

1 GÊNESE, CLASSIFICAÇÃO E EXTENSÃO DE SOLOS AFETADOS POR SAIS

Maurício de Oliveira

1.1 INTRODUÇÃO

O solo como um sistema aberto, é um ecossistema em constantes transformações, sofrendo continuamente alterações em diferentes níveis de entropia, através de processos de adição, remoção, translocação e transformações de natureza química, física, biológica e físico-química. Desde os trabalhos pioneiros de Dokuchaiev, na Rússia e de Hilgard, nos Estados Unidos, pedólogos do mundo inteiro têm levado em consideração os diferentes fatores e processos de formação do solo, para explicar as características gerais de um solo na paisagem. Modelos matemáticos inclusive, foram empregados para explicar essas modificações termodinâmicas dessa fina camada de interface da crosta terrestre (Bikerland, 1976). O solo não é, senão, o resultado das interações que envolvem a atmosfera, hidrosfera, biosfera e litosfera, como ilustrado na Figura 1.1. A parte central da citada figura sintetiza a multiplicidade de interações responsáveis pela gênese de um solo. Dependendo da intensidade como atuam os fatores de formação, os podem apresentar características diferenciadas, que definem as suas potencialidades de exploração pelo homem. A tênue camada superficial do planeta Terra, onde ocorrem os fenômenos vitais é denominada Biosfera. Essa, por sua vez, depende das múltiplas interações entre os componentes abióticos do ecossistema (litosfera, hidrosfera, atmosfera). A ação dos diferentes fatores ambientais como clima (combinação dos diferentes componentes da atmosfera e hidrosfera), contínua e ativamente sobre a litosfera, contribui para um *processo pedogenético*. Do processo pedogenético resultante, diferentes comunidades bióticas ocuparão o solo. As características de um solo, resultam desses processos pedogenéticos. Assim, dependendo do processo predominante, os solos podem exibir características favoráveis ou não para o desenvolvimento de plantas e capacidade diferenciada de sustentação e manutenção da vida em sua superfície. Desse modo, é importante que se defina a *qualidade de um solo*, e o caráter de *sustentabilidade* desse importante Recurso Natural. Como definida em Doran & Porkin (1994), se pode inferir que qualidade e sustentabilidade de um solo é a sua capacidade

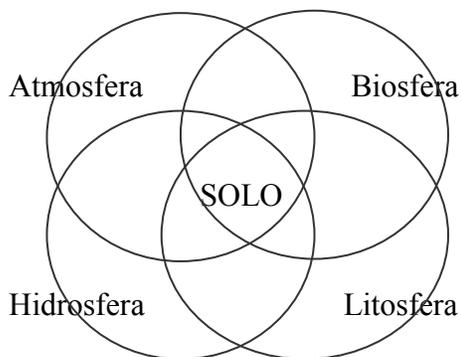


Figura 1.1 O solo como um sistema aberto (adaptado de McGill, 1996)

de funcionar dentro das interações de um ecossistema para sustentar a produtividade biológica do mesmo, e manter a qualidade ambiental de modo a promover as condições saudáveis de vida para as plantas e os animais.

A fertilidade de um solo nada mais é do que a sua capacidade de manter em sua superfície, as comunidades gerais em seus diferentes estágios. A combinação entre as características físicas, químicas, físico-químicas (termodinâmicas) permitem a instalação de uma comunidade biológica (bioma) no solo.

Considerando-se *geobiosfera*, a parte da biosfera onde vivem os organismos que ocupam a terra firme e *hidrobiosfera* os ecossistemas aquáticos, podemos inferir que para o pedólogo ou edafólogo a geobiosfera é de suma importância, no que se refere às possibilidades de exploração econômica. Sabe-se que a zonalidade climática (resultante dos diferentes movimentos de massas da atmosfera) interfere diretamente nas comunidades bióticas que se instalam em um ambiente. Desse modo, os *zonobiomas* são grandes áreas climáticas que comportam um bioma (grande ambiente uniforme dentro da geobiosfera). Os diferentes *pedobiomas*, como definidos em Walter (1986), podem ser assim classificados: *peinobiomas* (ambientes de solos muito pobres); *litobiomas* (solos pedregosos, associados a um tipo específico de rochas, como no caso dos solos calcários de Jamaica, Cuba, Venezuela e da Chapada do Apodi, bem como os afloramentos de rochas do semi-árido do Nordeste do Brasil); *psamobiomas* (solos arenosos); *helobiomas* (solos pantanosos); *hidrobiomas* (solos inundados); *halobiomas* (solos salinos, com acumulação de sais solúveis em água, tais como NaCl, KCl, K_2SO_4 , $NaHCO_3$, Na_2CO_3 , $MgSO_4$, $NaNO_3$ e Na_2SO_4 , $Ca(HCO_3)_2$, $CaSO_4$, etc.

Em um zonobioma, os halobiomas se caracterizam por apresentar plantas que, morfológica ou fisiologicamente se adaptaram ao efeito do potencial osmótico e toxidez causados pela quantidade excessiva de sais solúveis. Diz-se, portanto, que um solo é afetado por sais, quando a concentração desses na solução do solo chega a interferir no crescimento e produtividade das plantas naturalmente habitantes da área ou aquelas cultivadas pelo homem. A gênese de solos halomórficos está associada grandemente com a formação geológica predominante na paisagem, e com a drenagem do solo. Os sais de elementos alcalino e alcalino-terrosos (da chamada *fase migradora* do intemperismo), tendem a se acumular no solo quando a drenagem é deficiente, devido ao processo de evaporação da água da superfície do solo, ou mesmo de águas do lençol freático que, através da ascensão capilar carregam os sais para a superfície, onde se concentram e precipitam após a evaporação da água. Outra possibilidade de acumulação de sais nos solos é nos estuários dos rios onde há influência direta da salinidade da água do mar. Os ventos, responsáveis pela remoção da umidade relativa do ar, contribuem sobremaneira para acelerar o processo de evaporação e, conseqüentemente, incrementar os teores de sais solúveis precipitados na superfície do solo.

O homem, como eterno modificador de ambientes, contribui decisivamente para acelerar a circulação biogeoquímica dos elementos na Natureza, e em consequência, tem-se quase sempre tendências para aumentar ou reduzir a fertilidade dos solos em ecossistemas primitivos de um zonobioma. Este capítulo tem como objetivo, avaliar os fatores e processos pedogenéticos, com ênfase para os solos afetados por sais, seu significado em termos de extensão geográfica e perspectivas de exploração dos mesmos.

1.2 ASPECTOS GERAIS DO HALOMORFISMO

A movimentação de sais no perfil do solo e a sua acumulação na superfície está associada com a concentração salina das águas subterrâneas ou do lençol freático. Zonn (1986) cita importantes níveis considerados críticos para estabelecimento do processo de halomorfismo e, ressaltando dentre eles:

1. *Mineralização crítica das águas subterrâneas*. O teor máximo de sais nos horizontes superficiais do solo, a partir do qual o mesmo se torna tão salinizado que nem mesmo as plantas não cultivadas podem se desenvolver satisfatoriamente é chamada de *mineralização crítica*. No caso das águas subterrâneas sulfo-cloretadas, o teor crítico de sais está em torno de 2 a 3 g ℓ^{-1} e para as águas carbonatadas, esse teor baixa para 0,7 a 1,0 g ℓ^{-1} .

2. *Profundidade crítica de mineralização da água do lençol freático*. É a profundidade acima da qual a solução do solo ascende para a superfície do solo por capilaridade. Nas regiões áridas e nos trópicos úmidos a profundidade crítica varia de 2,0 a 2,5m, dependendo da textura e tipo de argila do solo, quando a *mineralização* da água subsuperficial excede 5 a 7 g ℓ^{-1} .

3. *Surgimento da toxidez fisiológica pelos sais*. Quando o aumento do íon bicarbonato (HCO_3^-) excede 0,08% e o pH do meio varia de 8,7 a 9,0 a salinização ocorre, em decorrência do incremento de soda (carbonato de sódio); se a concentração de HCO_3^- aumentar para 0,1 a 0,2 % e o pH da solução para 9,5, diz-se que as plantas cultivadas sucumbem, e, nesse caso, a salinização induzida pelos cloretos tem início quando a concentração desses íons está entre 0,05 e 0,1%. Se essa concentração evolui, ficando entre 0,4 e 0,8%, todas as plantas cultivadas crescem com problemas, afetando a sua produtividade. Um solo que contém mais de 1,5% de sais em solução causa insucessos no cultivo em geral.

4. *Concentração salina*. A concentração salina na solução do solo varia de 3 a 5 g ℓ^{-1} ; se ela ultrapassa 5 g ℓ^{-1} geralmente as plantas têm redução no seu crescimento e produtividade; entre 10 e 12 g ℓ^{-1} ocorre uma drástica redução no desenvolvimento das plantas; se essa concentração atinge em torno de 20 a 25 g ℓ^{-1} , geralmente as plantas chegam a morrer.

5. *Efeito tóxico do sódio trocável*. Quando a concentração de sódio excede 10 a 15% da capacidade de adsorção do solo, inicia-se o efeito tóxico do sódio. Quando o sódio trocável ultrapassa de 20 a 25% da capacidade de adsorção do solo, as plantas diminuem drasticamente o seu rendimento, e, dependendo do grau de tolerância, podem chegar a fenecer. Solos contendo quantidades exageradas de sódio trocável, geralmente devem ser melhorados para que se possa possibilitar o agrícola, ou plantas tolerantes devem ser empregadas. No Litoral do nordeste brasileiro, é comum a destinação desses halobiomas, para criação de camarões (carcinocultura).

O balanço de sais no solo será tratado com maiores detalhes no capítulo 8 (item 8.2), aqui serão apresentados apenas aspectos teóricos desse fenômeno. A salinidade no solo resulta da qualidade da água usada na irrigação, da eficiência de lixiviação dos sais e da drenagem do solo. Águas (freáticas ou superficiais) com elevado grau de mineralização tendem a induzir a acumulação de sais no perfil do solo. A manutenção do nível de salinidade no perfil do solo é de importância capital para uma agricultura irrigada sustentável. A manutenção da fertilidade do solo depende do balanço hídrico (e

consequentemente, dos sais) na zona radicular das plantas cultivadas. Arar (1972) propõe o seguinte modelo para avaliação de balanço:

$$I + R + G = ET + P \quad (1.1)$$

onde I é o total da água de irrigação; R é a precipitação total (real, no período considerado); G representa a água disponível na zona radicular; ET é a evapotranspiração e P a água percolada para fora da zona radicular. Todas as quantidades citadas, são expressas em mm de lâmina de água.

Em consequência da Expressão 1.1, se pode inferir que o balanço de sais pode se expresso por:

$$IC_i + RC_r + GC_g = PC_p \quad (1.2)$$

onde C_i é o teor de sais na água de irrigação; C_r o teor de sais na água da chuva; C_g o teor de sais na água subterrânea (lençol freático) do solo, que retorna à superfície por capilaridade e que permanecerá próximo da zona radicular; e C_p o teor de sais nas águas de percolação, que vai para o lençol freático. Todos os teores de sais devem ser expressos em $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. A condutividade elétrica (CE) das águas é diretamente proporcional à concentração de sais. Doneen (1975) sugere a expressão $640 \times CE$ para estimar o teor total de sais na água (em mg dm^{-3}), quando a CE é expressa em dS m^{-1} . Como a quantidade de sais na água da chuva (C_r da Expressão 1.2) é praticamente nula na grande maioria dos casos, deduz-se que:

$$IC_i + GC_g = PC_p \quad (1.3)$$

Nos solos não salinos com um lençol freático estável, ocorre um equilíbrio entre as concentrações da água de percolação (que vai para o lençol freático) e a água infiltrada no solo, ou seja, $C_g = C_p$. Nesse caso, podemos expressar o balanço de sais da seguinte maneira:

$$IC_i = (P - G).C_p \quad (1.4)$$

Substituindo o valor de I tirado da Expressão 1.1 na Expressão 1.4, teremos:

$$(ET + P - R - G).C_i = (P - G).C_p \quad (1.5)$$

ou, simplificando:

$$(P - G) = (ET - R) C_i / (C_p - C_i) \quad (1.6)$$

Uma modificação no teor de sais na água de percolação (C_p) proveniente da modificação no teor de umidade (C_{sm}) retida pelo solo, permite que se introduza um coeficiente de eficiência de lixiviação (f) à Expressão 1.6:

$$(P - G) = (ET - R).C_i / (f.C_{sm} - C_i) \quad (1.7)$$

Nesse caso f representa a relação entre o teor de sais que escoo na água de drenagem em uma seção de solo e a concentração de sais da solução do solo originalmente estabelecida nessa mesma seção. E ainda, P exprime a percolação real de água proveniente de águas subterrâneas (colinas, outeiros, pendentes, canalizações ou de áreas adjacentes), pouco se deve levar em conta o valor de G , no balanço de sais. Assim, a Expressão 1.7 fica assim resumida:

$$P = (ET - R).C_i / (f.C_{sm} - C_i) \quad (1.8)$$

Como (f) representa a eficiência de lixiviação, o seu valor deverá variar com as características e propriedades físicas como textura, estrutura, densidade, etc. Arar (1972) sugere para solos pesados em média, pode se assumir o valor 0,5 e, para solos de textura média a leves, o fator 0,6. O mesmo autor cita que pesquisas de drenagem desenvolvidas em Dujailah, com solos do Iraque de textura siltosa os valores reais de f variaram de 0,2 a 0,9 com um desvio de 60%. A salinidade do solo a uma dada capacidade de retenção de umidade (C_{sm}) capaz de repor a salinidade do solo no extrato de saturação (CE_{es}), conseqüentemente dependerá da textura. Geralmente assume-se o dobro, ou seja: $C_{sm} = 2.CE_{es}$.

Considerando-se, por exemplo, que se estabeleça um equilíbrio entre os sais do solo a uma CE de 4 dS m⁻¹ no extrato de saturação ($CE_{es} = 4$), a salinidade da água percolada (C_{sm}) será igual a 8,0 dS m⁻¹. Conseqüentemente, para se estabelecer uma reposição entre a necessidade de lixiviação (percolação P) e o extrato de saturação do solo.

Finalmente, podemos apresentar a expressão (1.8) da seguinte forma prática:

$$P = (ET - R).C_i / (2.f.CE_{es} - C_i) \quad (1.9)$$

A Expressão 1.9 é de extrema utilidade para se estimar as necessidades anuais de água para efetivar a lixiviação dos sais da zona radicular (P) em relação à quantidade de água necessária para a irrigação das culturas ($ET - R$). A Tabela 1.1 foi obtida para exemplificar a utilidade da citada expressão. Observe-se que a cada vez que há necessidade de reduzir a salinidade do extrato de saturação (CE_{es}) de 4,0 dS m⁻¹ para 2,0 dS m⁻¹, há necessidade de incremento de na quantidade de água para lixiviação cerca de 130% (7,5 para 17,2 mm). No caso dos solos de textura média a arenosa, verifica-se que há um menor incremento na quantidade de água necessária à lixiviação (próximo de 120%), para reduzir a salinidade do extrator de saturação de 4 para 2,0 dS m⁻¹). Considerou-se no exemplo vertente, um solo de textura argilosa ($f = 0,5$). Os dados climáticos e da água de irrigação foram extraídos, respectivamente de Oliveira (1988) e Holanda (1996). Os dados climatológicos considerados foram resultantes de uma média de pluviometria anual de 1938 a 1986, com a evapotranspiração real (ET), estimada à partir de dados de temperatura mensais. O Balanço Hídrico realizado nessa área foi estimado conforme método descrito em Mather (1974). A região exemplificada apresenta as seguintes características climatológicas: pluviosidade média anual (P= 610,3 mm); temperatura média anual (T=26,4 °C); evapotranspiração potencial (EP = 1.611,7 mm); evapotranspiração real (ET =

671,2 mm) e déficit hídrico (DH = 940,5 mm). As águas empregadas para irrigação nestas áreas geralmente se classificam em C₁S₁ a C₄S₂ (C_i variando de 0,23 a 3,24 dS m⁻¹).

Tabela 1.1 Necessidades anuais de água para lixiviação de sais (P) em relação às necessidades hídricas para a irrigação (ET - R) tomando-se como exemplo dados climáticos, de solo e de água no Município de Ipanguassu, RN^{I/}.

Eficiência de Lixiviação (f)	Salinidade do extrato de saturação (CE _{es}) - dS m ⁻¹			
	8,0	6,0	4,0	2,0
Solo argiloso	3,5	4,8	7,5	17,2
Solo arenoso	2,9	4,0	6,2	13,7

^{I/} R = 671,2 mm; ET = 610,3 mm; C_i = 0,44 dS m⁻¹.

1.3 CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS AFETADOS POR SAIS

Em termos geográficos e geoquímicos é necessário se considerar que a formação dos solos salinos depende fundamentalmente de como os sais se acumulam no perfil do solo. Estudos da FAO (1973) sugerem que se distingam os seguintes ciclos de acumulação de sais no solo:

1. **Ciclo continental**, correlacionado com o movimento, redistribuição e acumulação de sais como carbonatos, sulfatos e cloretos nos solos que não têm boa drenagem natural: (a) ciclo primário de acumulação de sais; (b) ciclo secundário de acumulação de sais
2. **Ciclo marinho**, relacionado com a influência das marés, em terras depressionadas da faixa costeira ;
3. **Ciclo dos deltas**, que se refere às planícies aluvionais dos rios, principalmente em condições de climas áridos e semi-áridos;
4. **Ciclo artesianos**, correlacionado com a elevação das águas subterrâneas para a superfície, através de capilaridade ou de poços profundos, com regime artesianos.
5. **Ciclo antropogênico**, advindo pela ação do homem, com emprego de tecnologias de irrigação, que geralmente não condizem com a realidade das características físicas, químicas e mineralógicas do perfil de solo cultivado sob irrigação intensa. Nesse caso, a ação antropogênica, pode induzir a salinização secundária no chamado *ciclo continental*.

Geomorfologicamente, se pode afirmar que as planícies aluvionais, terraços fluviais, deltas dos rios, terraços costeiros e lagos são as formações mais suscetíveis à acumulação de sais no perfil do solo. É importante salientar, ainda, que os mesmos estudos sugeridos pela FAO (1973) propõem um modelo simples de avaliação do nível de salinidade das águas subterrâneas, que depende da intensidade de evaporação em uma dada área:

$$y = 170 + 8.t \pm 15 \quad (1.10)$$

onde y é a profundidade crítica (cm) do nível de salinidade das águas subsuperficiais e t é a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) média anual da área considerada. Assim, a profundidade crítica de salinização das águas em uma região como o nordeste semi-árido (temperatura média anual em torno de 30°C , a profundidade crítica de salinização da água subterrânea seria variável entre 3,95 e 4,25 m. Pelo modelo proposto se pode inferir que a profundidade crítica de salinização depende fundamentalmente da taxa de evaporação da área considerada, posto que essa é uma função direta da temperatura do local.

Dependendo das condições ambientais, os solos afetados por sais podem apresentar grande variabilidade espacial em suas características físicas, químicas, fisico-químicas e biológicas. Solos de áreas litorâneas, afetados diretamente pelas marés (solos indiscriminados de mangue, por exemplo) costumam apresentar elevadas concentrações de íons cloreto na superfície, onde também os teores de magnésio trocável, costumam ser superiores aos teores de cálcio trocável. Há uma tendência de incremento no teor de íons sulfatos com a profundidade do solo, influenciado que é o SO_4^{2-} pela dinâmica dos processos de oxidação e redução nas proximidades da oscilação do nível do lençol freático. Nesses halobiomas é comum a formação de solos sulfatados ácidos podendo haver precipitação de gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) se o sedimento originalmente for de origem calcária, conforme citado em Mohr et al. (1972). Os *solos halomórficos indiscriminados* descritos em BRASIL (1971) ocorrem no estado do Rio Grande do Norte, bem como em outras Unidades da Federação, associados com *solos aluviais eutróficos*, tendo como material de origem sedimentos inconsolidados do Holoceno. No Rio Grande do Norte, constituem a Unidade de Mapeamento Ae4 de BRASIL, 1968. A utilização agrícola desses halobiomas é restrita em decorrência dos elevados teores de sais solúveis no perfil do solo. As atividades econômicas mais importantes dos solos afetados naturalmente por sais na região em apreço está ligada predominantemente ao extrativismo da palha e da cera de carnaúba *Copernicia cerifera*, onde a salinidade é menos intensa. Extração de sal marinho e aquicultura (destacando-se o criatório de camarões) têm maior destaque em áreas associadas com os manguezais, e onde a salinidade chega a atingir valores extremos, cujo efeito tóxico do sódio trocável chega a limitar o desenvolvimento das plantas cultivadas.

Os *solonchacks* correspondem aos solos cujos teores de sais solúveis (camada de 0 a 20 e 0 a 30 cm) atingem valores excessivamente altos. A C.E.no extrato de saturação (CE_{es}) desses solos pode atingir valores superiores a 250 dS m^{-1} nos primeiros 2,0 cm superficiais. O pH, nessa camada, pode variar nos extremos de 7,0 a 7,7 (BRASIL, 1971). Oliveira (1988) apresenta valores extremos de pH entre 6,5 e 8,0 com a saturação de sódio trocável respectivamente de 10,5 e 55,3%. Esses incrementos de sais solúveis no solo é responsável pela diferenciação de espécies halomórficas predominante nesses halobiomas.

Outro grupo de solos afetados por sais, os *solonetz*, correspondem aos solos salinos ricos em sódio trocável (*solonchacks*) que sofreram um processo de lixiviação intensa do sódio em decorrência da substituição desse no complexo de troca, pelo cálcio trocável, conforme o esquema da Figura 1.2 (Tan, 1982). O comportamento do cálcio nesses solos é de substituir o sódio trocável (dessalinizando o perfil do solo), pela sua lixiviação, após o íon cálcio substituir o sódio no complexo sortivo do solo, podendo, ainda, ocorrer solos com características intermediárias de *solonchack* (elevada sodicidade), associada com

elevados teores de cálcio trocável substituindo esse íon tóxico no complexo de troca, em decorrência do processo de lixiviação e translocação de sais no perfil do solo.

Os solos *solonetz* degradados são comumente chamados de *solodi*, cuja degradação dos *solonetz* consiste no espessamento da camada superficial (horizonte A), surgindo um horizonte diagnóstico de eluviação E (antigo A₂) subjacente a um horizonte orgânico e um

horizonte mineral com teores mais elevados de matéria orgânica (A₀ e A₁). Em decorrência da eluviação de argila, surge um horizonte diagnóstico de iluviação B₂, com elevados teores de hidróxido de ferro, Fe(OH)₂ logo acima do lençol freático. Em condições de semi-árido nordestino, os solos *solodi* apresentam características intemediárias como os *solonetz*, daí receberem a designação *solonetz solodizados*, em cujo horizonte de iluviação (B₂) se acumulam sais de sódio (B nátrico, cuja saturação de sódio excede 15%). Esses solos apresentam um horizonte superficial com reação ácida (pH entre 4,5 e 5,5) e cujo horizonte subjacente C pode atingir valores de pH entre 7,5 e 8,5. Nesse horizonte ocorre normalmente o desenvolvimento de uma estrutura colunar prismática. Dada a translocação de sais de sódio no perfil, nas camadas subsuperficiais, mais próximas do lençol freático a condutividade elétrica pode ser superior a 3,0 dS m⁻¹.

A evolução de solos salinos tanto pode ocorrer natural e espontaneamente, desde que as condições climáticas assim se imponham, quanto pelo efeito antrópico. A evolução da salinidade natural nos *solonchaks*, *solontetz* e *solodi* que, na verdade, são os três grupos gerais de solos afetados por sais.

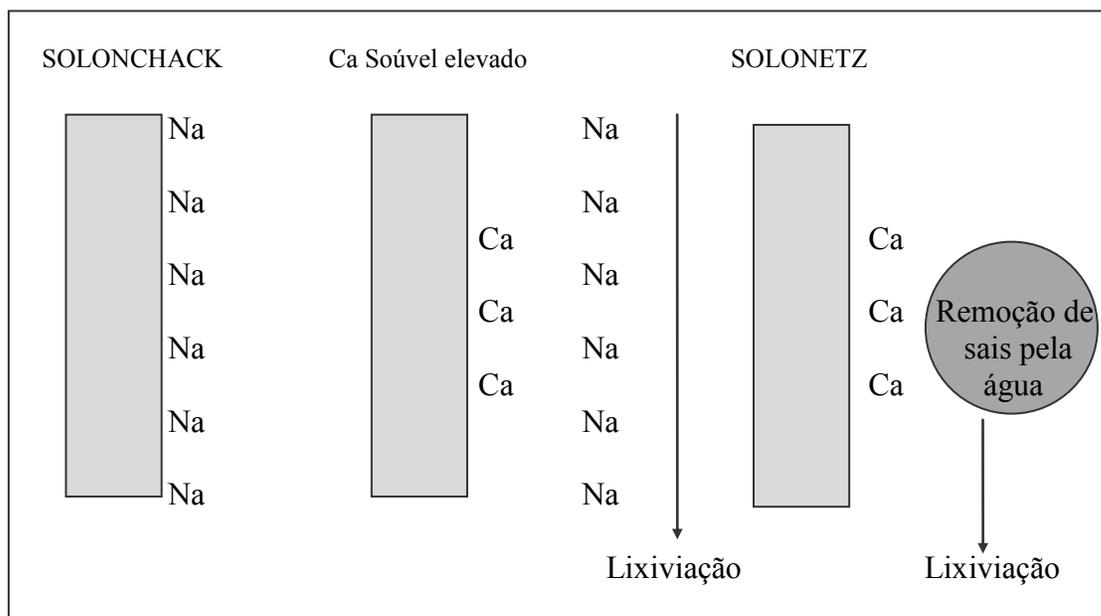


Figura 1.2 Comportamento do cálcio nos solos *solonetz*, na evolução de um *solonchack*. (No Brasil são frequentes solos do tipo *solonchak solonétzicos* com teores de cálcio no extrato 1:5 superiores a 30 mmol/dm³ e ainda com alto teores de sódio trocável) - Adaptado de Zonn, 1986).

A dessalinização induzida pelo homem, através da irrigação e aplicação de melhoradores químicos, como o CaSO_4 , por exemplo, pode contribuir apenas para a migração dos sais da superfície do solo para camada subjacente à superfície, o que poderá oscilar sazonalmente, dependendo da flutuação no nível do lençol freático do solo. Isso ocorre quando a drenagem é ineficiente. A Figura 1.3 ilustra como esse fenômeno pode se desenvolver, ao longo do ano (variação das condições de umidade e/ou aplicação de melhoradores químicos ricos em cálcio (como o gesso) ou mesmo em condições naturais de climas com extremos no regime de umidade dos solos como é o caso de climas áridos e semi-áridos dos trópicos. Desse modo, o melhoramento de solos salinos sódicos, sem a drenagem eficiente, pode induzir à lixiviação dos sais da superfície para o lençol freático, que, posteriormente podem ascender e novamente precipitar na superfície, induzindo uma salinização secundária. Dependendo da qualidade da água do lençol freático, a salinidade pode aumentar, podendo se tornar mais drástica que a salinidade naturalmente encontrada no solo antes da ação antropogênica. No caso da evolução de um solonchack para solonetz e solodi, como apresentado na Figura 1.3, ocorre, naturalmente, uma acumulação de sais durante a estação seca e lixiviação desses sais e humatos de Na^+ (nos solonetz) e $\text{H}^+ + \text{Na}^+$ (nos solods) da superfície do solo durante a estação das águas onde a evaporação se torna mínima.

Diante do exposto se pode afirmar que nos solos alcalinos-salinos (com apreciáveis teores de sódio no complexo de troca), a lixiviação pura e simples, pode elevar acentuadamente o pH, quando houver baixas concentrações de cálcio ou magnésio na solução do solo ou na água empregada para irrigação. A simples remoção dos sais solúveis neutros pela lixiviação, induz a hidrólise desses sais favorecendo um incremento pronunciado do pH, devido ao aumento dos íons hidroxilas na solução do solo. Isso, do ponto de vista prático, seria um desastre, tanto no que diz respeito à dispersão dos coloides do solo, quanto pelo aumento direto da toxidez dada pelo sódio, prejudicando o emprego de plantas cultivadas em geral (Tan, 1982; Yagodin, 1984; Keren, 1995; Richards, 1995; Oster et al., 1995).

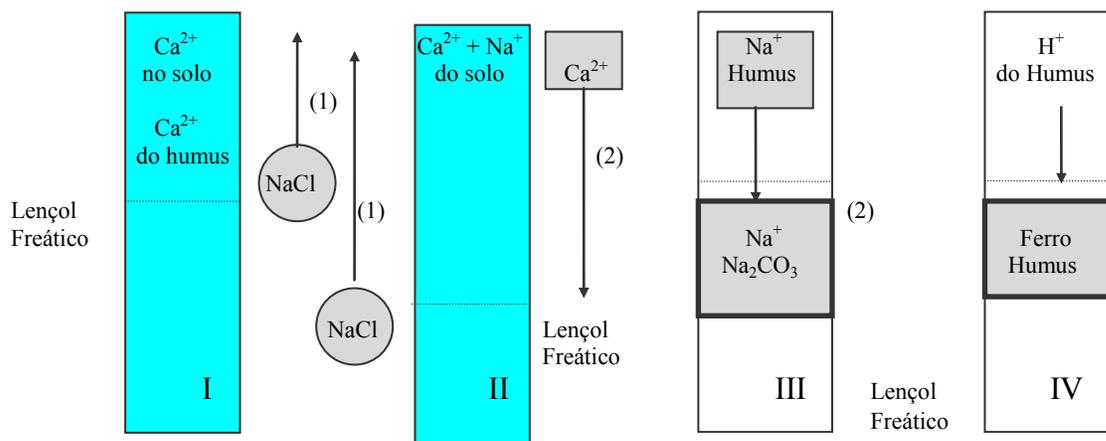


Figura 1.3 Modelo de evolução dos solos salinos e alcalinos (I e II - solonchacks; III - solonetz e IV - Solodi) em diferentes condições de umidade (1 - estação seca; 2 - estação das águas) em regiões de clima árido e semi-árido (Adaptado de Zonn, 1986).

1.4 HALOMORFISMO COMO UM PROCESSO PEDOGENÉTICO

O halomorfismo (halos, do grego *halós*, elemento de composição para “sal”; + morfos, do grego *morphé*, elemento de composição que designa “forma”, morfologia, afinidade) desenvolve-se no solo, quando as condições do ecossistema são propícias. Altas taxas de evapotranspiração potencial, drenagem deficiente no perfil do solo, águas subterrâneas (lençol freático, como já foi visto), enriquecidas por sais, entre outros fatores,

favorecem o halomorfismo tanto em ambientes de climas áridos e semi-áridos, como em condições de umidade, influenciadas pela água do mar. Os halobiomas evoluem à partir da interação entre os fatores de formação dos solos (material de origem, clima, relevo, organismos vivos e tempo), tendo como consequência o processo pedogenético da *salinização*. Desse modo, em condições climáticas úmidas, onde ocorra logo abaixo da superfície do solo, um horizonte com água salina, durante a estação de cultivo (quando há elevada evaporação), poderá haver transporte de sais para a superfície do solo, por ascensão capilar. A absorção de NaCl por plantas vasculares como *Triglochin maritima*, *Juncus gerardi*, *Glaux maritima*, como citadas em Larcher (1986), e posterior liberação desse sal em decorrência da morte das plantas durante o outono e o inverno, pode se constituir em um mecanismo responsável pela gênese de *solos salinos*.

Fitzpatrick (1983) ressalta a importância que tem o processo pedogenético da salinidade em áreas de clima árido e semi-árido, embora se tenha registro da importância que os solos salinos desenvolvidos pela influência direta da água do mar assume em extensas áreas territoriais da Holanda e outros *Países Baixos*.

É importante salientar que os ânions predominantes nos solos salinos são os cloretos, sulfatos, bicarbonatos e carbonatos. Por outro lado, dentre os cátions mais comuns nesses solos se incluem o sódio, o cálcio e o magnésio, enquanto o potássio encontra em menores proporções. A salinidade, por sua vez, é definida em função da CE no extrato de saturação dos solos (CE_{es}) e a alcalinidade pela representatividade do sódio no complexo de troca do solo. No Capítulo 3 serão abordados aspectos detalhados da avaliação do grau de salinidade dos solos e seus efeitos no rendimento das plantas cultivadas. Porém pedogeneticamente, podemos hierarquizar, o grau de salinidade em: função da acumulação de sais no perfil dos solos, conforme Miljkovic (citado por Fitzpatrick, 1983): *ligeiramente salinos* (CE_{es} . entre 2 e 4 dS/m); *moderadamente salinos* (CE_{es} entre 4 e 8 dS/m); *fortemente salinos* (CE_{es} . entre 8 e 15 dS/m); e *extremamente salinos* ($CE_{es} > 15$ dS/m). De acordo com a alcalinidade, os solos podem ser classificados como: *levemente alcalinos* (quando a saturação de sódio trocável é inferior a 20 %); *moderadamente alcalinos* (quando a saturação de sódio atinge 20 a 50 %) e *fortemente alcalinos* (se a saturação de sódio ultrapassar 50%). Essa proposição de classificação geral dos solos afetados por sais serve para escalar o grau de evolução do processo pedogenético da salinização em um solo.

Fatores e processos de formação

Jenny (1980), em seu clássico enunciado da equação “clorpt” (*cl-clima, o-organismos vivos; r-relevo; p-material de origem, t-tempo*), afirma que as propriedades totais de um ecossistema *l* (propriedades dos vegetais, animais, e dos solos) decorrem da interação dos fatores sumariados na Figura 1.4. Desse modo, a salinidade de um solo (que pode ser avaliada pela CE_{es} , pH e teor de sódio trocável), decorre da interação desses

fatores. Os organismos vivos (animais e vegetais) que ocupam um zonobioma são resultantes de processos de adaptação morfológica e fisiológica ao longo do tempo, e que através de lentas mutações, conseguiram adquirir tolerância às condições impostas pela evolução dos solos na paisagem. Em algumas *zonas de tensão ecológica* são comuns registros de uma espécie suplantando a outra em termos de dominação do espaço geográfico. Se as condições ambientais são propícias ao incremento da salinidade, por exemplo, há uma tendência das plantas halófitas ocuparem o espaço; se há o desenvolvimento da acidez com aumento na concentração de alumínio trocável, é comum a existência de oligomorfismo típico de plantas da chamada *vegetação de cerrado*, comuns no Planalto Central brasileiro e algumas regiões localizadas do Sudeste e Nordeste. A fauna característica desses grandes ecossistemas resulta dessas modificações impostas pelos fatores e processos pedogenéticos predominantes. Assim, como ilustrado na Figura 1.4, as principais entradas no sistema, responsáveis pelas alterações das rochas (intemperismo físico, químico e biológico), provocando alterações na dinâmica da interface solo-ambiente são o clima e os organismos vivos em seus diferentes estágios serais. A colonização de plantas em um determinado habitat, seja uma superfície de rocha desnuda ou em um solo com características bem definidas, dependerá de importantes alterações ambientais. Se, por exemplo, uma sucessão de ocupação ocorre em condições de extrema aridez diz-se que a evolução de plantas é chamada de *sucessão xerarch* ou *xerosere*. Por outro lado, quando a sucessão ocorre em condições de umidade elevada chama-se *sucessão hydrarch* ou *hidrosere* (Ashby, 1971). Uma sucessão xerarch típica (xerosere) comum nos granitos do semi-árido nordestino é a ocupação inicial dos líquens incrustados nas rochas, seguindo-se de líquens folhosos e posteriormente surgindo se de espécies mais complexas quando as rochas permitem disponibilidade de nutrientes e água, no período das águas de chuvas. É evidente que condições de microclima, no seio das rochas podem aumentar a variabilidade espacial dos organismos vivos que primitivamente ocuparão as rochas em decomposição e os solos em formação.

Considerando-se a complexidade das interações envolvidas nos processos pedogenéticos apresentados na Figura 1.4, podemos resumir que as características de um ambiente (l, s, v, a), são uma função dos fatores de formação, obedecendo-se as sequências apresentadas na Figura 1.5. A última sequência (*pontosequência*) serve para resumir um intervalo de tempo finito, no qual um ambiente se desenvolveu, representando o seu estado atual no intervalo de tempo considerado. Isto porque as propriedades de um ecossistema são bastante dinâmicas, variando no tempo e no espaço em função dos fluxos energéticos e diferentes estados de entropia da matéria. Diante do exposto, se pode afirmar que as características de um solo variam tridimensionalmente e com o tempo, podendo evoluir, dependendo de modificações que ocorram nas componentes ambientais como o clima ou atividade dos organismos vivos. O homem, como um agente modificador de ambiente, pode contribuir para acelerar tais processos, seja pela erosão, salinização, alteração na fertilidade natural, modificação da vegetação primária, etc.

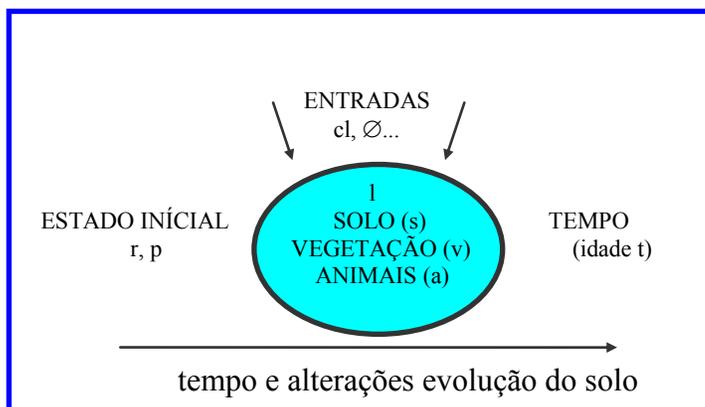


Figura 1.4 Triângulo simbólico representando os três grupos de fatores que determinam o estado inicial e atual de um ecossistema. Variáveis de entrada e consumo de energia no sistema: Cl, clima e Ø, fatores bióticos; r, relevo (topografia); p, material de origem; t, tempo ou idade (Adaptado de Jenny, 1980).

Cada uma das funções ou seqüências apresentadas na Figura 1.5 simula uma condição teórica, onde se pudesse didaticamente avaliar como um determinado fator pode alterar nas características de um solo, considerando-se que os demais fatores fossem constantes. Assim, por exemplo, um solo pode ser salino em função do clima? É evidente que a resposta seria afirmativa, quando levássemos em consideração que há maior probabilidade de se desenvolver um solo salino em condições de clima árido e semi-árido, devido às elevadas taxas de evapotranspiração típicas nessas regiões. Por outro lado, como explicar por que nem todos os solos de regiões de clima semi-árido são salinos? Deve-se, evidentemente a outros fatores, como por exemplo, o relevo, o material de origem, etc., ou seja, em todo solo existem fatores considerados *dominantes* e aqueles considerados *subordinados* dentro de um processo pedogenético. Na presente secção trataremos mais especificamente de explorar a gênese dos solos salinos em função desses fatores dominantes e subordinados.

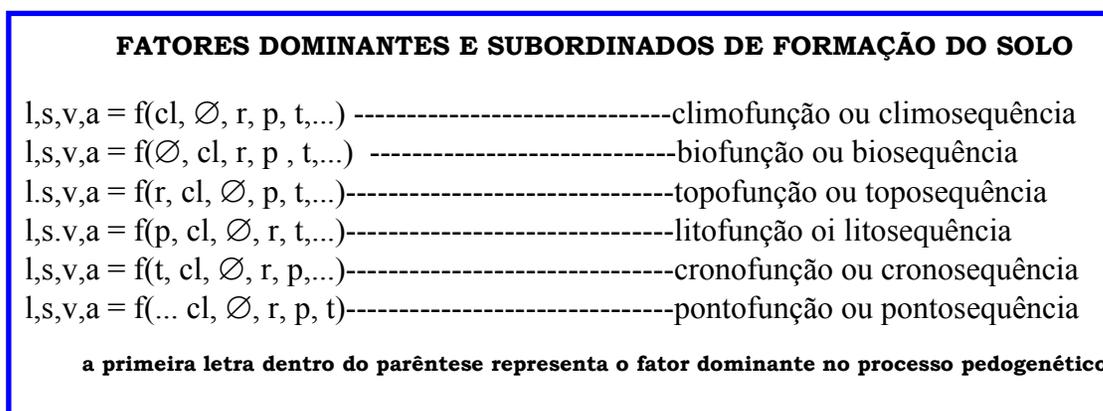


Figura 1.5 Representação esquemática dos fatores de formação dominantes e subordinados de formação do solo dentro de uma seqüência de eventos pedogenéticos.

Climofunção ou Clomosequência: Considerando uma climofunção, ou climosequência, como reponsável pelo desenvolvimento da salinidade de um solo, podemos expressar:

$$l,s,v,a = f(cl)_{\emptyset, r, p, t} \quad (1.11)$$

ou seja, os elementos do clima responsáveis diretamente pelo halomorfismo, estão relacionados com a transferência de calor entre o solo e a atmosfera.

As principais propriedades morfológicas e mineralógicas do solo que se correlacionam com o clima são teor de matéria orgânica e de argila, mineralogia da fração argila, cor do solo, presença ou ausência de CaCO_3 no perfil do solo e profundidade do solo.

Uma das condições para acumulação de sal no solo, além das quantidades consideradas normais nos solos agrícolas, é a elevada taxa de evaporação da superfície do solo. Com o processo de evaporação, os sais contidos na solução do solo precipitam na superfície quando a água é perdida para a atmosfera. Dentre as componentes climáticas, a precipitação pluviométrica e a temperatura determinam os índices climáticos mais importantes para o desenvolvimento da salinidade. Balanço hídrico negativo, associado com a posição topográfica podem determinar o desenvolvimento da salinidade. No Brasil, como já foi explicitado, o clima se torna mais importante no desenvolvimento da salinidade nas áreas do chamado Polígono das Secas. As demais áreas com solos afetados por sais, se localizam no litoral e, dadas as condições tropicais predominantes, altas taxas de evaporação (associadas com os ventos litorâneas) favorecem o halomorfismo. A acumulação de CaCO_3 no perfil do solo está estreitamente relacionada com a aridez do ambiente. Em algumas regiões dos Estados Unidos é comum a ocorrência de solos com acúmulo de CaCO_3 na região Oeste, onde a precipitação varia entre 500 e 600 mm com temperaturas que oscilam entre 5 e 22 °C. No nordeste brasileiro é mais comum a ocorrência de CaCO_3 em regiões de extrema aridez (pluviometria média em torno de 500 mm) e elevada temperatura média anual (quase sempre superior a 22 °C). É nesses ambientes que ocorrem também a maior incidência de solos afetados por sais.

Biofunção ou Biosequência: Os organismos vivos que habitam um halobioma decorrem de evolução genética, onde as espécies mais aptas permanecem habitando áreas salinizadas, mesmo quando a condutividade elétrica atinge valores muito elevados. A biofunção pode ser representada pela expressão:

$$l,s,v,a = f(\emptyset)_{cl, r, p, t} \quad (1.12)$$

onde se verifica que do ponto de vista agrônomo, v da equação é a componente mais importante na ocupação de um ambiente salino. O desenvolvimento de plantas halófitas ou culturas tolerantes a sais, evolui em função de adaptações anatômicas e morfológicas destas em consequência da salinidade existente no solo. Dentre os fatores afetados diretamente pela salinidade, Poljakoff-Mayber & Gale (1975) citam taxa e tempo de germinação das sementes, tamanho das plantas, bifurcação e tamanho das folhas das plantas e outras alterações anatômicas em geral. Segundo o autor o aumento na suculência é uma das transformações mais comuns em plantas expostas ao halomorfismo durante muito tempo. A salinidade, induz modificações estruturais nas plantas, dentre elas se destacando: aumento na suculência; modificações no número e no tamanho dos estômatos; espessamento da

cutícula; precocidade no surgimento de lignificação; inibição da diferenciação das células; modificações no diâmetro e número dos vasos xilemáticos (Waisel, 1972 e Strogonov, 1962 citados por Poljakoff-Mayber & Gale, 1975). Embora seja praticamente impossível se enumerar um quadro completo dada a grande quantidade de espécies estudadas na literatura mundial, é importante salientar que as modificações que ocorrem nas plantas resultantes do incremento da salinidade, são fundamentais para diferenciações em populações vegetais na ocupação dos ambientes salinos.

Topofunção ou Toposequência: Uma topofunção pode ser representada pela expressão:

$$l, s, v, a = f(r)_{cl, \varnothing, p, t} \quad (1.13)$$

designa uma topofunção. Talvez seja essa a mais importante relação funcional para desenvolvimento dos solos afetados por sais. Isso porque, mesmo em condições de umidade elevada na atmosfera, a salinidade pode se desenvolver quando o solo se encontra em

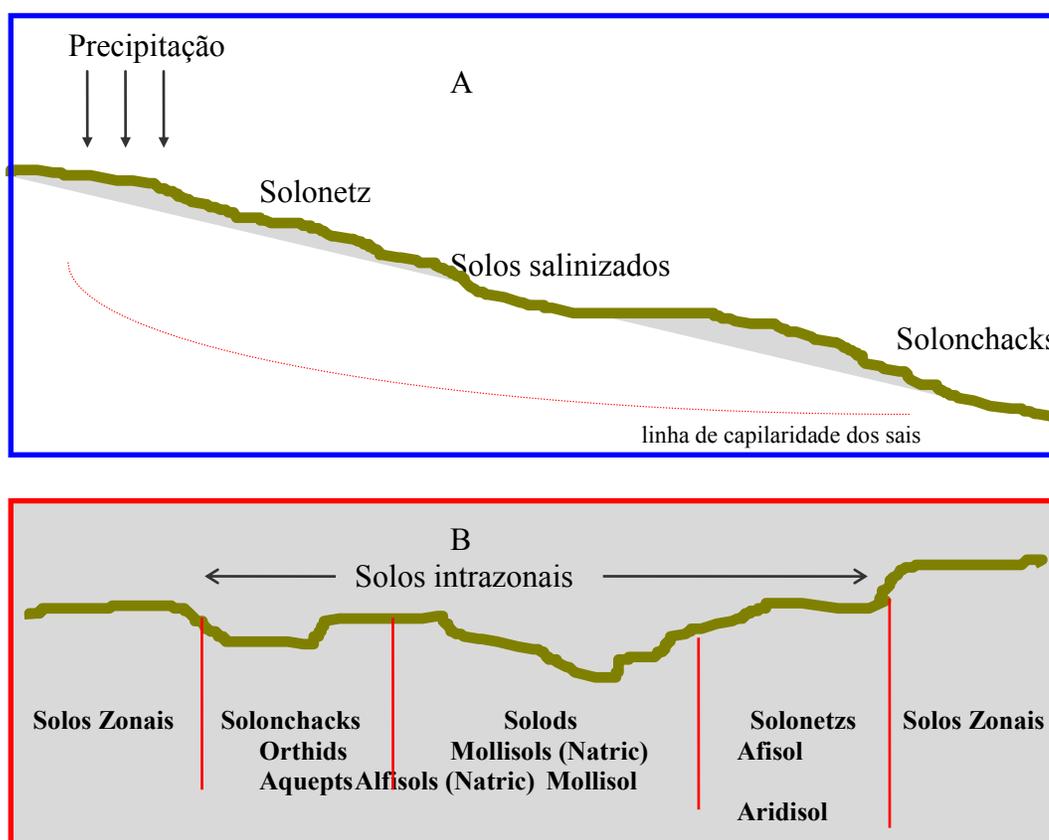


Figura 1.6 Influência do relevo no desenvolvimento de solos salinos (A - numa toposequências; B - em uma paisagem depressionada)

condição de relevo que não permita a percolação da água e lixiviação dos sais no perfil. No caso apresentado na Figura 1.6, verificamos que os três grupamentos básicos de solos afetados por sais se desenvolvem em condições específicas de relevo, como uma consequência das modificações nas condições de drenagem dos solos. Uma irrigação,

sem drenagem eficiente, poderá induzir a salinidade no solo, e, dependendo das condições de relevo, a situação pode se agravar e ter caráter irreversível a curto prazo. No caso dos chamados *Solos Zonais* (Podzólicos - Alfisols e Ultisols; Latossolos - Oxisols e solos menos desenvolvidos como os cambissolos - Inceptisols), a salinidade dificilmente se estabelecerá, posto que no período das águas, quando a taxa de precipitação pluviométrica supera a evapotranspiração potencial, tem-se o incremento na lavagem dos sais que por ventura se acumulem na superfície do solo, proveniente de águas de má qualidade. No entanto é importante salientar, que, em culturas como o melão, água de má qualidade (RAS, variando de 6,9 a 15,53 (mmol/l)^{1/2} e CE_{es} entre 2,7 e 6,0 dS/m, ao longo do ano) diminuiu o rendimento da cultura, mesmo em Areias Quartzosas Álicas (Quartzipsamentos) na região de Mossoró, RN (Dantas, 1993), e em mais de 3 anos de secas consecutivas, a água (chuvas e irrigação) não foi suficiente para eliminar os sais da área de influência do sistema radicular da cultura irrigada por gotejamento (sistema de emissores tipo *by wall*). Mesmo nesses solos de boa drenagem o processo de salinização estabeleceu-se. O relevo nesse caso, é decisivo para a acumulação de água no perfil do solo, e, conseqüentemente, dependendo das variações sazonais da temperatura, pluviometria, ventos, etc, o processo de halomorfismo pode se estabelecer, produzindo solos com diferentes níveis de restrições ao desenvolvimento das plantas cultivadas. No nordeste brasileiro os solos afetados por sais, naturalmente ocorrem em condições topográficas que favorecem a drenagem deficiente (como mostrado na Figura 1.6), e, muitas vezes a indução da salinidade decorre da irrigação mal conduzida e/ou com águas de qualidade duvidosa (ricas em sais - CE superior a 0,75 dS/m, carbonatos ou bicarbonatos, e sodicidade elevada - RAS acima de 18,0 (mmol/l)^{1/2}). Outro fator importante na indução da salinidade em ambientes de drenagem deficiente é aplicação de adubos com efeito salino elevado tais como cloreto de potássio, nitrato de amônio e nitrato de sódio. O uso desses insumos com águas de qualidade duvidosa para a irrigação, podendo induzir um incremento da pressão osmótica na solução do solo, prejudicando, muitas vezes até mesmo a germinação das sementes e o desenvolvimento de plantas ainda muito jovens. Tais incrementos de salinidade podem afetar o rendimento da cultura no final do ciclo de cultivo, embora não cheguem a prejudicar o solo por longos períodos quando houver chuva suficiente para lixiviar os sais em excesso. No caso dos solos classificados como intrazonais (Classificação Americana pre-60), é importante salientar que os intrazonais apresentados na Figura 1.6 são bastante expressivos no semi-árido do nordeste brasileiro. Deve-se, ainda, levar em consideração a grande ocorrência de Planosols (Aqualfs e Albolls) na citada região, que têm importância econômica na agricultura, principalmente pelo cultivo de algodão arbóreo em épocas mais remotas da economia nordestina.

Litofunção ou Litosequência: Uma litofunção ou litosequência é dada pela expressão:

$$l, s, v, a = f(p)_{cl, \emptyset, r, t} \quad (1.14)$$

Essa expressão indica que, dependendo do tipo de material de origem, a salinidade pode se desenvolver com maior ou menor intensidade. Os depósitos de evaporitos marinhos têm recebido atenção especial nos estudos relacionando a influência dos materiais de origem na gênese de solos afetados por sais. Halita, silvita, anidrita (CaSO₄) polihalita, dentre outros, são minerais comuns nesses depósitos litorâneos. Em sedimentos lacustres

são comuns incidências de carbonatos alcalinos, principalmente de sódio. Em condições de elevada dinâmica nas variações do potencial de oxi-redução e ricos em enxofre e ferro, Donner & Linn (1977) enfatizam a importância que têm os minerais jarosita e gipsita, em ambientes influenciados pelos depósitos influenciados pela água do mar. Nesse caso, a atuação de microorganismos *Desulfovibrios* (baixo potencial de oxidação) e *Thiobacillus* (alto potencial de oxidação) é fundamental para que as transformações no enxofre ocorram, para precipitação de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (gipsita) e $\text{KFe}_3 \cdot (\text{OH})_6 \cdot (\text{SO}_4)_2$ (jarosita) ou $\text{NaFe}_3(\text{OH})_6 \cdot (\text{SO}_4)_2$ (natrojarosita). É evidente que em condições comparáveis de clima (cl), organismos vivos (\emptyset), topografia ou relevo (r) e tempo (t), materiais de origem ricos em minerais primários sódicos e calco-sódicos, podem induzir naturalmente o processo pedogenético da salinização. Souza et al. (1995), observaram que a grande intensidade de solos afetados por sais em diferentes bacias hidrográficas do nordeste brasileiro estavam associados à coberturas geológicas do pre-cambriano de rochas ricas em minerais. Oliveira e Resende (1990) verificaram que em difratogramas de raios-x em pedomateriais de sedimentos depositados pelas águas torrenciais das aluviões do Rio Pinranhas-Açu, haviam variados *picos* de minerais primários e secundários ricos em sódio. Plagioclásios sódicos na fração silte da enxurrada em momento de pico de máximas vazões foram observados. Na fração argila foram constatadas ocorrências de halita, caulinita, alusita hidratada, ilita e calcita. Moreira-Nordeman (1983), no entanto, atenta para o fato de que a composição do sedimento produzido por um curso de água é uma função do tempo e das descargas produzidas pelo mesmo. A presença de minerais como halita, ilita e interestratificados de ilita/smectita na fração argila do Rio citado acima, indica o potencial que as águas das aluviões têm para produzir incrementos nos teores de sódio e potássio trocáveis no perfil do solo.

Em áreas onde há drenagem suficiente, mesmo em materiais de origem ricos em minerais alcalino-terrosos e alcalinos (Na, K, Mg, Ca) é importante salientar que o grau de afinidade desses íons com a fração sólida (série liotrópica), determina o grau de intensidade com que esses elementos são removidos do sistema pela lixiviação. Em pedofomas com declives mais íngremes, os elementos alcalino e alcalino-terrosos são removidos do sistema pela erosão e escoamento superficial da água da chuva. Em ambos os sistemas mencionados, há uma tendência de acumulação de elementos da fase residual do intemperismo (Al, H, Fe) e desenvolvimento de solos com problemas de acidez, que é o outro oposto do processo pedogenético do halomorfismo.

Diante do exposto conclui-se que tanto em materiais de origem com reação alcalina (carbonatos e halita) como em ambientes ácidos (sulfatos e sulfetos) - solos tiomórficos, pode ocorrer o problema da salinidade, dependendo das oscilações nas condições de drenagem, concentração de carbonatos, influência do refluxo das marés etc. Nesse caso, os solos afetados por sais são originados a partir dos sedimentos inconsolidados dos deltas dos rios, mapeados geralmente como *solos indiscriminados de mangues*, caracterizados e descritos em BRASIL (1971).

Cronofunção ou Cronosequência: Cronofunção ou cronosequência é dada pela expressão:

$$l, s, v, a = f(t)_{cl, \emptyset, r, p} \quad (1.15)$$

onde se pretende dizer que, em condições comparáveis de clima, organismos vivos, relevo e material de origem, as características de um solo, dentro de uma paisagem, têm uma relação direta com o tempo (geológico) e o desenvolvimento do perfil associado com as transformações mineralógicas em decorrência do avanço do grau de intemperismo e escala de entropia do sistema (maturidade). Assim, materiais de origem antigos podem apresentar solos jovens (perfil pouco desenvolvido) na paisagem, bem como materiais de origem mais recentes cronologicamente podem exibir solos com maturidade mais avançada, dependendo do processo pedogenético predominante. Os solos afetados por sais, como foi visto, na sua grande maioria estão relacionados aos sedimentos recentes (Holoceno), embora se registrem solos como os *solonetz solodizados* e *planossolos solódicos* incrustados a paisagens geologicamente associadas com o Pré-Cambriano (gnaisse e granitos) dos ambientes semi-áridos do Polígono das Secas no Nordeste brasileiro.

Em termos de maturidade, os solos afetados por sais poderiam ser agrupados na seguinte ordem crescente: Solos salinos (crostas) < Solos salinos de mangue < Solonchacks < Solonetz < Solodi

Resende et al (1995) apresentam a seguinte escala de melhoria nas condições de drenagem (maior lixiviação) dos solos afetados por sais:

Solos salinos ⇒ Solonetz ⇒ Solonetz-solodizado ⇒ Solodi.

Em que, segundo os autores, ocorre maior iluviação (translocação) de argila do horizonte A para o horizonte B no solonetz, em razão do Na que é um dispersante. E ainda o pH é máximo no Solonetz por causa do Na e mínimo no Solodi, devido ao íon H^+ proveniente dos humatos. Os solos salinos têm reação intermediária entre a do Solonetz e Solodi.

1.5 SALINIZAÇÃO PRIMÁRIA E SECUNDÁRIA

O halomorfismo naturalmente induzido ao solo é consequência, como já foi visto, de processos pedogenéticos específicos. A concentração salina da solução do solos, antes da ação antrópica, ou em um instante “t”, é definida como salinização primária. A intensidade e efeitos da salinização primária dependem basicamente das condições edafoclimáticas. Climas áridos e semi-áridos, com drenagem deficiente, e águas sub-superficiais ricas em sais solúveis, induzem geralmente o processo de halomorfismo. Por outro lado, a salinização, pode se estabelecer, até mesmo em ambientes onde previamente os teores de sais tóxicos eram abaixo do limite de tolerância das plantas cultivadas. A essa salinização, decorrente quase sempre do manejo inadequado do solo e da água, dá-se o nome de salinização induzida ou *salinização secundária*. Em alguns casos, a salinização secundária é responsável por perdas irreparáveis na qualidade de vida no solo, tornando estéréis grandes extensões de terras cultivadas. Assim sendo, águas de qualidade duvidosa (com elevados riscos de salinidade e sodicidade), adubos com elevado índice salino (cloreto de potássio, nitrato de sódio ou salitre do Chile, nitrato de amônio), drenagem ineficiente dentre outros, são fatores que podem acelerar o processo de salinização secundária. Carter (1975) atribui à irrigação uma das principais causas da salinização induzida. A concentração de sais na água de irrigação, dependendo da taxa de evapotranspiração de um

agrossistema, pode aumentar de 4 a 10 vezes em apenas 3 a 7 dias após cessada a irrigação (Peterson, citado por Carter, 1975). Desse modo se pode inferir que mesmo com águas com uma composição salina original média, a salinidade induzida pode se estabelecer.

Nesse particular, especial atenção deve ser dada à qualidade da água de irrigação. Águas com elevada salinidade e riscos de sodicidade podem percolar no solo, e, se as condições de drenagem não forem eficientes, contribui para elevação do lençol freático, ascensão capilar e precipitação dos sais na superfície do solo. Shalhevet & Kamburov, (1976) descrevem o processo de percolação de água no solo, infiltração e perdas para a atmosfera devidas ao processo de evapotranspiração, como, em 5 estágios a saber: 1) movimento de vários constituintes no sentido descendente do perfil do solo, durante a infiltração e evaporação; 2) concentração da solução do solo, resultante da redução do conteúdo volumétrico de água devida à evaporação e a conseqüente acumulação de sais; 3) precipitação dos constituintes da solução do solo, ao atingir uma concentração crítica; 4) troca de cátions e alterações na permeabilidade do solo; e 5) intemperização solubilização de minerais e e sais. Segundo os autores há um interdependência entre os cinco estágios supra mencionados.

Há contudo, uma fração de lixiviação (FL) que controla o processo de acumulação de sais no perfil ou na superfície do solo. Em outras palavras, FL controla a acumulação de sais no solo, a precipitação e solubilização dos sais, o intemperismo dos minerais secundários no solo, facilitando as reações de troca de cátions entre a solução e a fração argila do solo. Ou seja, se durante a irrigação forem atendidas as condições mínimas de *lixiviabilidade* do solo, a salinização secundária não deverá se estabelecer facilmente. Uma drenagem adequada é essencial para controlar a salinidade do solo, isso porque uma das causas primordiais da salinização secundária é a elevação do lençol freático com o conseqüente movimento de água para a superfície do solo. É evidente que a prática da drenagem é de elevados custos financeiros, devendo ser utilizada com parcimônia nos empreendimentos agrícolas, principalmente quando o processo de salinização se encontra avançado.

A fração de lixiviação supra mencionada é, segundo Rhoades & Loveday (1990), a maneira prática de como se pode eliminar os sais da zona radicular, desde que se pratique a drenagem de forma eficiente. Segundo os autores a quantidade de água aplicada ao solo deve ser sempre superior à quantidade de água evapotranspirada pela cultura a ser implantada. Uma das formas de avaliar o nível da salinidade induzida é através do balanço de sais no perfil do solo a uma profundidade conhecida. O Balanço de sais por unidade de área é dado pela e expressão sugerida por Carter (1975):

ENTRADAS

$$S_p + S_i + S_r + S_d + S_f$$

SAÍDAS

$$S_{dw} + S_c + S_{ppt}$$

onde,

S_p - sais provenientes das águas das chuvas que precipitam sobre a área;

S_i - sais contidos na água de irrigação, adicionado sobre o solo;

S_r - sais residuais presentes na solução do solo;

Sd - sais dissolvidos, provenientes do processo de solubilização dos minerais;
Sf - sais provenientes dos adubos aplicados ao solo durante o cultivo;
Sdw - conteúdo de sais nas águas de drenagem da área específica;
Sc - sais absorvidos e exportados pelas culturas;
Sppt - sais precipitados quimicamente no solo.

Dependendo das condições atmosféricas e proximidades do litoral **Sp** pode ser considerado desprezível. Essa componente é importante em áreas próximas dos desertos salinos onde as ventanias costumam levantar poeira fina que pode conter quantidades apreciáveis de sais que podem causar problemas às plantas cultivadas. Na região de Mossoró, Rio Grande do Norte, ventos nordeste, em épocas de estiagens prolongadas, podem contribuir para acumulação de sais na poeira que precipita sobre grande parte da área durante os meses de outubro e novembro, com maior intensidade. O valor de **Si** depende da qualidade da água usada na irrigação. **Sr** pode ser elevada dependendo do material de origem dos solos, embora seja geralmente muito baixa. **Sf** geralmente é baixa, podendo ser ignorada, exceto em casos onde a fertirrigação é empregada com altas taxas de evapotranspiração potencial e cultura de ciclo curto onde são efetuadas mais de uma colheita anual. **Sdw** é a componente de saída de maior relevância no solo, particularmente, segundo Carter (1975), onde as águas de irrigação são de inferior qualidade e há necessidade de lixiviação. **Sc** pode ser ignorada para a maioria das áreas irrigadas porque é pequena a taxa de exportação de sais pelas plantas cultivadas onde se emprega a prática da irrigação. **Sppt** é pequena porque se há água em excesso passando através do solo não aumenta a concentração de sais de modo a facilitar a precipitação. **Sppt**, no entanto, pode aumentar quando sais de baixa solubilidade como carbonato de cálcio e sulfato de cálcio precipitam, permanecendo no solo. Esses sais, quando precipitados no solo têm pouco ou nenhum efeito sobre o crescimento das plantas.

Processos antropogênicos responsáveis pela salinização: Registros históricos evidenciam que grandes civilizações residentes no baixo curso do Rio Eufrates, como a dos Sumerianos, se extinguíram em função, além de outros motivos, pela indução da salinidade em suas antigas terras férteis da várzeas da planície aluvional da Mesopotâmia. Em termos contemporâneos, no entanto, o avanço da salinidade tem sido registrado em casos como nos vales do Rio Vermelho e São Joaquim, nos Estados Unidos, planície do Mar de Aral na antiga União Soviética, além dos registros da salinidade induzida em extensas áreas do nordeste semi-árido do Brasil. Antigos ou recentes, no entanto, todos os casos relatados convergem no sentido de que a evolução da salinidade induzida pelo manejo inadequado do solo e da água, pode contribuir para inviabilizar investimentos em áreas inicialmente com grandes potencialidades agrícolas. Richards (1995) estima que cerca de 10% das áreas cultivadas do mundo estejam afetadas por sais. Dentre estas, segundo o autor, há uma elevada proporção de salinidade induzida em terras de regiões áridas e semi-áridas do Globo Terrestre, o que tem comprometido sobremaneira a produção de alimentos nessas áreas. A salinidade induzida em áreas do semi-árido nordestino, por exemplo, tem trazido problemas de produtividade das plantas cultivadas em extensas áreas cultivadas com hortaliças, algodão e frutíferas em geral. Tais efeitos contribuem para desorganização da economia secularmente débil da região, e quando ocorre em áreas de projetos de colonização do Nordeste, conhecidos como “Perímetros Irrigados” do semi-árido, os

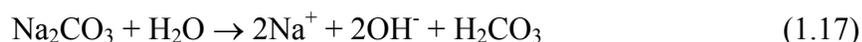
efeitos sociais negativos se tornam mais evidentes. Estudos científicos e algumas experiências localizadas têm demonstrado, no entanto, que práticas convencionais de redução dos problemas decorrentes da salinidade, são onerosas, e na maioria das vezes, inviáveis do ponto de vista econômico. Práticas alternativas de convivência com os desvios advindos da salinidade, no entanto, ainda não estão disponíveis em grande escala para que se possa avaliar a sua rentabilidade em termos econômicos e efeitos na melhoria da qualidade de vida no solo. Espécies adaptadas aos extremos de salinidade, técnicas de melhoramento e de engenharia genéticas no entanto, em futuro próximo, podem se constituir em alternativas viáveis para se conviver com os problemas da salinidade induzida e, incorporar os solos salinizados ao processo de produção agrícola.

Técnicas de melhoramento genético de *per si*, não reduzirão o avanço das áreas de terras salinizadas. No entanto, práticas combinadas com uso de plantas perenes e de sistema radicular profundo, associado com emprego de forrageiras tolerantes e exportadoras de sais, podem contribuir para, se não conseguir reduzir a salinidade, pelo menos, servirão para manter a superfície do solo coberta, durante maior parte do ano, diminuindo assim a velocidade de avanço da salinidade. No caso das plantas perenes, a maior contribuição será no sentido de manter o lençol freático abaixo de um nível crítico e sujeito à ascensão capilar, tanto nas áreas de solos afetados por sais quanto em áreas de recarga do lençol freático. O emprego de plantas forrageiras seria uma prática ideal para os períodos de entressafras agrícolas, para manter o solo coberto, evitando as elevadas taxas de evaporação da água da sua superfície.

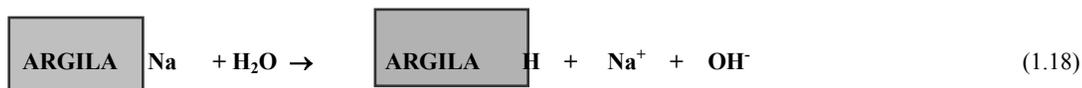
1.6 SODIFICAÇÃO

O sódio no solo acumula-se, imprimindo ao solo o caráter alcalino. Para que o mesmo se acumule, no entanto, é necessário que haja drenagem deficiente no perfil do solo, e que haja elevada taxa de evapotranspiração no ambiente. O processo pedogenético da *sodificação* é resultante da acumulação excessiva de sódio no complexo de troca do solo. Os solos formados à partir da sodificação são denominados de *solos sódicos*, *solods*, *solonetz* ou *solos alcalinos escuros*. Tan (1982) afirma que muitos solos sódicos têm reação neutra, enquanto alguns solos solonéticos têm reação ácida. No semi-árido do nordeste brasileiro, são comuns *solonetz solodizados* com reação ácida no horizonte A e reação alcalina no horizonte B *solonético*. Nos solos sódicos com reação neutra é comum a existência de NaCl precipitado.

O pH próximo de 10,0 (solos de reação fortemente alcalina) ocorre quando há hidrólise dos íons Na⁺ ou de compostos como o carbonato de sódio, como se segue:



O íon OH⁻ produzido será responsável pelo aumento no pH do solo, enquanto o íon Na⁺ vai fazer parte do complexo de troca do solo. Posteriormente a hidrólise poderá ser responsável pelo incremento do pH, caso seja feita a remoção dos sais solúveis do solo, apenas pela aplicação de água, conforme ilustrado no esquema a seguir:



Desse modo, a alcalinização se torna extrema quando há uma lixiviação dos sais dos solos sódicos, aumentando o efeito tóxico do sódio, que se acentua, dada a sua presença na solução do solo

1.7 EXTENSÃO GEOGRÁFICA

No Brasil

Estima-se que no Brasil, a área total de solos afetados por sais é superior a 4.000.000 ha (Szabolcs, 1989). No Nordeste brasileiro, Pereira et al (1985) estimam em mais de 9.000.000 a área total ocupada pelos solos geneticamente salinos (planossolos, solonetz, solonchack e outros).

Em termos geográficos, praticamente em toda a costa brasileira, a exceção dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, ocorrem solos salinos associados aos borrifos marinhos e influenciados pela tábua das marés. Encontram-se em geral, circundados por dunas e solos *indiscriminados de mangues*. Não sendo, desse modo, o clima, fator isolado e diretamente responsável pela ocorrência de solos halomórficos no território brasileiro. Altitudes, quase sempre inferiores a 10 m em relação ao nível do mar, drenagem intermitente, proximidade do lençol freático com elevada salinidade (devidas às regressões e transgressões marinhas) resultam no processo pedogenético da salinização nessas áreas litorâneas.

Diante do exposto, depreende-se que os solos salinos ocorrem no Brasil, desde regiões climaticamente mais úmidas até áreas de aridez acentuada. Na faixa litorânea, no entanto, esses solos se desenvolvem a partir de sedimentos inconsolidados do Holoceno, onde o relevo não permite uma boa drenagem, mesmo com materiais de textura arenosa, porém sob influência da água das marés. Nesses pedocossistemas ocorrem associações com *psamobiotomas* (solos arenosos), onde se desenvolvem as associações com Areias Quartzosas Marinhas (Quartzipsaments), solos Podzol Litorâneos (Tropaquods). Solonchack Solonéticos (Salorthids) também ocorrem em associações com solos salinos indiscriminados de mangues, como se pode visualizar no Mapa de Solos do Brasil (BRASIL, 1981).

Adentrando-se para o continente, em regiões semi-áridas do Polígono das Secas do Nordeste brasileiro, são comuns ocorrências de solos com caráter sódico e solódico, associados a materiais de origem do pré-cambriano como gnaisses e granitos. Nesses domínios morfoclimáticos ocorrem incidências de Solonetz Soldizados (Natrargids) e Planossolos Solódicos (Natrixeralfs), com o substrato de vegetação do tipo caatinga hiperxerófila. A salinização induzida pelo homem é mais perceptível nesses ambientes de elevada taxa de evapotranspiração potencial e baixa precipitação pluviométrica no curso do ano. O regime de umidade do solo é predominantemente *aridic*, com regime de temperatura na secção de controle predominando *isohyperthermic* ao longo do ano. A salinidade induzida ocorre em decorrência da irrigação praticada nessas áreas, onde o controle da drenagem não é feita ou feita de forma ineficiente. No nordeste semi-árido, as

maiores incidências de áreas salinizadas com salinização secundária, se concentram nas terras mais intensamente cultivadas com o uso da irrigação nos chamados Perímetros Irrigados. Chapman (1975) estimou em mais de 25.000 ha a área total salinizada nessa região do Brasil. A grande variabilidade espacial nos teores de sódio trocável no solo e a proximidade do lençol freático em relação à superfície do solo, tem sido um dos entraves ao uso da irrigação e da agricultura com alto nível de insumos nessas terras. Por outro lado a agricultura familiar (níveis de manejo A e B), secularmente praticada nessas áreas características de planícies aluvionais não tem demonstrado incremento da salinidade induzida (Oliveira & Resende, 1990).

Nas outras partes do mundo

Atualmente, há cerca de 237.000.000 ha de áreas irrigadas na Terra. Desta, estima-se que 30 milhões estejam severamente afetadas por sais. Estima-se ainda que a taxa de perdas de terras com irrigação, em consequência da elevação do lençol freático, e consequente salinização, é de cerca de 1.500.000 ha anualmente (FAO, 1993). Grande parte dessa área abandonada decorre da salinização secundária, devido as atividades antrópicas com agricultura irrigada. Por outro lado, Szabolcs, 1994 apresenta um tendência geral da salinização secundária em decorrência da irrigação. Dos dados apresentados pelo autor, foi ajustado uma equação linear simples cujos parâmetros são apresentados a seguir:

$$y = 0,7005.x - 1,74 \quad (r^2 = 0,9948) \quad (1.19)$$

onde y é a área com salinização secundária (10^6 ha) e x a área irrigada mundial (10^6 ha). A série histórica considerada para tomada de dados foi de 1800 a 1993. Embora os coeficientes do modelo apresentado em 1.19, simulem condições de tendência mundial, é importante salientar a dependências dessas variáveis, estimada pelo coeficiente de correlação de Pearson, cujo valor foi $r = 0,9974$.

Apesar de se constituírem ecossistemas com elevada capacidade de produção primária, os ambientes estuarinos e costeiros de um modo geral, apresentam problemas de salinização natural. Neles predominam espécies halofíticas, havendo, na sua grande maioria severas restrições ao uso dessas terras com agricultura convencional. Nas áreas continentais do Planeta, além de solos naturalmente salinos (consequência do processo pedogenético do halomorfismo), estima-se que nas últimas décadas o incremento na salinização secundária tem reduzido sobremaneira a capacidade de produção dessas terras. Chapman (1975) avalia o avanço da salinidade no mundo e apresenta um quadro geral das áreas de solos salinos. Segundo esse autor o continente australiano se destaca pela grande extensão de terras com problemas de salinização primária (ligada à gênese do solo). No Canadá, as maiores extensões de solos salinos ocorrem nas pradarias de Alberta e Sakatchewan, onde predominam sais de sulfatos de magnésio e sódio. Estima-se uma área total de 8 a 12 milhões de hectares de solos afetados por sais nessa região. Nos Estados Unidos os maiores problemas de salinidade advém de irrigação mal conduzida (sem drenagem eficiente), principalmente na bacia do Great Salt Lake, os vales da Califórnia (São Joaquim, Sacramento, Caochella, Imperial), a bacia de drenagem do Colorado e Rio Grande, além de partes das bacias do Columbia e do Missouri. Na região sudoeste estima-se que mais de 120.000 ha foram salinizados em decorrência da drenagem deficiente. Na América do Sul, levantamento de Chapman (1975) dá destaque especial às áreas salinizadas do Peru,

Argentina e Chile. As áreas chilenas afetadas por sais, decorrem, segundo o autor, da salinização primária, assim como a região de Salinas Grandes na Argentina. Por sua vez, no Peru e Equador, a salinização se estabeleceu, como consequência da irrigação sem a devida drenagem. Na Europa, extensas áreas de solos afetados por sais ocorrem na Escócia e Inglaterra (mais de 16.000 ha). Na Romênia, estima-se em torno de 300.000 ha e, na Hungria, na Grande Planície Húngara, cerca de 500.000 ha. No continente africano o Egito se destaca dos demais países por apresentar cerca de 121.500 ha. Essa salinização é proveniente do grande esforço canalizado para irrigação ao longo do rio Nilo. É importante ressaltar ainda as grandes extensões de terra salinizadas na África Central e ainda os trabalhos desenvolvidos tanto em Marrocos quanto em Israel, no sentido de viabilizar o uso de áreas de solos afetados por sais, com culturas em geral. A Tabela 1.2 mostra a situação do avanço da salinidade no Mundo, no final da década de 1980. Verifica-se que Austrália, Ásia Central e América do Sul lideram em termos de área com solos afetados por sais. Na América do Sul, salientam-se Argentina e Paraguai com 85.612.000 e 21.902.000 ha respectivamente. Essas áreas totais corresponde a 66 % e 17% da área total de solos afetados por sais no Continente sul americano.

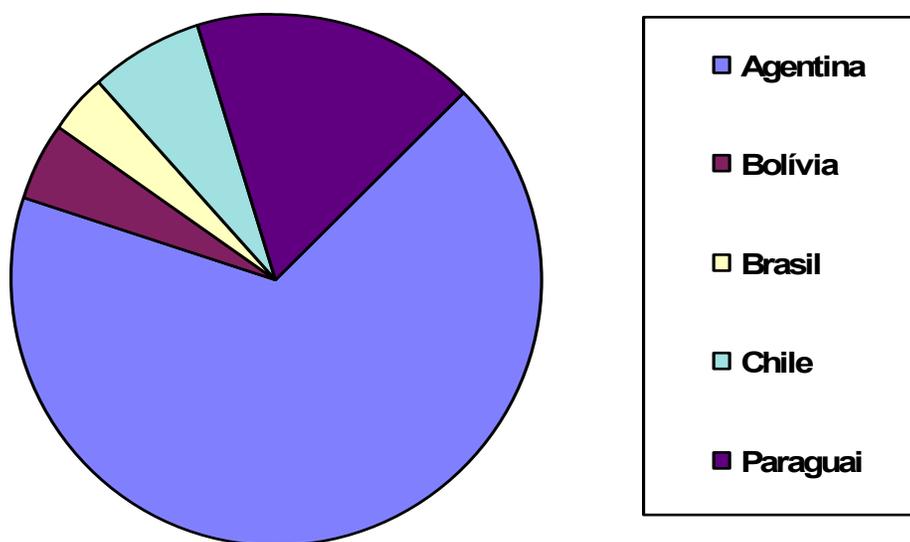


Figura 1.7. Distribuição da área de solos afetados por sais em países da América do Sul (daptado à partir dos dados originais de Szabolcs, 1989).

Tabela 1.2 Situação mundial dos solos afetados por sais no final da década de 1980.

Regiões	Países	Solos afetados por sais (10 ³ há)
América do Norte		15.755
	Canadá	7.238
	Estados Unidos	8.517
México e América Central		1.965
	Cuba	316
	México	1.649
América do Sul		129.163
	Argentina	85.612
	Bolívia	5.949
	Brasil	4.503
	Chile	8.642
	Colômbia	907
	Equador	387
	Paraguai	21.902
	Peru	21
	Venezuela	1.240
África		80.538
	Etiópia	11.033
	Chade	8.267
	Egito	7.360
	Nigéria	6.502
	Botswana	5.769
	Somália	5.602
	Kênia	4.858
	Sudão	4.874
	Tanzânia	3.537
	Argélia	3.150
Ásia do Sul		84.838
	Iran	27.085
	Índia	23.769
	Paquistão	10.456
	Iraque	6.726
	Arábia Saudita	6.002
	Afeganistão	3.101
	Bangladesh	3.017
Ásia Central e Norte		211.686
	União Soviética	170.720
	China	36.658
	Mongólia	4.007
Ásia Sudeste		19.938
Austrália		357.340
Europa		50.804
Total	-	954.832

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGASSI, M. *Soil erosion, conservation, and rehabilitation*. New York, Marcel Dekker, 1995. 315 - 352 (402p)
- ARAR, A. L'irrigation et le drainage dans leurs rapports avec la salinité et la saturation des sols par l'eau. In FAO. *La salinité - seminaire de Bagdad*. Rome, ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION, 1972. 272p
- ASHBY, M. Nature of Plant Communities. In. _____ *Introduction to Plant ecology*. Great Britain, Macmillan, 1971. 176 - 196 (287p)
- BIKERLAND, P. W. *Pedology, weathering, and geomorphological research*. New York, Oxford University Press, 1976. 285p.
- BRASIL, Ministério da Agricultura. *Mapa exploratório-reconhecimento de solos: estado do Rio Grande do Norte*. Recife, SUDENE, 1968 (Mapa col. 94 x 84 cm, Esc. 1: 500.000)
- BRASIL, Ministério da Agricultura. *Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Norte*. Recife, SUDENE, 1971. 531p.
- BRASIL, Ministério da Agricultura. *Mapa de solos do Brasil*. Rio de Janeiro, EMBRAPA, 1981 (Mapa col. 124,5 x 98,5 cm, Esc. 1:5.000.000)
- CHAPMAN, V.J. The salinity problem in General, Its Importance, and Distribution with Special Reference to Natural Halophytes. In POLJAKOF-MAYBER, A. & J. GALE. . *Plants in saline environments*. New Yor, Springer-Verlag, 1975. 6 - 24 (313p)
- DANTAS, M. M. *Efeito residual da fertirrigação na fertilidade de solos distróficos cultivados com melão. (Cucumis melo L.)*. Mossoró, Escola Superior de Agricultura de Mossoró, RN, 1993. 50p (Monografia de Curso de Graduação)
- DONEEN, L.D. Water quality for irrigated agriculture. In POLJAKOFF-MAYBER. *Plants in saline enviroments*. New York, Springer-Verlag, 1975. 56 - 76 (213p)
- DONNER, H. F. & W. C. LINN. Carbonate, halide, sulfate, and sulfide minerals. In DIXON, J. B. *Minerals in soil environments*. Madison, Soil Science Society os America, 1977 75 - 98 (948p)
- DORAN, J. W. & T. B. PORKIN, Defining and assessing soil quality. In. _____ *Defining soil quality for a sustanable enviroment*. Madison, Soil Science Society of America, 1994. Pp 3 - 22. (SSSA Esp. Pub. No. 35)
- CARTER, D. I. Problems of salinity in agriculture. In POLJAKOF-MAYBER, A. & J. GALE. *Plants in saline enviroments*. New York, Springer-Verlag, 1975. 25-35 (213p)
- FAO. *The state of food and agriculturæ (SOFA) 1993*. Homepage da FAO na Internet, 1997. 48p.
- FAO, Unesco. *Irrigation, drainage and salinity: an international source book*. London, Hutchinson/FAO/UNESCO, 1973. 510p.
- FITZPATICK, E. A. Properties of soil horizons. In. _____ *Soils - their formation, classification and distribution*. London, New York, Longman, 1983. 81 - 119 (353p)
- HOLANDA, J. S. *Manejo de solo salino-sódico na região do Baixo Açu, RN*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1996. 84p Tese (doutorado)
- JENNY, H. *The soil resource: origin and behavoir*. New York, Springer-Verlag, 1980 377p.

- KEREN, R. Reclamation of sodic-affected soils. In. AGASSI, M. *Soil erosion, conservation, and rehabilitation*. New York, Marcel Dekker, 1995. 353 - 374. (402p)
- LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Paulo, Editora Pedagógica e Universitária, 1986. 319p
- McGILL, Soil sustainability: microorganisms and electrons. In. XIII CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO. Águas de Lindóia, 4 a 8 de agosto de 1996. (CD-ROM Conferências p. 1-22)
- MOHR, E.C. J; F.A VAN BAREN & J. VAN SCHUYLENBORGH. *Tropical soils: a comprehensive study of their genesis*. Paris, Ichtiar Baru, 1972. 467p.
- MOREIRA-NORDEMANN, L. M. *Determinação da velocidade de alteração e estudo da salinização de águas em região semi-árido do Nordeste*. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1983. 53p (Publicações N^o INPE 2654-PRE/267)
- OLIVEIRA, M. de, Os solos e o ambiente agrícola no sistema Piranha-Açu, RN. Viçosa, Impr. Univ. UFV, 1988. 312p (Tese de Doutorado)
- OLIVEIRA, M. de & M. RESENDE. Los suelos aluviales eutroficados (fluvents) de Baixo Açu y la adopción de agricultura de altos insumos: problemas y perspectivas. In XI CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO. La Habana, Cuba, 11 a 17 de marzo de 1990. (Programa y resúmenes, 246p)
- OSTER, J. D.; I. SHAINBERG & I. P. ABROL. Reclamation of salt-affected soil. In OLIVEIRA, M. de & M. RESENDE. Los suelos aluviales eutroficados (fluvents) de Baixo Açu y la adopción de agricultura de altos insumos: problemas y perspectivas. In XI CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO. La Habana, Cuba, 11 a 17 de marzo de 1990. (Programa y resúmenes, 246p)
- PEREIRA, J. R.; C. R. VALDIVIESO & G. G. CORDEIRO. Recuperação de solos afetados por sódio através do uso de gesso. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, Brasília, 1985. Brasília, 1985. 85 - 105.
- POLJAKOFF-MAYBER, A & J. GALE. *Plants in saline environments*. New York, Springer-Verlag, 1975. 39 - 55 (213p)
- POLJAKOFF-MAYBER & J. GALE. Morphological and anatomical changes in plants as a response to salinity stress. In _____ *Plants in saline environments*. New York. Springer-Verlag, 1975. 97-117 (213p)
- RESENDE, M.; N. CURI; S.B. de REZENDE & G. F. CORRÊA. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. Viçosa, NEPUT, 1995. 304p
- RHOADES, J. D. & J. LOVEDAY. Salinity in irrigated agriculture. In: STEWEART, B. A & D. R. NIELSEN. *Irrigation of agricultural crops*. Madison, American Society of Agronomy, 1990. 1091 - 1142. (Agronomy Series, 30)
- RICHARDS, R. A. Improving crop production on salt-affected soils: by breeding or management? *Expl. Agric.* 31:395 - 408. 1995
- SHAINBERG, I. Salinity soils - effects of salinity on the physics and chemistry of soils. In POLJAKOFF-MAYBER & J. GALE. *Plants in saline environments*. New York. Springer-Verlag, 1975. 39-55(213p)
- SHALEVET, J. & J. KAMBUROV, *Irrigation and salinity: a world-wide survey*. New Dehli, INTERNATIONAL COMMISSION ON IRRIGATION AND DRAINAGE, 1976. 106p.

- SOUZA, A. R.; R. B. BATISTA; A. B. da SILVA; M. de OLIVEIRA & M. RESENDE. Plagioclásios calco-sódicos de solos do Nordeste: determinação por difração de raios x e implicações na sodificação. In XXV XONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Viçosa, Mg - 23 a 29 de julho de 1995. 271 - 273 (Resumos Expandidos, Vol. I, 551p)
- SZALBOLCS, I. *Salt-affected soils*. Flórida, Library of Congress, 1989. 274p
- SZABOLCS, I. *The state and perspective of soil salinity: a world-wide perspective of soil salinization*. POSTGRADUATE COURSE ON SOIL SALINITY, Valencia 3 - 8 october, 1994. 18p
- TAN, K. Soil Reaction. In _____. *Principles of Soil Chemistry*. New York, Marcel Dekker, 1982. 179-194 (267p)
- WALTER, H. *Vegetação e zonas climáticas - tratado de ecologia global*. São Paulo, Editora Pedagógica e Universitária, 1986. 325p
- YAGODIN, V. G. Chemical amelioration techniques. Application of lime and gypsum. In _____. *Agricultural chemistry*. Moscow, Mir, 1984. 180 - 230 (375p)
- ZONN S. V. Saline (halomorphic) soils. In. _____. *Tropical and subtropical soil science*. Moscow, Mir Publishers, 1986. 365-379 (422p).