

# capítulo 2

## Aptidão agrícola do solo

Laercio Duarte Souza  
Luciano da Silva Souza  
Francisco Alisson da Silva Xavier

### Introdução

O planeta Terra, após a sua formação há 4,5 bilhões de anos, tinha a superfície composta por rochas de composição química diversa que foram submetidas às ações da água, das variações de temperatura e do vento ao longo de milhares de anos, o que provocou fissuras, quebras e sua divisão em pedaços. A vida, na forma de organismos uni e multicelulares surgiu nos oceanos há 3,5 bilhões de anos, havendo a migração para a terra de algumas espécies de plantas que passaram a colonizar e também intemperizar as rochas. A evolução dessa intemperização, que viria a formar os solos, é resultado dos fatores: material de origem (tipos de minerais), clima (água, vento, radiação), organismos (flora e fauna), relevo (vales, montanhas), e tempo (para que as ações ocorram); em interação com os processos: acidificação, remoção, transporte e transformação do material. A relação entre os fatores e os processos de formação do solo determina a sua constituição e é denominada pedogênese.

As interações entre a hidrosfera (água), atmosfera (ar), biosfera (organismos) e litosfera (minerais) é que formam a pedosfera, que são os solos que cobrem a Terra (Lepsch et al., 2015). A formação dos solos e a sua evolução é um processo contínuo, sendo possível encontrar solos profundos



(mais antigos), ou rasos (mais jovens). A idade do solo é determinada pela formação e definição dos seus horizontes A, B e C, que são camadas com profundidade e espessura variável em cada solo, mas com parâmetros físicos, químicos e biológicos semelhantes. O solo, em termos básicos, é o material que vai da superfície até a rocha, ou até o cascalho em profundidade, havendo solos com 0,3 m a 1,5 m de profundidade na Caatinga e com 30 m a 50 m, ou mais, nos Cerrados, Mata Atlântica e Amazônia.

*“O solo é apenas a frágil casquinha de uma grande maçã.”*

## Evolução do solo

Na intemperização das rochas, que é o início da formação dos solos, já se inicia uma cobertura da sua superfície por líquens, algas e fungos interagindo com os minerais. Nessa evolução milenar, o solo estará sempre acompanhado por um sistema vegetal e animal na sua superfície que é extremamente adaptado a esta condição edafoclimática.

Após milhares de anos, quando houver desenvolvido seus horizontes em profundidade, estará coberto por uma flora e uma fauna que surgiram de forma natural e predominaram sobre as demais na cobertura do solo, sendo as mais capazes de manter e/ou melhorar as qualidades do solo para que possa sustentar esse bioma durante longo tempo.

Essa vegetação nativa e espontânea, em adaptação contínua e evolutiva com o solo e a fauna, formará ecossistemas capazes de permanecer por eras em equilíbrio nesse ambiente mantendo a sua preservação, como ocorre nos seis grandes biomas brasileiros: a Amazônia, o Cerrado, a Caatinga, a Mata Atlântica, o Pampa e o Pantanal.

Esse processo evolutivo, ao longo de eras geológicas, fez surgir milhares de espécies que se mantiveram ou foram extintas, geralmente por não

se adaptar às condições do ambiente e não poder alterá-lo. O bioma se mantinha e novas espécies surgiam. Entretanto, intervenções antrópicas como a remoção da vegetação nativa, utilizando o desmatamento e o fogo, para implantar um novo uso como os necessários cultivos agrícolas, gera um processo que é muito rápido na escala de tempo geológico e não permite a adaptação das espécies, fazendo-as desaparecer.

Historicamente as maiores intervenções antrópicas, ou as que mais vêm alterando o hábitat das diversas espécies, podem ser resumidas em:

- a) a descoberta do manejo do fogo 500 mil anos atrás pelo *Homo erectus*, um dos primeiros do gênero *Homo*.
- b) o abandono das atividades de caçador-coletor e o início dos trabalhos agrícolas pelo *Homo sapiens*, entre 9 mil e 13 mil anos atrás, um dos últimos do gênero, passando a remover florestas e alterar o uso do solo, diminuindo populações ou exterminando outras espécies da flora e da fauna.
- c) a revolução industrial, iniciada há 250 anos, que possibilitou maior exploração dos recursos naturais e ampliou a capacidade produtiva e o consumo, sendo atualmente uma ameaça à biosfera devido ao esgotamento e/ou degradação do solo, da água e da atmosfera.

A realidade é que o planeta Terra não aumenta de tamanho, mas a população humana não para de crescer, o que torna a disponibilidade de áreas para atender a demanda da produção agropecuária cada vez menor, mas com maior preço e acesso mais difícil, sendo previsível a escassez de solos adequados para esse uso em futuro próximo. Perspectiva que faz fundamental o aprendizado quanto ao uso e ao manejo conservacionista dos solos atualmente sob exploração, evitando destruir o que resta dos biomas naturais, utilizando as práticas adequadas e os fatores de produção necessários nesse sistema.

## O uso do solo

O uso do solo é definido pelo tipo de atividade que o ocupa, sendo as principais formas as instalações urbanas e rurais (agricultura, pecuária, floresta, entre outros). No uso urbano o solo é considerado como um substrato para instalar construções, o que impermeabiliza grande parte da sua superfície, impede a infiltração da água e a troca de gases com a atmosfera, medidas que praticamente eliminam a manutenção da biota e as atividades de produção do solo. O uso rural do solo, que envolve as atividades agropecuárias e florestais, utiliza plantas e animais em estreita interação e necessita preservar o solo e suas características como um fator da produção.

Na Tabela 1 estão as principais classes de uso do solo no Brasil, onde ainda predominam as florestas perenes (39%) e a área superficial com água que deve ser considerada alta (2,45%), o que é uma boa constatação graças a Amazônia, pois a Mata Atlântica tem apenas 3% a 5% do bioma ocupado por espécies originais e os rios e lagos na faixa litorânea apresentam problemas de vazão (INPE, 2013). A agropecuária está com 34%, o que também é um bom índice em relação a outros países agrícolas.

**Tabela 1.** Área das classes de usos e cobertura da terra do Projeto de Vegetação (ProVeg) do Brasil<sup>1</sup>.

Classe mapeada	Área mapeada (km <sup>2</sup> )	Superfície das áreas (%)
<b>Floresta perene</b>	3.428.570	38,86
<b>Cerrado</b>	1.161.220	14,37
<b>Floresta decídua</b>	195.604	5,33
<b>Caatinga</b>	299.073	3,46
<b>Campos tropicais / extratropicais</b>	75.086	0,85
<b>Floresta mista</b>	6.332	0,07

continua...

**Tabela 1.** Continuação.

<b>Classe mapeada</b>	<b>Área mapeada (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Superfície das áreas (%)</b>
<b>Área urbana</b>	20.323	0,27
<b>Agropecuária</b>	3.355.322	33,98
<b>Solo exposto</b>	37.954	0,35
<b>Água</b>	218.265	2,45

<sup>1</sup>Minerações: Não mapeadas. Ocupam pequenas áreas do meio rural, mas provocam grandes problemas ambientais. Fonte: INPE (2013).

No bioma Mata Atlântica, que abrange parte das regiões Sul, Sudeste e Nordeste, o processo de ocupação é o mais antigo do Brasil. Dessa forma, a quase totalidade das áreas propícias à agricultura, com relevo plano, profundidade e teor de nutrientes adequados e acesso às vias de transportes, estão sendo utilizados nas atividades agrárias (IBGE, 2016). No entanto, algumas mudanças no uso da terra vêm ocorrendo no Nordeste, onde áreas agrícolas (café e mamão) e pastagens estão sendo substituídas por silvicultura (eucalipto).

Processo semelhante ocorre no Mato Grosso do Sul, onde a silvicultura do eucalipto também está em expansão em função de um complexo industrial de celulose, para atender às demandas do mercado interno e principalmente externo (Sperotto, 2014). Esse Estado também está expandindo a área com cana-de-açúcar em substituição às pastagens (Rudorff et al., 2010).

No bioma Cerrado vem ocorrendo as maiores alterações no uso da terra, pois é onde avançam as maiores fronteiras agrícolas do país e a vegetação nativa e/ou pastagens têm sido substituídos por cultivos de soja, milho e algodão, principalmente no Centro-Oeste.

O bioma Amazônia, nas fronteiras com o Cerrado, sofre as suas maiores alterações no uso do solo, em função do avanço dessa fronteira agrícola

onde passa a predominar o plantio de soja, milho, e pastagens para pecuária bovina.

Nos biomas Pantanal e Caatinga as mudanças são menos intensas, se comparadas às outras regiões do país, o que pode ser explicado por aspectos como as especificidades de solo e clima, mas também por motivos econômicos e históricos (IBGE, 2016).

Essas alterações no uso do solo, como desmatamento ou renovação de pastagens para executar cultivos agrícolas, torna o solo mais susceptível à erosão. A conversão do solo sob floresta em solo sob cultivo aumenta as perdas do carbono orgânico do solo (COS) devido à maior mineralização e ao arraste do material por lixiviação (Wei et al., 2014), fazendo com que as perdas do COS cheguem de 30% a 40% em relação ao solo sob floresta (Li et al., 2018). Sendo essas perdas semelhantes em solos tropicais e subtropicais (Wei et al., 2014; Li et al., 2018).

## Atributos do solo

Durante muitos anos as recomendações agronômicas para a maioria dos cultivos, em relação às “terras” mais adequadas, eram descritas como “solos planos, profundos, bem drenados, de textura média e alto teor de nutrientes”, uma descrição que se aproxima do ideal almejado pela maioria dos produtores rurais, mas que na realidade é uma “terra” que existe em porcentagem muito pequena dentre as áreas possíveis de serem cultivadas na superfície do nosso planeta. O que leva à necessidade de plantar e cultivar em locais que não atendem a maioria dos bons parâmetros descritos, onde podem ocorrer um ou mais problemas, como o declive acentuado, pequena profundidade efetiva, má drenagem, solo muito arenoso ou muito argiloso, salinidade, sodicidade, acidez e baixo teor de nutrientes.

No entanto, essas ocorrências não inviabilizam a produção agrícola, pois a questão é descobrir o uso adequado à “terra” disponível, para que seja utilizado o mínimo de manejo e insumos, como por exemplo:

- a) Nas praias litorâneas, onde as areias que compõem o solo têm baixo teor de nutrientes e capacidade de retenção de água (que é salinizada), o coqueiro (*Cocos nucifera*), o cajueiro (*Anacardium occidentale*) e a mangabeira (*Hancornia speciosa*), se bem manejados, produzem frutos de forma satisfatória.
- b) Nas áreas mais baixas do relevo, onde predominam solos rasos e/ou compactados que permanecem inundadas a maior parte do ano, está concentrada a maior porcentagem da produção de arroz (*Oryza sativa*) do Brasil.
- c) Nas áreas do semiárido, onde chove menos de 800 mm por ano concentrados em três ou quatro meses, sob temperaturas elevadas, o umbuzeiro (*Spondias tuberosa*), uma fruteira perene produz de forma extrativista e sob cultivo.

A decisão sobre o uso de determinada área requer algum conhecimento sobre o solo, o clima e o relevo que constituem a propriedade, para que se possam escolher os cultivos mais adaptados a esse ambiente.

Escolher um cultivo sem avaliar as suas exigências agronômicas e sem dimensionar se as disponibilidades da área serão capazes de atendê-las, na maioria das vezes leva ao insucesso da cultura. Descobrir, durante ou após o processo de instalação do cultivo, que serão necessárias alterações na infraestrutura da propriedade para realizar o manejo agrícola adequado, pode ter um custo muito alto de implantação e diminuirá a sua viabilidade econômica.

Nesse capítulo serão avaliadas as aptidões dos solos para os cultivos de abacaxi e maracujá (anuais); mamão e mandioca (bianuais) e acerola, banana, citros e manga (perenes).

“Não existe ‘terra’ que sirva para todo e qualquer cultivo, assim como não existe ‘terra’ que não sirva para nenhum deles.”

Sabedoria popular

## Classificação dos atributos

Existem diversos sistemas de classificação de atributos do solo, o que envolve necessidades relativamente fáceis de serem resolvidas, como corrigir a acidez e o nível de nutrientes na camada de 0 – 0,40 m de profundidade, até manejos mais difíceis e de maior custo, que podem ser inviáveis economicamente, como por exemplo, aumentar a profundidade efetiva do solo ou melhorar a drenagem, que não são corrigidos por práticas agronômicas e maquinário usual.

Manter o funcionamento do sistema de produção agrícola exige como primeira necessidade caracterizar os fatores mais impeditivos em alguns parâmetros da “terra”. Um solo com pouca profundidade efetiva necessita de uma obra de engenharia civil de alto custo para ser alterado, o que é viável apenas quando se pensa em pequenas áreas, pois aumentar a profundidade de um solo, quando se dimensiona em hectares, não tem viabilidade agrícola.

Inicia-se o processo de classificação dos atributos separando-os para as culturas a serem plantadas, em relação a:

- a) profundidade efetiva do solo;
- b) relevo e declive da área;
- c) pedregosidade, matacões e rochiosidade; e
- d) impedimentos químicos no solo.

### **a) Profundidade efetiva do solo**

Na profundidade efetiva do solo, avalia-se a profundidade máxima que as raízes podem penetrar no solo, pois quanto maior a profundidade e o volume de solo explorado, maior a capacidade de absorver água e nutrientes e fornecer suporte físico às plantas.

Os impedimentos físicos ao desenvolvimento das raízes podem ser: um aglomerado ou um maciço de rochas a pouca profundidade; zonas de cascalhos (partículas de 2 mm a 20 mm); o lençol freático próximo à superfície; camadas coesas subsuperficiais; uma mudança abrupta no teor de argila em profundidade, ou ainda, o manejo inadequado do solo com o uso exagerado do arado e da grade, que é capaz de compactar abaixo da superfície, formando o denominado “pé de arado”.

A determinação da profundidade efetiva do solo deve ser realizada cavando trincheiras na área, o que permite localizar a profundidade do sistema de raízes e onde ocorrem as atividades biológicas no solo, além de localizar e identificar se os impedimentos ao desenvolvimento das raízes são físicos e/ou químicos como o alumínio.

A observação nos arredores da área de indicadores preliminares como a profundidade das cisternas, poços, barrancos em estradas e locais onde ocorre acúmulo de água, pode ganhar algum tempo no diagnóstico.

Na Tabela 2, observa-se que o solo com mais de 2 m de profundidade efetiva tem o grau de limitação “nulo”, sem restrições a nenhuma espécie de cultivo: grandes árvores, arbustos, culturas de vários ciclos (perenes, bianuais, anuais e de ciclo curto), pastagens e, obviamente todos os cultivos relacionados nessa publicação; na classe de 1 m a 2 m, não é mais possível o plantio de grandes árvores e entre os arbustos e perenes é aconselhável que tenham um sistema de raízes não pivotante, o que não é adequado para o cultivo da mangueira e citros, mas pode ser adequado a aceroleira e bananeira se a profundidade for maior do que 1,2 m, sendo plausível de uso para o mamoeiro, mandioca, abacaxizeiro, maracujazeiro; solos com profundidade de 0,5 m a 1 m, já estão sujeitos a encharcar, sendo necessário avaliar o regime de chuvas no local para determinar se ocorre ou não o encharcamento, caso não ocorra, pode ser recomendado para o cultivo de abacaxi e maracujá; entre 0,25 m a 0,5 m recomenda-se apenas cultivos de ciclo curto e pastagens, que são

adaptados a todas as profundidades dos solos anteriores; na profundidade menor do que 0,25 m o recomendado é a vegetação nativa e a preservação da área.

**Tabela 2.** Aptidão agrícola do solo com base na sua profundidade efetiva.

Grau de limitação	Classificação	Classe de profundidade (m)	Aptidão agrícola
<b>0: Nulo</b>	Muito Profundo	> 2	Manga, acerola, citros, banana, mamão, mandioca, abacaxi, maracujá.
<b>1: Ligeiro</b>	Profundo	1 a 2	Acerola, citros, banana, mamão, mandioca, abacaxi, maracujá.
<b>2: Moderado</b>	Moderadamente Profundo	0,5 a 1	Abacaxi, maracujá.
<b>3: Forte</b>	Raso	0,25 a 0,5	Pastagem, cultivos de ciclo curto (3 a 4 meses).
<b>4: Muito Forte</b>	Muito raso	< 0,25	Vegetação nativa.

Fontes: Adaptado de Embrapa-CNPS (1999) e Lepsch et al. (2015).

## b) Relevo e declive da área

O relevo define as diferenças entre as formas de paisagem e a configuração da superfície terrestre, sendo classificado em quatro tipos:

- a) as planícies – superfícies planas, formadas por rochas sedimentares, altitude até 100 m, localizadas em zonas de deposição próximas ao mar, rios ou lagos.
- b) os planaltos – superfícies planas, formados por rochas sedimentares, cristalinas ou basálticas, altitudes acima de 300 m.
- c) as montanhas – grandes elevações formadas por atividades naturais vulcânicas, tectônicas, falhas na crosta ou erosão.
- d) as depressões – superfícies planas rebaixadas, formadas pela erosão, altitude de 100 m a 500 m.

As atividades agrícolas já ocupam grande parte dos planaltos, planícies e depressões, restando ainda parte das montanhas, devido aos seus acentuados declives. O declive mede a verticalidade das ladeiras em determinada área de relevo, sendo a sua medida o que define a possibilidade de executar no solo práticas mecânicas motorizadas, a tração animal ou manual.

O declive é a relação entre uma determinada distância horizontal percorrida, e a sua distância vertical (m), ou quanto se desceu na encosta. A fórmula utilizada é:  $D\% = (\text{distância vertical} / \text{distância horizontal}) \times 100$ ; essas medidas podem ser obtidas com instrumentos caseiros como o “nível de mangueira”, ou mais precisos como o clinômetro, o teodolito ou o GPS; se caminha 100 m e desce 1 m o declive é 1%, se desce 5 m o declive é 5%; o declive pode variar entre uma distância e outra na mesma área; o grau do declive determina o tipo de tração (motorizada, animal ou manual) e a intensidade de mecanização que deve ser utilizada na terra.

O declive da área classifica o relevo para fins agrícolas, segundo determinadas classes (Tabela 3).

**Tabela 3.** Aptidão agrícola com base no nível de declive e classes de relevo do solo.

Nível de declive	Classes de relevo	Aptidão agrícola
0 a 3%	Plano / praticamente plano	Manga, acerola, citros, banana, mamão, mandioca, abacaxi, maracujá.
3% a 8%	Suave ondulado	Manga, acerola, citros, banana, mamão, mandioca, abacaxi, maracujá.
8% a 13%	Moderadamente ondulado	Manga, acerola, citros, banana, mamão, mandioca, abacaxi, maracujá.
13% a 20%	Ondulado	Manga, acerola, citros, banana.
20% a 45%	Forte ondulado	Silvicultura, pastagens e vegetação nativa.
> 45%	Montanhoso	Vegetação nativa.

Fontes: Adaptado de Ramalho Filho e Beek (1995); Pereira e Lombardi Neto (2004) e Lepsch et al. (2015).

- Nos declives entre 0 a 3%, o relevo é praticamente plano e não oferece impedimentos à mecanização e, se a permeabilidade for boa, o risco de erosão é praticamente nulo. A área seria adequada para qualquer cultivo mencionado; não há restrição à execução de qualquer prática mecanizada. Contudo, devido ao risco que a intensidade de algumas chuvas seja maior do que a permeabilidade do solo, o plantio em áreas com 2% a 3% de declive também deve ser sempre realizado em curva de nível – pontos que não sobem nem descem em relação à encosta. A distância entre as curvas de nível é função do declive, da textura do solo e do cultivo.
- Nos declives de 3% a 8%, relevo suave ondulado, vale o mesmo para 0 a 3%, mas com a necessidade de acrescentar além do plantio em nível, a manutenção do solo sempre coberto em consórcio e/ou com o manejo das plantas espontâneas com roçadeira para formação de palhadas, e no caso da necessidade de capinas, executar em filas alternadas, limpando uma e deixando a outra, mantendo sempre de 40% a 50% da área coberta por vegetação.
- Nos declives de 8% a 13%, relevo moderadamente ondulado, vale o mesmo para o de 3% a 8%, mas, além das práticas vegetativas (consórcio e palhadas) são necessárias as práticas de manejo do solo, como a construção de terraços e canais de escoamento. Essas práticas são fundamentais para o efetivo controle da erosão, a conservação dos recursos solo e água e a manutenção da produtividade.
- Nos declives de 13% a 20%, relevo ondulado, a tendência à erosão é muito forte. Não é mais possível práticas motorizadas, pois o trator não pode trabalhar cortando o declive sob o risco de tombar. Não fazer uso do trator no sentido morro abaixo, pois se isso vier a ocorrer, é capaz de destruir em poucos anos a camada superficial do solo mais rica em nutrientes e matéria orgânica. A utilização dessa área necessita das mesmas práticas utilizadas no declive de 8% a 13%, mas que serão realizadas com tração animal ou manual, um trabalho

muito difícil de executar e de manter. Essas necessidades restringem o uso desses solos a cultivos que não revirem a sua superfície e o cubram de forma efetiva. A grande demanda de tração animal ou braçal limita a sua ocupação a pequenas áreas, sendo possível o plantio de mangueira, aceroleira, citros e bananeira, onde a profundidade efetiva for adequada.

- Nos declives de 20% a 45%, relevo fortemente ondulado, o uso agrícola é muito restrito, pois permite apenas o uso de implementos de tração animal ou máquinas especiais, o controle da erosão é dispendioso, não sendo viável a nenhuma das culturas-alvos.
- Nos declives maiores do que 45%, relevo montanhoso, não se recomenda o seu uso agrícola, pois podem ser totalmente erodidos em poucos anos. Devem ser mantidas como áreas de preservação permanentes.

### **c) Pedregosidade, matacões e rochosidade**

A granulometria do solo é composta de partículas com diâmetro menor do que 2,0 mm; sendo as areias entre 2,0 mm – 0,05 mm; o silte entre 0,05 mm – 0,002 mm e a argila menor do que 0,002 mm. As partículas com diâmetro maior do que 2,0 mm não fazem parte do solo, são pedregosidade, classificadas como cascalho quando entre 2 mm – 20 mm ou pedras entre 20 mm – 200 mm; ou matacões, quando maiores que 200 mm; ou rochosidades, que são rochas que afloram ou que estão soltas na superfície, com mais de 1.000 mm (Lepsch et al., 2015).

A cobertura de determinada área do solo por um volume de pedras de tamanhos diversos altera a dinâmica da água no seu perfil, pois pode alterar a velocidade de infiltração, a taxa de evaporação e o controle da erosão, podendo aumentar ou diminuir cada um destes aspectos em função da porcentagem da área coberta e do tamanho do material que faz a cobertura.

Outro aspecto, entre os problemas provocados pela pedregosidade / matações / rochosidade, são os danos aos implementos agrícolas e pneus dos tratores, além dos acidentes em animais.

Na Tabela 4 estão as interações entre as porcentagens da pedregosidade, matações e rochosidade em relação às aptidões agrícolas, onde se observa que nos níveis Nulo e Ligeiro, ainda é possível o cultivo de todas as espécies descritas. No entanto, no nível Moderado, apenas é possível o cultivo da mangueira em função do seu grande espaçamento entre plantas e admitindo o uso de tração animal e/ou manual. No nível Forte, com 50% de pedregosidade e até 50% de rochosidade já não é mais possível nenhum dos cultivos a serem relatados.

**Tabela 4.** Aptidão agrícola com base nos graus de limitação referentes a pedregosidade, matações e rochosidade dos solos.

Graus de limitação	Pedregosidade	Matações	Rochosidade	Aptidão agrícola
	% massa fragmentos / solo	% superfície do solo		
<b>0: Nulo</b>	0	0	0	Manga, acerola, citros, banana, mamão, mandioca, abacaxi, maracujá.
<b>1: Ligeiro</b>	< 15	< 0,01	< 2	Manga, acerola, citros, banana, mamão, mandioca, abacaxi, maracujá.
<b>2: Moderado</b>	15 – 50	0,01 – 1	2 – 15	Manga.
<b>3: Forte</b>	> 50	1 – 10	15 – 50	Silvicultura, pastagens e vegetação nativa.
<b>4: Muito Forte</b>	-	> 10	> 50	Vegetação nativa.

Fonte: Lepsch et al. (2015).

Deve ser ressaltado que os solos onde ocorrem pedregosidade e afloramento de rochas, geralmente, são rasos. A interação desses dois atributos (a pequena profundidade efetiva do solo e a ocorrência de pedras e rochas na superfície) é muito comum na zona do semiárido e limitam as atividades agrícolas a cultivos de ciclo curto, com sistemas de raízes pouco profundos, e a práticas culturais com tração animal e/ou manual.

Outra interação, de grande ocorrência nos solos do Brasil, é a presença da pedregosidade e/ou rochosidade (Tabela 4) em áreas com declive acentuado (Tabela 3). A avaliação da área, onde interagem esses dois fatores, fornece informações bastante confiáveis quanto ao uso mais adequado e a sua possibilidade de mecanização. A relação declive da área (seis classes) x pedregosidade / rochosidade (cinco graus de limitação) gerou uma classificação quanto à mecanização (Tabela 5), com 30 interações e os graus de limitação variando de 1 a 5.

Graus de Limitação da interação entre declividade x rochosidade e/ou pedregosidade:

- **Nulo** – áreas de relevo plano, com declive inferior a 3% e ausência de pedregosidade / rochosidade. Permitem o trabalho de todos os tipos de máquinas e implementos agrícolas de uso comum, em qualquer época do ano.
- **Ligeiro** – áreas de relevo plano, com pedregosidade / rochosidade em grau ligeiro, ou relevo suave ondulado (declive entre 3% a 8%), com pedregosidade / rochosidade em grau de limitação nulo. Permitem o trabalho de todos os tipos de máquinas e implementos agrícolas de uso comum, praticamente todo o ano, mas com menor rendimento do trator.
- **Moderado** – áreas com declive entre 3% a 8%, com grau ligeiro quanto à pedregosidade / rochosidade, ou com declividade entre 8% a 13%, porém com grau de limitação nulo, quanto à pedregosidade / rochosidade. Não permitem o emprego de máquinas e implementos agrícolas de uso comum durante grande parte do ano.

- **Forte** – áreas com declive entre 0 a 3%, mas com limitação de grau moderado, para pedregosidade / rochosidade; áreas com declive entre 8% a 13%, com grau de limitação ligeiro quanto à pedregosidade / rochosidade; áreas com declive entre 13% a 20%, mas com grau nulo de pedregosidade / rochosidade. Apresentam muitas e severas restrições ao trabalho de máquinas e implementos agrícolas, mas permitem o uso de tração animal.
- **Muito forte** – Nos relevos suave ondulado e moderado, a limitação à mecanização ocorre devido à pedregosidade / rochosidade com grau moderado a muito forte. No relevo ondulado, as limitações ocorrem a partir da pedregosidade / rochosidade entre os graus ligeiro a muito forte; nos relevos forte ondulado e montanhoso com declive entre 20% a 45% e acima de 45%, respectivamente, a limitação ocorre devido às condições de relevo. A pedregosidade / rochosidade nos graus forte a muito forte, limitam o uso do solo independentemente do declive. Nesse grau de limitação as áreas são inadequadas para a mecanização em qualquer época do ano, mesmo com tração animal.

**Tabela 5.** Interação entre as classes de declividade do solo e os graus de limitação da pedregosidade e/ou da rochosidade, em relação aos graus de limitação à mecanização.

Declividade	Relevo	Pedregosidade (p) e Rochosidade (r)					
		p = % massa fragmentos / solo    r = % superfície do solo					
		Nulo p = 0 r = 0	Ligeiro p < 15 r < 2	Moderado p = 15-50 r = 2-15	Forte p = > 50 r = 15-50	Muito forte – r > 50	
Classe	(%)	Tipo	Grau de limitação à mecanização				
A	0 a 3	Plano	1	2	4	5	5
B	3 a 8	Suave ondulado	2	3	5	5	5
C	8 a 13	Moderado	3	4	5	5	5

continua...

**Tabela 5.** Continuação.

Declividade	Relevo	Pedregosidade (p) e Rochosidade (r)					
		p = % massa fragmentos / solo		r = % superfície do solo			
		Nulo p = 0 r = 0	Ligeiro p < 15 r < 2	Moderado p = 15-50 r = 2-15	Forte p = > 50 r = 15-50	Muito forte – r > 50	
Classe	(%)	Tipo	Grau de limitação à mecanização				
<b>D</b>	13 a 20	Ondulado	4	5	5	5	5
<b>E</b>	20 a 45	Forte ondulado	5	5	5	5	5
<b>F</b>	> 45	Montanhoso	5	5	5	5	5

Nota: Grau de limitação a mecanização: 1: Nulo; 2: Ligeiro; 3: Moderado; 4: Forte; 5: Muito forte.

Fontes: Adaptado de Ramalho Filho e Beek (1995); Giboshi (1999); Pereira e Lombardi Neto (2004) e Lepsch et al. (2015).

Os graus de limitação à mecanização mais adequados aos cultivos são os de valores 1 e 2. No entanto, esses resultados ocorrem em apenas três das 30 ocorrências possíveis; em relação ao grau de limitação 3, onde já há restrições à mecanização, permitindo apenas cultivos que movimentem pouco o solo e em determinada parte do ano, são apenas duas ocorrências, o que significa que existem apenas cinco boas possibilidades de manejo desse solo em um total de 30 interações. No grau 4, onde já ocorrem muitas restrições à mecanização e a necessidade de práticas conservacionistas permanentes é executada por tração animal, ocorrem três resultados; estando as demais 22 ocorrências no grau 5, onde as dificuldades são inúmeras com restrições inclusive para a tração animal.

Os exemplos da interação entre declividade x pedregosidade e/ou rochosidade, o que também poderia ser realizado com a interação profundidade efetiva x pedregosidade e/ou rochosidade, ou ainda, com a declividade x profundidade efetiva, serve para demonstrar que a ocorrência simultânea de dois atributos, que as técnicas agronômicas têm dificuldades para alterar com viabilidade econômica (declividade,

profundidade efetiva e pedregosidade, entre outros), aumentam enormemente as restrições de uso da área.

## d) Impedimentos químicos no solo

### Saturação por alumínio

A capacidade de troca catiônica (CTC) do solo é um importante atributo que representa a quantidade de cargas negativas que o solo possui. Essas cargas são geradas pelas argilas e/ou matéria orgânica do solo. Os cátions são íons positivos que são atraídos pelas cargas negativas e ficam adsorvidos no solo. Esses cátions ficam disponíveis para a absorção pelas plantas, sendo muito deles nutrientes essenciais para o crescimento vegetal e, devido ao tipo de ligação que têm com o solo, podem ser trocados por outros cátions. Assim, a CTC do solo no laboratório é determinada pela soma dos cátions adsorvidos às suas partículas de argila e/ou a matéria orgânica (MO). Esses cátions são divididos em componentes da soma de bases (SB) ou ácidos (H + Al), sendo que para o bom desenvolvimento das plantas deve-se ter um equilíbrio entre esses dois componentes, onde H e Al não são considerados nutrientes.

$$CTC = Ca + Mg + K + Na + H + Al \text{ (cmol}_c \text{ dm}^{-3}\text{)}$$

$$SB = Ca + Mg + K + Na \text{ (cmol}_c \text{ dm}^{-3}\text{)}$$

A porcentagem de SB em relação a CTC é denominada de valor da saturação por bases (V); e a porcentagem do valor do Al em relação à soma de SB + Al, é denominada valor de saturação por alumínio (m), sendo:

$$V = (SB / CTC) \times 100$$

$$m = (Al / SB + Al) \times 100$$

Obviamente quanto maior o valor de V, melhor o estado nutricional do solo e menor o valor de m, e vice-versa. Quando o valor de m alcança 50% da CTC o solo é considerado álico, o que significa que existem poucos nutrientes adsorvidos às argilas e grande parte do que existe está insolúvel – devido ao baixo pH – e não está disponível às plantas. Nesse nível de valor de m a correção da acidez via calagem é necessária.

Outro ponto de alarme é quando o Al atinge valor igual ou maior a  $4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3} \text{ solo}^{-1}$ , independentemente do valor da CTC ou de m, pois já representa problemas de toxicidade para grande parte dos cultivos agrícolas, sendo mais grave os efeitos se o valor de V for baixo, pois indica grande deficiência de nutrientes no solo (Lepsch et al., 2015).

Como solução para correção da saturação por alumínio e do pH e para melhorar a disponibilidade de nutrientes dos horizontes, são recomendadas a partir da análise química do solo nas profundidades de ocorrência, determinando as doses da aplicação de calcário (que corrige o pH) e gesso (que indisponibiliza o Al e melhora quimicamente as camadas subsuperficiais pelo carreamento de cátions em profundidade), utilizando o maquinário e os implementos disponíveis que são eficientes até a profundidade de 0 – 0,40 m.

As dificuldades começam a partir da profundidade de 0,40 m – 0,60 m, onde pode ocorrer alto teor de Al, oriundo da correção inadequada da acidez na profundidade de 0 – 0,40 m, ou mesmo devido à pedogênese do solo. Esse acúmulo de Al nas camadas subsuperficiais criam dificuldades para colocar o calcário e o gesso na quantidade necessária, nessas profundidades.

Entre as alternativas para corrigir o Al na camada de 0,40 m – 0,60 m, está a aplicação de calcário e gesso nas camadas de 0 – 0,20 m e 0,20 m – 0,40 m, por um período relativamente longo, já que há um limite para a quantidade de calcário que pode ser aplicada por ano

por área, e acompanhar os efeitos na redução do Al, que será discutido especificamente em cada cultura.

## Salinidade e sodicidade

A salinidade e a sodicidade do solo são medidas pela condutividade elétrica, pH e porcentagem de sódio trocável. Os solos salinos geralmente apresentam todos os pontos de carga da sua CTC tomados pela soma de bases ( $SB = CTC$  e  $V = 100\%$ ). A origem antrópica desses solos é atribuída à contínua adição de sais via irrigação, adubação ou ascensão capilar, o que começa a saturar a CTC e a solução do solo, aumentando o potencial osmótico e diminuindo a disponibilidade de água para as plantas. O extrato de saturação dos solos salinos apresenta uma condutividade elétrica (CE)  $> 4$  mmhos  $cm^{-1}$  (25 °C), pH  $< 8,5$  e na CTC, a porcentagem de saturação por Na trocável (PST)  $< 15\%$ .

A recuperação desses solos necessita de lavagens com água de CE próxima de  $1,0$  mmhos  $cm^{-1}$ , com drenagem abundante por 10 dias em solos arenosos e 100 dias em solos argilosos. A estrutura desses solos não é permeável à água da chuva, isenta de sais, pois o potencial osmótico dessa água de CE próxima de zero, solubiliza grande volume de sais e destrói os agregados salinos, que são pulverizados e impermeabilizam o solo.

O extrato de saturação dos solos sódicos apresenta uma CE geralmente  $< 4$  mmhos  $cm^{-1}$  (25 °C), pH  $> 8,5$  e na CTC a PST  $> 15\%$ .

A recuperação desses solos, que apresenta muitas partículas dispersas e não têm boa infiltração, necessita do uso de gesso com intensas lavagens e drenagens.

O extrato de saturação dos solos salino-sódicos apresenta CE  $> 4$  mmhos  $cm^{-1}$  (25 °C), pH  $< 8,5$  e na CTC a PST  $< 15\%$ .

Solos salino-sódicos são de muito difícil recuperação, pois apresentam baixa permeabilidade e exigem grande quantidade de corretivos e lavagens intensas, sob risco de no final do processo ainda permanecerem com um dos problemas, sendo salino ou sódico.

## Recomendações

Seguindo as orientações aqui descritas, será possível não cometer erros graves na escolha de uma área, identificando as necessidades de reparos tecnicamente mais difíceis e de maior custo financeiro, como solos pouco profundos em função da presença de cascalho, pedras ou do lençol freático próximo à superfície; áreas de ladeiras acentuadas que não permitam a mecanização ou com excesso de pedras e rochas que não permitam a mobilidade de máquinas e animais; ou solos salinos, sódicos e salino-sódicos que exigem grande volume de água e variedades tolerantes.

Caso já possua a terra, escolha o cultivo mais adequado à sua área; caso for comprar uma área pensando em determinado cultivo, faça as análises e investigue o que for necessário antes de definir a cultura e o manejo que pretende utilizar para o plantio.

O nível de manejo diz respeito ao nível técnico das práticas agrícolas que serão utilizadas, a qualidade do material de plantio, os insumos utilizados, tipo de mecanização e a mão de obra.

- **Nível de manejo A** – Básico: restrita ou nenhuma aplicação de capital para manejo e conservação dos solos e dos cultivos. As práticas agrícolas dependem do trabalho braçal e alguma tração animal em implementos agrícolas simples.
- **Nível de manejo B** – Pouco desenvolvido: modesta aplicação de capital para manejo e conservação do solo e melhoramento dos cultivos.

As práticas agrícolas incluem calagem e adubação, tratamentos fitossanitários, mecanização com tração animal ou motorizada no desbravamento e preparo inicial do solo.

- **Nível de manejo C** – Desenvolvido: grande aplicação de capital e de resultados de pesquisa para manejo e conservação dos solos e melhoramento dos cultivos. As operações agrícolas são motorizadas e com alto nível tecnológico (Ramalho Filho; Beek, 1995).

Finalizando, escolhida a cultura e a “terra” onde será implantada, estabelecidos os cultivos e o nível de manejo que pode ser adotado, existe a necessidade de mantê-la produzindo por longo tempo. Para isso, é fundamental o manejo conservacionista do solo, onde os primeiros problemas a serem evitados são a erosão e a compactação, podendo as práticas para o seu controle ser vegetativas (manejo de plantas e coberturas vegetais), edáficas (manejo do solo) e mecânicas (barragens, drenos e estruturas de engenharia), que serão abordados no capítulo seguinte.

## Referências

EMBRAPA-CNPS. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa -SPI, 1999. 412 p.

GIBOSHI, M. L. **Desenvolvimento de um sistema especialista para determinar a capacidade de uso da terra**. 1999. 77 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Produção Agropecuária) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.

IBGE. **Mudanças na cobertura e uso da terra do Brasil 2000 - 2010 - 2012 - 2014**. Rio de Janeiro, 2016. 33 p. Geociências - Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais – Equipe: Santiago, B.E.; Domingues, E.; Franco, M.M.; Caldeirón, S.S.

INPE. **Mapa de uso e cobertura da terra do território brasileiro para uso em modelagem climática e meteorológica**: relatório de pesquisa. São José dos Campos, 2013. 42 p.

LEPSCH, I. F.; ESPÍNDOLA, C. R.; VISCHI FILHO, O. J.; HERNANI, L. C.; SIQUEIRA, D. S.

**Manual para levantamento utilitário e classificação de terras no sistema de capacidade de uso.** Viçosa, MG: SBCS, 2015. 170 p.

LI, W., CIAIS, P., GUENET, B., PENG, S., CHANG, J., CHAPLOT, V., KHUDYAEV, S., PEREGON, A., PIAO, S., WANG, Y. Temporal response of soil organic carbon after grassland-related land-use change. **Global Change Biology**, v. 24, n.10, p. 4731-4746, 2018.

PEREIRA, L. C.; LOMBARDI NETO, F. **Avaliação da aptidão agrícola das terras: proposta metodológica.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 36 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 43).

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras.** 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65 p.

RUDORFF, B. F. T.; AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; SUGAWARA, L. M.; MOREIRA, M. A. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. **Remote Sensing**. v. 2, n. 4, p. 1057-1076. 2010.

SPEROTTO, F. Q. **A expansão do setor de celulose de mercado no Brasil: condicionantes e perspectivas**, 2014. Disponível em: <http://revistas.fee.tche.br/index.php/indicadores/article/view/3073>. Acesso em: 1 ago 2016.

WEI, X., SHAO, M., GALE, W.; LI, L. Global pattern of soil carbon losses due to the conversion of forests to agricultural land. **Nature Scientific Reports**, v. 4, p. 1-6, 2014.

