo em vista que a redução da cobertura vegetal, no ano experimental, ocorreu de janeiro a maio, o que corresponde a um período de estiagem. Esta dinâmica permite aos autores reconhecer que para uma recuperação natural da área é fundamental que essas áreas sejam isoladas do pisoteio do gado. Segundo Freitas (2006),

*“isso possibilitaria a manutenção e o incremento da vegetação com espécies adaptadas às condições de baixa fertilidade, a baixa capacidade de retenção de água pelo solo e resistentes à agressão da areia carregada pelo vento”.*

Além disso, cortinas quebra-vento constituídas de espécies arbustivas locais poderiam contribuir para a retenção das areias nos períodos de ventos fortes.

Resta ainda dizer que reconstituir os areais não é condição necessária para o controle do processo de arenização em âmbito regional. Isto requer um controle dos processos de ravinamento e voçorocamento. Em relação a essas práticas cabe mencionar os experimentos realizados por Verdum, Bellanca *et. al.* e apresentados no Atlas da Arenização (SUERTEGARAY, GUASSELLI e VERDUM, 2001) em especial para o controle de ravinas: a) Técnica de barreira de pedras; b) Técnica de telas; c) Técnica de barreiras vegetais; d) Técnica de fixação da vegetação no fundo da ravina.

## **Considerações finais: Condicionantes à ocorrência da arenização**

A partir da interpretação da gênese dos areais com base no conhecimento obtido pela pesquisa científica até o momento têm-se como principais condicionantes à ocorrência da arenização os seguintes fatores:

**1. Bioma de ocorrência.** Os areais ocorrem no bioma Pampa, caracterizado por um substrato de solos rasos. No caso específico dos areais, a ocorrência é em substrato arenoso. Este é recoberto por vegetação de campo entremeada, nas áreas mais úmidas, vales de rios e encostas de morros, por vegetação de mata. A vegetação de campo é caracterizada como uma vegetação relicto, ou seja, é uma vegetação típica de ambientes mais secos. Atualmente sua persistência deve-se às adaptações feitas e aos solos característicos da região que favorecem a sua manutenção.

**2. Característica dos solos.** Os solos onde ocorrem os areais ou o processo de arenização, conforme já indicamos, são solos novos, formações muito recentes, rasos ou profundos, frágeis com baixo teor de matéria orgânica – inferior a 15% - e de nutrientes. Solos arenosos “altamente suscetíveis à erosão hídrica e eólica”. A erosão que se observa nesses solos é erosão em sulcos. Estas dão origem às ravinas e às voçorocas. A erosão eólica só ocorre quando este solo não está coberto. Denominam-se esses solos, mais recentemente, de Neossolos Quartzarênicos Órticos.

**3. A dinâmica hídrica.** Nessas áreas o processo de arenização se associa à presença da água e não à escassez como no caso de áreas desertificadas. A dinâmica da água nesses solos, em particular no que se refere à erosão, está associada a processos superficiais concentrados. Estes originam sulcos, ravinas e voçorocas. O escoamento laminar não é característico dessas áreas devido a dois condicionantes fundamentais, a presença de solos arenosos com elevada capacidade de infiltração. Experimentos feitos na área demonstraram que de 100% da chuva precipitada em um dia 97,9% da água, em média, infiltra sob solo com cobertura de gramínea (CABRAL & MACIEL FILHO, 1991). Em segundo lugar, tem-se a cobertura de gramíneas como protetora do solo. Assim, sob área com cobertura de gramíneas, quando os fatores de formação de sulcos não estão presentes, os solos são preservados.

**4. O regime das chuvas.** A dinâmica hidroclimatológica foi estudada por Verdum (1997). Com base em sua tese, as chuvas irregulares e por vezes torrenciais na região são os processos fundantes da dinâmica das voçorocas.

**5. O condicionante estrutural associado ao escoamento subsuperficial.** Mais recentemente, pesquisas desenvolvidas na área por Uagoda (2004) e Andrades Filho *et. al* (2007) indicam que os processos de ravinamento e voçorocamento estão vinculados à estrutura de base, ou

seja, ao substrato rochoso. Nesse substrato, a presença de lineamentos condiciona os fluxos hídricos, reativando antigos canais de drenagem e favorecendo a formação de ravinas e voçorocas.

**6. Uso do solo sem o manejo adequado.** Considerando que o solo onde ocorrem os areais é frágil, estes são altamente susceptíveis à erosão quando o manejo agrícola desses solos, particularmente através de maquinaria pesada, promove a formação de sulcos que podem evoluir para a formação de ravinas e voçorocas. A atividade pastoril de forma intensiva em número de cabeças por hectare também é indicada como causadora de erosão. Neste caso, a erosão se vincula à formação de sulcos pelo pisoteio de gado através de trilhas.

## **Referências bibliográficas**

- ANDRADES FILHO, C de O; GUASSELLI, L. A; SUERTEGARAY, D. M. A. Investigação sobre a relação entre os lineamentos estruturais e a ocorrência de areais no Sudoeste do Rio Grande do Sul. In: **XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2007**, Natal. XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Natal: UFRN v. 1., 2007,
- AVÉ-LALLEMAN, R. **Viagem pela Província do Rio Grande do Sul**. Belo Horizonte: Editora Itatiaia. São Paulo: EDUSP, 417p., 1980.
- BELLANCA, E. T. **Uma contribuição para a explicação da gênese dos areais do Sudoeste do Rio Grande do Sul**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 87 p., 2001.
- CABRAL, I. de L. L.e MACIEL FILHO, C. L. Medidas de erosão e deposição em solos arenosos. **Revista Geografia**, Rio Claro,16(2):95-116, outubro de 1991.
- CONTI, J. B. Desertificação como Problema Ambiental. **III Simpósio de Geografia Física**. Nova Friburgo, UFRJ, Rio de Janeiro, 1:189-194, 1989.
- CPRM. **Mapa geológico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, Mapa colorido em escala 1:750.000, 2008.
- DREGNE, H. E. Desertification of arid lands. In: F. El-Baz; M. H. A. Hassan (ed.). **Physics of desertification**. Dordrecht, The Netherlands: Martinus, Nijhoff, 19 p., 1986.
- EMBRAPA. **Atlas do Meio Ambiente do Brasil**. Brasília: Editora Terra Viva, 1-138., 1994.
- FREITAS, E. M. **Arenização e Fitosociologia da Vegetação de Campo no Município de São Francisco de Assis/RS**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geografia, UFRGS,2006. p.139
- LIMA, W. de P. **Impacto ambiental do eucalipto**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 301 p., 1993.

ROVEDDER, A. P. M. **Potencial do *Lupinus albecens* Hook e *Arn* para recuperação de solos arenizados do Bioma Pampa.** Tese de doutorado defendida no programa de Pós-graduação em Ciências do Solo - UFSM. Santa Maria, 126p., 2007.

SOBRINHO, V. J. **Metodologia para identificação de processos de desertificação: Manual de indicadores.** Recife, SUDENE - DDL, PE, 1978.

SUERTEGARAY, D. M. A., GUASSELLI, L. A., VERDUM, R. (orgs.) **Atlas da arenização, Sudoeste do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Secretaria da Coordenação e Planejamento e Secretaria de Ciência e Tecnologia, Governo do Estado do Rio Grande do Sul 85 p., 2001.

SUERTEGARAY, D. M. A. **A trajetória da natureza. Um estudo geomorfológico sobre os areais de Quaraí/RS.** Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Geografia, Departamento de Geografia, USP, São Paulo. 243 p., 1987.

SUERTEGARAY, D. M. A. **Deserto grande do Sul. Controvérsia.** Porto Alegre: Editora da Universidade, 71p., 1992.

SUERTEGARAY, D. M. A. **Desertificação no Brasil Causa Antrópica ou Natural? 5º Congresso Brasileiro de Geógrafos, Anais.** Curitiba: UFPR, p. 359-365, 1994,

SUERTEGARAY, D. M. A., GUASSELLI, L. A e FRANZ, M. V. **Caracterização hidrogeomorfológica e uso do solo em áreas de ocorrência de areais: São Francisco de Assis/Manuel Viana. Relatório Projeto Interdisciplinar - PADCT/CEPSRM - UFRGS,** Porto Alegre, Rio Grande do Sul, p. 181-290, 1995.

SUERTEGARAY, D. M. A e VERDUM, R. **Desertification in the tropics.** In: UNESCO. (Org.). **Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS).** Paris: UNESCO Publishing, v.1, p. 1-17., 2008

TRINDADE, J. P. **Processos de degradação e regeneração da vegetação campestre do entorno dos areais do Sudoeste do Rio Grande do Sul.** Tese de Doutorado - Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, 2003

UAGODA, R. E. S. **Degraus de abatimento: estudo comparativo em cabeceiras de drenagem: bacia hidrográfica do Arroio Puitã e bacia hidrográfica das nascentes do Rio das Antas/RS.** Trabalho de Graduação. Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 93 p., 2004.

VERDUM, R. **Approche géographique des déserts dans les communes de São Francisco de Assis et Manuel Viana – État do Rio Grande do Sul – Brésil.** Tese de Doutorado. Université de Toulouse II - Le Mirail. U.T.H. França. 211 f., 1997.