

La pratique du chaulage en système de semis direct

Une expérience au Sud du Brésil (Rio Grande do Sul)

E C. Bortoluzzi et D. Tessier

INRA, Station de Science du Sol, Route de Saint Cyr, 78026 Versailles

RÉSUMÉ

L'acidité des sols est au sud du Brésil un problème endémique qui affecte une grande partie du territoire. Dans ce contexte, un des objectifs de la recherche agronomique a été de développer un programme de correction de l'acidité des sols. Les difficultés et les perspectives de la méthode, notamment en système de semis direct (SSD, 70 % des terres cultivées au Rio Grande do Sul) sont ici exposées. Au Rio Grande do Sul, la recommandation repose sur l'indice SMP (SMP = solution tamponnée à pH 7,5), lequel permet de déterminer la quantité d'amendement nécessaire pour atteindre l'élévation du pH (eau) du sol souhaitée (pH 6,5, 6,0 ou 5,5). En système de culture de type semis direct consolidé, l'application d'amendements calcaires se fait à la surface du sol. Les résultats obtenus indiquent que la pratique permet globalement de maintenir la fertilité du sol. Cependant, il est nécessaire d'adapter le chaulage à la réalité du semis direct par la prise en compte de paramètres comme l'hétérogénéité du sol en surface, ceci afin d'aboutir ainsi à une efficacité optimale de l'amendement basique.

Mots clés

Semis direct, saturation par aluminium, prairies, rétention d'eau, acidité.

SUMMARY

LIMING IN NO-TILL SYSTEM: an experience in Southern Brazil (Rio Grande do Sul)

The acidity of soils in South Brazil is an endemic problem that affects a large part of the territory. The objectives of the agronomic research was to develop a program for correcting acidity. Difficulties and perspectives of this program, mainly in no-tillage system (NT) are exposed. No-tillage system is used in 70 % of cultivated of Rio Grande do Sul. The recommendation is the SMP index, in a solution buffered at pH 7.5 in order to assess liming requirement for a certain elevation of pH (water) (pH 6,5, 6,0 or 5,5). In NT liming on soil surface is recommended and allows to maintain soil fertility. However, it is necessary to adapt SMP index to the reality of NT, in order to obtain an optimal efficiency of the alkaline amendment applied to the soil surface.

Key-words

No-tillage, saturation of Al, prairies, water retention, acidity.

RESUMO**CALAGEM EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO: uma experiência realizada no Rio Grande do Sul - Brasil.**

A acidez do solo é um problema endêmico no sul do Brasil e que afeta grandes extensões de terra cultivada. A fim de melhorar a fertilidade desses solos foi desenvolvido um programa de correção da acidez do solo, cultivados em plantio convencional. Mais tarde, com o desenvolvimento do sistema plantio direto, percebeu-se que os parâmetros anteriormente utilizados deveriam ser revistos, pois não se trataria mais de uma camada homogênea de solo (0-20 cm), mas sim de uma camada protegida do revolvimento. As dificuldades e as perspectivas deste programa, principalmente em vistas do sistema plantio direto - SPD são aqui discutidas. No Rio Grande do Sul, a recomendação de calagem baseia-se no índice SMP (SMP = solução tamponada a pH 7,5), à qual determina a necessidade de calcário a fim de elevar o pH (em água) do solo ao nível desejado (pH 6,5, 6,0, 5,5). Em SPD o calcário é aplicado sobre a superfície do solo, tendo resultados satisfatórios quanto a conservação da cobertura vegetal e da qualidade química do solo. Entretanto, uma adequação dos tradicionais parâmetros de recomendação é necessária, assim que a associação desta com outros parâmetros de qualidade de solo, tendo sempre como meta principal a otimização de calagem em sistema plantio direto.

Palabras chaves

Plantio direto, saturação de alumínio, retenção de água, campo nativo, acidez

RESUMEN**LA CORRECCIÓN DE LA ACIDEZ EN SIEMBRA DIRECTA: consideración en el Sur de Brasil (Rio Grande do Sul)**

La acidez de los suelos del sur de Brasil constituye un problema endémico que afecta a una gran parte del territorio. El objetivo de esta investigación agronómica es el desarrollo de programas de corrección de la acidez de los suelos. La dificultad y las perspectivas del método, principalmente en siembra directa (70 % de las tierras cultivadas en Rio Grande do Sul), se demuestran en el presente trabajo. En Rio Grande do Sul la recomendación se basa en el índice SMP (SMP: solución "buffer" a pH 7,5), que permite determinar la cantidad de calcáreo que el suelo necesita para llegar a un pH (en agua) determinado (pH 6,5; 6,0 o 5,5). En el sistema de siembra directa, el encañado se hace sobre la superficie del suelo, obteniendo buenos resultados y ayudando a la conservación de su fertilidad. Sin embargo, todavía es necesario adecuar o asociar el índice SMP a otras variables del suelo para poder adaptar la técnica a la realidad de la siembra directa, con el fin de llegar a una eficiencia óptima de la práctica de la aplicación del calcáreo sobre la superficie del suelo.

Palabras claves

Siembra directa, saturación en Al, retención de agua, praderas, acidez.

La pratique du chaulage remonte avant l'époque romaine, il y a plus de 2000 ans. Jusqu'à une période récente, si les interactions entre l'amendement basique et le système sol-plante n'étaient pas encore bien comprises, l'augmentation de rendement des cultures récompensait le fastidieux travail d'extraction, de transport et d'épandage des amendements calcaires.

Aujourd'hui la quête du rendement constitue encore, avec l'amélioration génétique des plantes, la principale motivation du chaulage au Brésil. Toutefois le bénéfice du chaulage ne saurait se limiter au seul rendement des cultures car il conduit à des changements de propriétés qui sont aussi bien d'ordre chimique, physique que biologique.

Le chaulage affecte en premier lieu l'état physico-chimique du sol. La capacité d'échange en cations peut doubler en fonction de l'élévation du pH (Tessier, 2001), avec notamment ses répercussions sur la rétention et la mobilité de l'eau et la sensibilité au tassement. Selon Kaminski (1989) c'est l'interaction de tous ces phénomènes qui est le responsable de l'amélioration générale des propriétés du sol et, par conséquent, de l'augmentation de la productivité des cultures. Le chaulage peut donc être considéré comme une technique intégrée qui affecte l'ensemble des paramètres régissant le comportement global de l'écosystème agricole.

La définition du besoin de chaulage est liée à plusieurs facteurs, parmi lesquels on identifie en premier lieu la réponse du sol au plan chimique (pH, CEC, saturation de la CEC par aluminium et les cations alcalins et alcalino-terreux), la réponse en rendement des espèces cultivées, et enfin la stratégie de la pratique d'épandage en fonction du système de culture.

Des travaux réalisés au Brésil sont centrés sur les critères de quantité, de forme et de fréquence d'application d'amendement basique, tout en cherchant un bon rapport coût/bénéfice. En dehors des problèmes économiques, des questions liées aux effets du chaulage sur les propriétés physiques des sols sont soulevées, principalement quand cela s'ajoute aux effets du changement de système de culture, semis direct après prairie et semis direct après labour conventionnel. La connaissance du processus d'acidification selon la gestion du sol, puis la définition de critères pour le chaulage est donc fondamentale. Elle permet d'adapter le chaulage au nouveau système de culture tout en réduisant les contraintes imposées aux sols, ainsi que de conserver les rendements des cultures.

Le but de cet article est de discuter et mettre en valeur le programme de correction de l'acidification du sol au Sud du Brésil (Rio Grande do Sul), en tenant en compte de la méthode utilisée avec le passage du labour conventionnel au système semis direct (SSD). Nous utiliserons ici des résultats représentatifs déjà publiés et en cours d'étude.

La région d'étude : caractéristiques et brève historique

Le Rio Grande do Sul est le plus méridional des 27 états du Brésil (29° 27' S et 53° 40' W). Le territoire est limité à l'Ouest par l'Argentine,

au Sud par l'Uruguay et à l'Est par l'océan Atlantique. Le climat est subtropical humide sans saison sèche, de type Cfa selon la classification de Koeppen. La pluviométrie moyenne annuelle est de 1400 à 1700 mm répartie de façon homogène tout au long de l'année. Les températures moyennes sont comprises entre 17,9 et 19,2 °C.

Le développement intensif des cultures commerciales comme le soja, le maïs et le blé a été possible grâce à la mécanisation de l'agriculture dans les années 70. Néanmoins, l'état du Rio Grande do Sul avec ses 282 679,70 km² de surface totale, a su garder 46 % de sa surface totale sous végétation naturelle - prairie native (UFSM, 2000). Les prairies sont composées essentiellement par des graminées, dont l'adaptabilité aux conditions de sol et climat est remarquable. De ce fait, les prairies sont naturellement destinées à l'élevage bovin. En revanche, la surface de forêt s'est réduite aux dépens des cultures, passant de 40 % à moins de 10 % en 1990. Le besoin croissant en bois d'œuvre et l'expansion de surfaces cultivables sur des terres fertiles ont été les facteurs principaux de cette évolution. Aujourd'hui la surface cultivée est de 6 millions d'hectares environ.

L'acidification : un problème général

On estime qu'environ 75 % de la surface des sols au sud du Brésil présentent un pH (eau) égal ou inférieur à 5,5. Ces sols sont donc naturellement acides présentant, en général, une très faible disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes, principalement en phosphore. De plus, on note, en condition de sol acide, la présence plus au moins importante d'éléments toxiques comme l'aluminium, le manganèse et même le fer dissous (Kaminski, 1989). L'acidification compromet donc, de manière directe et indirecte le potentiel de production des cultures. En fait, l'ion Al³⁺ est considéré comme le principal trait marquant de l'acidification des sols tropicaux et sub-tropicaux du Brésil. L'hydrolyse de l'Al³⁺ est aussi à l'origine de la libération des ions H⁺ dans la solution du sol, abaissant ainsi le pH selon l'équation suivante (Brady et Weil, 2002).



L'Al³⁺ peut devenir échangeable et par conséquent être assimilable par les plantes. L'absorption de cet élément peut altérer le fonctionnement physiologique des cellules et ainsi engendrer la réduction des rendements. La présence d'aluminium modifie notamment l'élasticité de la paroi cellulaire des racines, dont le symptôme le plus clair est la réduction de biomasse racinaire et le grossissement désordonné des racines.

C'est dans ce contexte qu'a démarré un programme d'amélioration de la qualité chimique de sol. L'objectif a été de réduire les contraintes chimiques des sols pour la croissance et le rendement des plantes cultivées.

La recommandation en amendement basique au Sud du Brésil

Au Brésil, les premières informations concernant le chaulage

datent de 1925. Les premiers essais au Rio Grande do Sul (1970) ont montré que les rendements avaient augmenté de 360 %, 470 % et 33 % respectivement pour le soja, le maïs et le blé (Wiethölter, 1997). Ces résultats ont confirmé l'efficacité et la pertinence du chaulage pour l'amélioration des rendements. Par la suite, un vaste réseau d'essais conduit par des techniciens spécialisés a été créé afin de vulgariser cette approche à l'ensemble des exploitations agricoles.

En général, la teneur en aluminium échangeable, ainsi que la saturation en cations alcalins et alcalino-terreux sont les indicateurs principaux du besoin en amendement basique. Cependant l'approche du chaulage a varié selon les régions du pays. Dans les états du sud, Rio Grande do Sul et Santa Catarina, c'est l'indice SMP ou pH SMP qui a été utilisé dès 1968 pour la recommandation en amendement basique (Tedesco *et al.*, 1985). Il consiste en déterminer l'acidité potentielle du sol, représentée par Al^{3+} et H^+ , avec une mesure de pH. Pour cela on mesure le pH d'une solution SMP après équilibre au contact d'une quantité de terre connue. Le SMP est une solution tamponnée à pH 7,5 du nom de Shoemaker, Mclean et Pratt (Shoemaker *et al.*, 1961). Elle agit sur les sites d'échange en arrachant les agents de l'acidification (Al^{3+} et H^+) liés aux argiles et à la matière organique pour les substituer par du Ca^{2+} . Par ailleurs, on peut estimer l' Al^{3+} et l' H^+ des sols à l'aide des équations qui prennent en compte le pH SMP. L'estimation $Al^{3+} + H^+$ est fiable à 98 % et comparable à la méthode qui utilise l'acétate de Ca^{2+} à pH 7,0 (Raj, 1989).

Pour la recommandation en calcaire il suffit de mettre en relation les valeurs de pH SMP avec le besoin en $CaCO_3$ afin d'élever le pH eau du sol au niveau souhaité. Pour les sols du Rio Grande do Sul et de Santa Catarina un abaque a été conçu, permettant de savoir le besoin en $CaCO_3$ (100 % de PRNT-Pouvoir Relatif de Neutralisation Totale) pour élever le pH eau du sol à 5,5, 6,0 ou 6,5. La dose recommandée est calculée pour une fréquence d'application de 5 ans et sur un volume de sol de 2000 m³ (~20 cm d'épaisseur de sol). Pour neutraliser 1 cmolc dm⁻³ d'acidité il est nécessaire d'appliquer 1 t de $CaCO_3$ ha⁻¹ (CFS RS/SC, 1995). On considère généralement que l'estimation du besoin en $CaCO_3$ en fonction du pH SMP est fiable à $r^2 = 0.95$ (Shoemaker *et al.*, 1961).

Adaptation du chaulage aux systèmes de culture

Le système de culture joue un rôle crucial sur la forme et la quantité d'amendements basiques à épandre. Au départ, le chaulage et le labour étaient des techniques inséparables, car pour mélanger le produit en profondeur, il fallait par la suite travailler le sol. Or, le labour est la première étape pour la préparation du lit de semence. Dans le système labour conventionnel - LC, le retournement du sol par la charrue à disques suivi par le passage du cover crop est fréquemment pratiqué deux ou trois fois par an. Dans ces conditions, l'érosion se manifeste fréquemment sur les parcelles labourées, principalement sur des pentes et sur les sols d'origine basaltiques, mais

surtout, sur les sols développés sur des roches sableuses (Cassol, 1984). Pendant longtemps, les techniques pour combattre l'érosion se résumaient à contenir le ruissellement rapide des eaux par la construction de terrasses sur les versants (Eltz, 1997). Ensuite, les techniques de protection contre l'érosion ont plutôt été ciblées sur l'impact des gouttes d'eau et la dégradation de la structure de surface. Pour remédier à la dégradation de surface, il a été envisagé la restitution systématique des pailles après récolte et même l'implantation de plantes de couverture. Cette technique s'est avérée efficace et constitue aujourd'hui un des piliers de la culture sans labour.

C'est la raison pour laquelle le semis direct s'est considérablement développé, il concerne environ 70 % de la surface cultivée au Rio Grande do Sul (Farias et Ferreiro, 1998). Cependant, un grand nombre de variantes dans les techniques de conservation du sol a vu le jour, généralement désignées sous le terme générique de « système de semis direct - SSD ».

Aujourd'hui, le système de semis direct préconise la restitution des pailles à la surface du sol et la mise en culture à travers le non-travail du sol. Ainsi la couverture du sol est presque totale assurant ainsi à elle seule, une réduction considérable de l'érosion (Bertol *et al.*, 1989 ; Foster *et al.*, 1985). Les améliorations de la qualité générale du sol se font sentir avec ce système, par l'augmentation de l'infiltration de l'eau (Eltz, 1997), la réduction des températures maximales du sol (Helms *et al.*, 1996), la diminution de la pression de compétition par les mauvaises herbes (Teasdale et Mohler, 1993). Au total, l'accent est mis sur la viabilité du système et son impact sur l'environnement (Denardin et Kochhann, 1993).

Si les problèmes d'érosion se sont réduits considérablement avec le SSD, la pratique du chaulage a soulevé d'autres interrogations. Pour le labour, on applique une quantité de $CaCO_3$ donnée et on homogénéise le sol afin de le répartir aussi uniformément que possible sur une profondeur de 20 cm. Ce n'est pas le cas du semis direct, puisque le labour a été supprimé et le calcaire est apporté en surface.

Il est donc impératif d'adapter les doses et la forme d'épandage dans deux situations possibles : (i) l'implantation du SSD sur parcelles déjà labourées - LC ; (ii) l'implantation du SSD sur des prairies naturelles vierges.

Chaulage et SSD sur parcelles déjà labourées

Au départ le SSD a été expérimenté sur des sols cultivés en LC, les plus souvent appauvris par l'érosion. Ce système a donc constitué une approche de réhabilitation des sols et de contrôle de l'érosion. Dans ce contexte, le chaulage est effectué peu avant l'implantation du SSD (cas i) profitant ainsi de la possibilité de labour. On adopte alors la recommandation classique (SMP) du chaulage de redressement afin d'élever le pH au niveau souhaité. Ensuite, on réalise un chaulage d'entretien par des apports bi ou trisannuel de $CaCO_3$ en surface.

Des questions se posent au niveau de l'acidification du sol en SSD, car il s'agit d'un processus naturel et souvent accéléré en surface par la mise en culture. Cela comprend la forme et la quantité de calcaire utilisé pour le chaulage dit d'entretien. Le chaulage réalisé avant l'introduction du SSD, est-il efficace à long terme ? Quelle est la quantité de CaCO_3 appliqué en surface pour le maintien des rendements des plantes ?

Pour répondre à ces questions, des essais ont été mis en place, parmi lesquels celui de Santa Maria-RS. Dans ce dernier, le sol a reçu un chaulage de redressement ($3,1 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3$) en LC afin d'atteindre $\text{pH} = 6,0$ avant de passer en SSD. Après 6 ans de SSD le sol a de nouveau été chaulé, avec un apport en surface. Des quantités variables ont été testées, basées sur la recommandation SMP pour le LC (0 t ; $1/4 \text{ SMP} = 1,2 \text{ t}$; $1/2 \text{ SMP} = 1,8 \text{ t}$ et $1 \text{ SMP} = 3,6 \text{ t ha}^{-1}$).

En dépit de l'acidité du sol de la parcelle témoin ($\text{pH} \text{ eau} < 4,3$), les rendements de maïs, soja et avoine (figure 1) en SSD n'ont pas eu d'améliorations significatives avec un chaulage d'entretien.

Cela peut s'expliquer, d'une part, par des valeurs très basses de saturation en Al^{3+} (<12%) potentiellement toxiques pour les plantes et corrélativement par des teneurs moyennes en Ca^{+2} et en Mg^{+2} . Vraisemblablement le maintien des quelques caractéristiques chimiques a assuré le développement de la rhizosphère et les récoltes satisfaisantes pour ces cultures particulièrement sensibles aux bas pH.

Il est intéressant de constater que la toxicité de l'aluminium est moindre sous SSD que sous labour conventionnel. Ce constat est en accord avec les observations de Caires *et al.* (1998) et Salet (1994), qui montrent que la toxicité aluminique est réduite en SSD. Cet élément forme des complexes avec des substances organiques solubles originaires de la décomposition des résidus végétaux en surface. Ce mécanisme est, selon Sidiras et Pavan (1985), responsable de la forte mobilité en profondeur des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} suite à la dissolution des produits basiques.

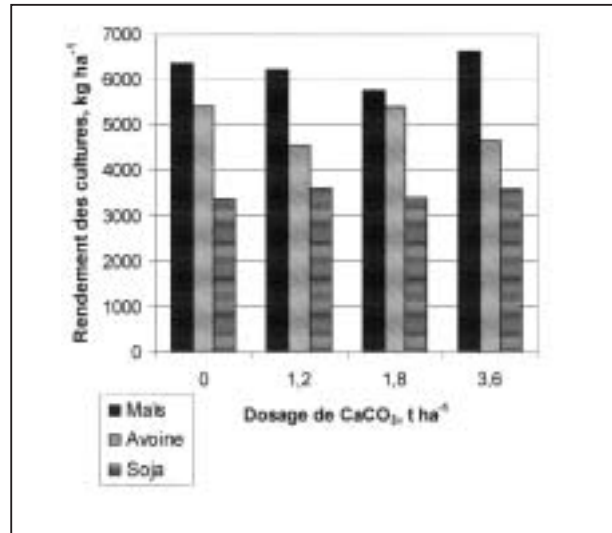
En outre, l'épandage superficiel avec la même dose de CaCO_3 en SSD et en LC ($1 \text{ SMP} = 3,6 \text{ t ha}^{-1}$), engendre un gradient chimique dans la partie supérieure du sol. Il apparaît ainsi une diminution d' Al^{3+} , une augmentation du pH (CaCl_2) et des teneurs en Ca^{2+} et en Mg^{2+} jusqu'à environ 15 cm 18 mois après de l'application (figure 2). Au bout de 40 mois, Caires *et al.*, (1998) ont trouvé des modifications dans les paramètres chimiques (pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} et H^+) jusqu'à 60 cm de profondeur.

Notre interprétation est que la dissociation de la base, par exemple Ca^{2+} et OH^- pour la calcite, est à l'origine du gradient de concentration, favorisant la descente des paires ioniques dans le profil. La descente de particules fines de calcite peut aussi se produire, grâce à l'existence de canaux verticaux d'origine biologiques, particulièrement importants pour le système semis direct (Rheinheimer *et al.*, 2000a). Il est donc clair qu'il n'est pas nécessaire de mélanger l'amendement au sol pour qu'il ait des effets en profondeur.

Ces données montrent que la pratique du chaulage en SSD est viable pour le maintien des rendements des cultures et des caractéristiques chimiques de sol.

Figure 1 - Rendement des cultures en système semis direct en fonction de la quantité d'amendement calcaire appliqué en surface. Santa Maria- RS. (Adapté de Rheinheimer *et al.*, 2000a)

Figure 1 - Yield of crop in no-till versus liming applied on soil surface. Santa Maria- RS. (Rheinheimer *et al.*, 2000a)



téristiques chimiques de sol. La dose préconisée pour le LC ($1 \text{ SMP} = 3,6 \text{ t ha}^{-1}$) peut être réduite pour le SSD sans aucun effet sur le rendement des cultures, même si les caractéristiques chimiques du sol sont améliorées par le chaulage pour les deux systèmes de culture.

Le chaulage en SSD après prairie

Les prairies naturelles au Sud du Brésil constituent d'importantes surfaces avec un potentiel de mise en valeur par l'agriculture. Ce phénomène est amplifié du fait que la rentabilité de ces dernières est moins importante que pour les cultures commerciales, d'où une pression accentuée pour leur mise en culture. Cependant le labour des prairies est souvent déconseillé à cause des problèmes d'érosion et de tassement. De ce fait le SSD est l'alternative la plus viable.

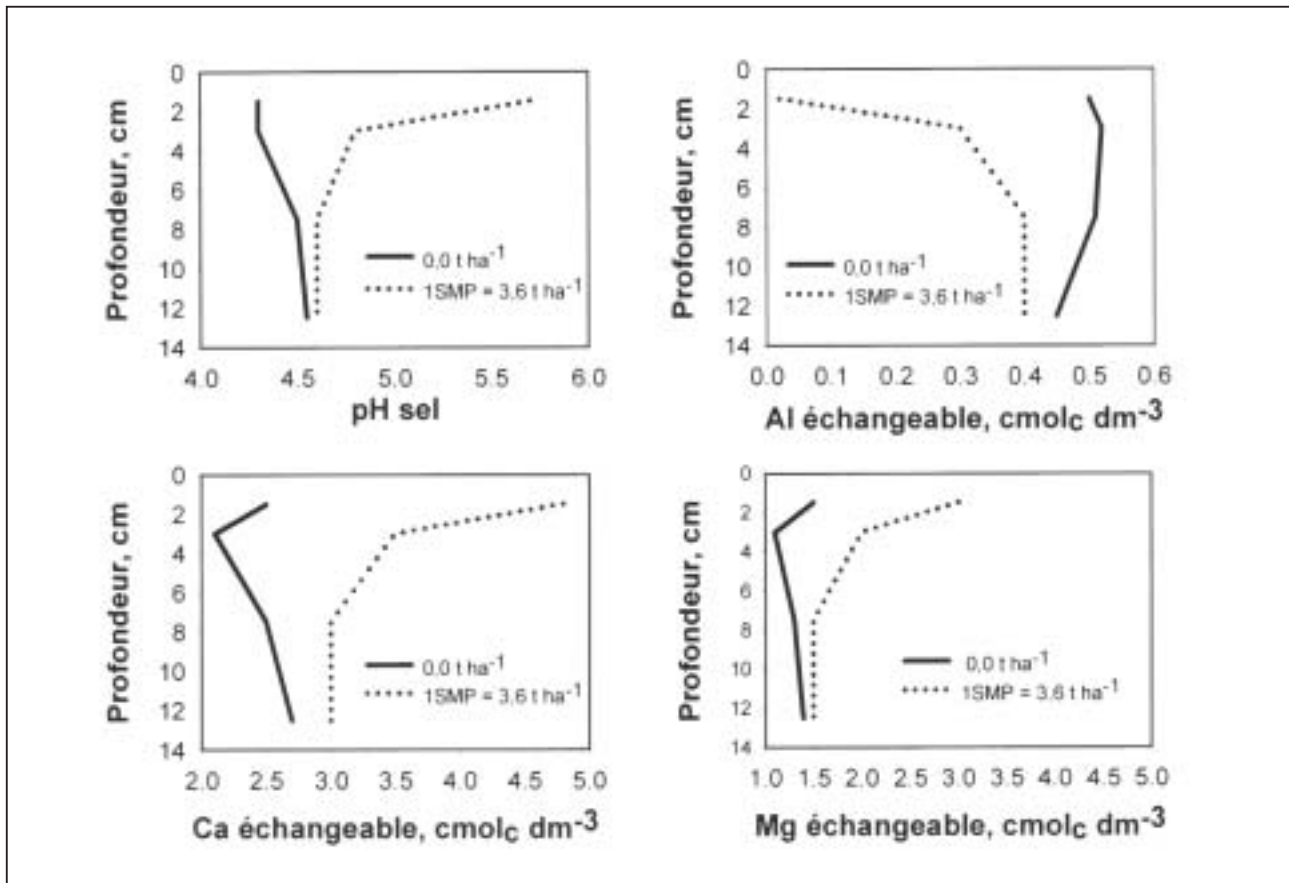
Aujourd'hui le SSD peut être effectué directement sur la prairie sans labour préalable. Le chaulage de redressement sans retournement du sol est la technique de référence pour la mise en culture des prairies.

Dans ce cas le chaulage de redressement ainsi que d'entretien sont réalisés en surface, dès la mise en place du SSD. Cela permet de conserver les caractéristiques physiques originales de la prairie.

Dans ce contexte, des essais sur de prairies naturelles ont été réalisés. L'épandage de CaCO_3 à 0 t ; $1/2 \text{ SMP} = 8,5 \text{ t ha}^{-1}$ et $1 \text{ SMP} = 17 \text{ t ha}^{-1}$ en surface d'un sol (Plinthaquilt) en SSD a été effectué en comparaison du labour conventionnel - LC. Le rendement des

Figure 2 - Dynamique en profondeur du pH et des teneurs en Ca^{2+} , Mg^{2+} et Al^{3+} du sol en SSD en fonction de l'apport de CaCO_3 en surface 18 mois après l'application. Santa Maria- RS. (Adaptée de Rheinheimer *et al.*, 2000a).

Figure 2 - pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} and Al^{3+} depth dynamics in no-till after liming on soil surface, after 18 months of the application. Santa Maria- RS. (Adaptée de Rheinheimer *et al.*, 2000a).



cultures a été mesuré et le suivi des caractéristiques physiques a été réalisé 6, 18, 36, 48 mois après l'application. Ainsi pour le SSD sur prairie (cas ii) l'application de CaCO_3 en surface est à l'origine d'un gradient vertical de neutralisation, représenté par la saturation de la CEC effective par Al^{3+} , plus ou moins profonde en fonction de la dose et du temps écoulé après l'épandage (figure 3). La neutralisation est complète avec $8,5 \text{ t ha}^{-1}$ jusqu'à 5 cm au bout de 48 mois. Notons que dans le labour conventionnel, le taux de saturation en Al est toujours très bas puisque inférieur à 17 % de la CEC pour une dose de $8,5 \text{ t ha}^{-1}$ (Rheinheimer *et al.*, 2000b).

L'effet est accentué avec un chaulage de 17 t ha^{-1} puisque la neutralisation est complète à 10 cm au bout de 48 mois pour la moitié de la dose recommandée (figure 4).

Les rendements de maïs et soja attestent de la réponse du sol au chaulage superficiel de redressement. En fait, ils sont égaux ou supérieurs aux traitements par incorporation (figure 5). A partir de $8,5 \text{ t}$ de CaCO_3 pour le soja et 17 t pour le maïs les rendements ne

sont pas différents significativement pour n'importe quel type d'épandage.

L'efficacité de l'amendement basique est finalement assez comparable en semis direct (apport en surface) et en labour conventionnel (mélange au sol) avec les mêmes doses. De ce fait la pratique du chaulage n'est pas un obstacle pour l'implantation du SSD sur prairie. En outre l'implantation du SSD après une prairie (sol acide) est compatible avec le chaulage en surface. Quant à la dose utilisée, il est encore trop tôt pour affirmer qu'une réduction de CaCO_3 en SSD est viable à long terme. Cependant selon certains résultats, on peut réduire la dose en SSD comparativement au LC, pour atteindre une même valeur de pH.

Modifications physiques après le chaulage

Si le chaulage permet d'augmenter le pH et d'apporter aux sols les cations indispensables aux plantes (Ca et Mg), les changements des propriétés physiques sont plus difficiles à appréhender.

Figure 3 - Saturation de la CEC effective en Aluminium (%) en profondeur en SSD en fonction de l'apport de 8,5 t ha⁻¹ de CaCO₃ appliqué en surface. Santa Maria- RS. (Adaptée de Rheinheimer *et al.*, 2000b).

Figure 3 - Aluminum saturation (%) in depth in no-till after liming at 8,5 t ha⁻¹ (CaCO₃) applied on soil surface, Santa Maria- RS. (Rheinheimer *et al.*, 2000b).

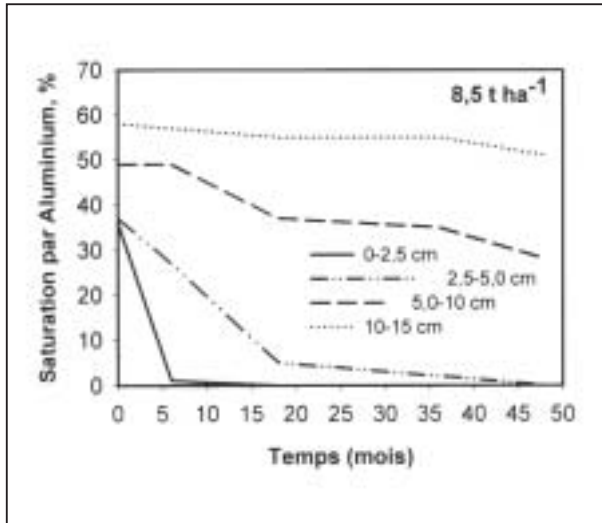


Figure 4 - Saturation de la CEC effective par Aluminium (%) en profondeur en SSD en fonction de l'apport de 17 t ha⁻¹ de CaCO₃ appliqué en surface. Santa Maria- RS. (Adaptée Rheinheimer *et al.*, 2000b).

Figure 4 - Aluminum saturation (%) in depth in no-till after liming at 17 t ha⁻¹ (CaCO₃) applied on soil surface, Santa Maria- RS. (Rheinheimer *et al.*, 2000b).

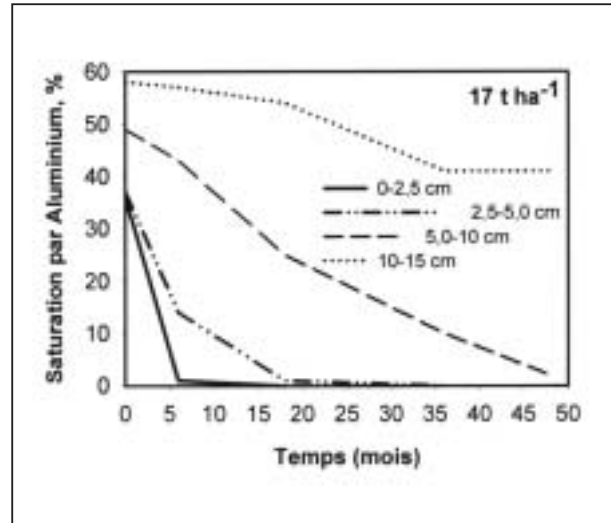
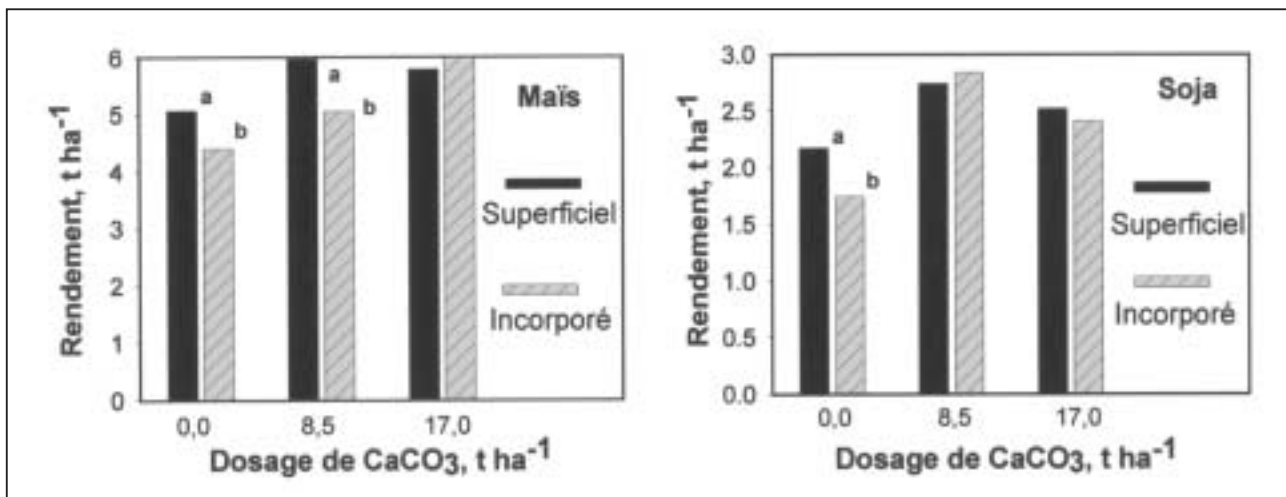


Figure 5 - Rendement de maïs et soja en SSD en fonction de la quantité d'amendement calcaire et du type d'application. (Adaptée de Kaminski *et al.*, 2000)

Figure 5 - Yield of corn and soybean in no-till versus amount and forms applications of liming. (Kaminski *et al.*, 2000).



Il faut alors discuter des propriétés de surface des sols qui sont très sensibles au pH d'autant plus que dans les sols tropicaux, les charges variables du sol prédominent.

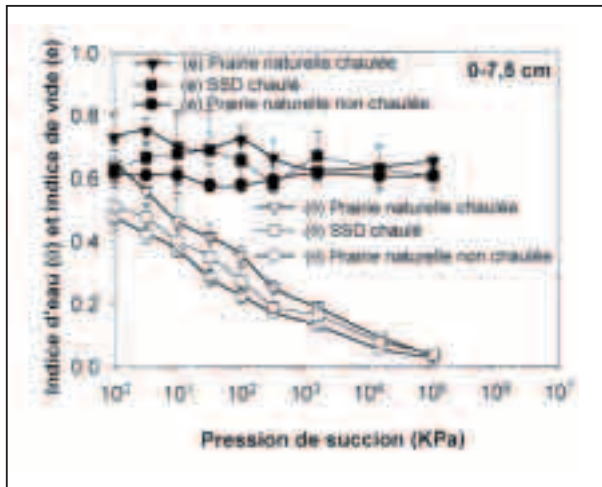
La prairie chaulée ou non chaulée présente l'avantage de pouvoir comparer, à gestion du sol identique, des effets sur la structu-

re du sol. La comparaison avec le semis direct, c'est-à-dire avec la pratique du non-travail du sol, est aussi un élément de diagnostic de la stabilité de la structure après mise en culture.

Nous présentons ci-après quelques données relatives à des situations suivantes: un sol (Hapludalf) sous prairie naturelle non

Figure 6 - Indice de vide et d'eau de l'horizon A1a (profondeur de 0-7,5 cm) d'un sol sableux sous prairie naturelle, prairie naturelle chaulée et prairie mise en culture par le semis direct (SDP) en fonction de différents potentiels de l'eau.

Figure 6 - Water and void index in A1a horizon (depth 0-7,5 cm) from different management practices in sandy soil (2 t ha^{-1} of liming in no-till and prairie with liming and without liming).



chaulée, chaulée (2 t ha^{-1}), puis un SSD après prairie naturelle chaulée (2 t ha^{-1}). Nous comparerons les résultats des rétentions d'eau et de la porosité pour les systèmes. Entre 0-7,5 cm on constate que le chaulage engendre une plus grande porosité (indice de vide) et aussi une rétention en eau supérieure à celle de la prairie non chaulée. En semis direct sur prairie, les effets sur ces variables sont intermédiaires (figure 6). La structure du sol est alors probablement plus résistante à la déformation dès lors que le sol a été chaulé. Notons qu'aux bas potentiels les paramètres mesurés (rétention en eau et indice de vide) deviennent similaires.

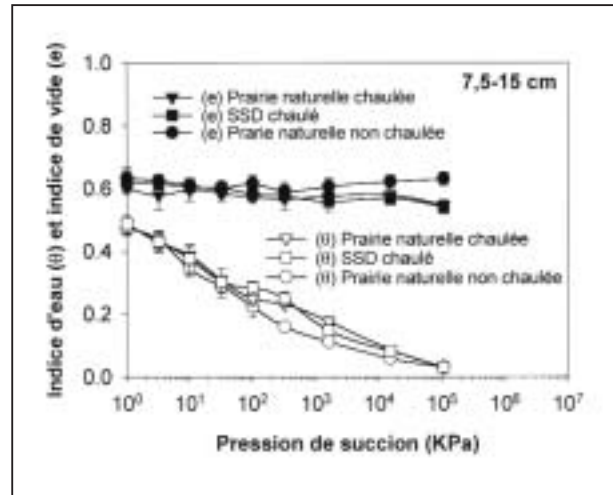
Ces résultats confirment ceux de Peltier (2001); ils montrent que l'aération et la rétention de l'eau du sol sont nettement améliorées suite au chaulage (chaux vive) d'une prairie en sol acide. Ces améliorations sont attribuées à une meilleure croissance racinaire et par conséquent à une augmentation de la biomasse végétale de la prairie.

Plus en profondeur, sur la couche 7,5-15 cm, les effets du chaulage suivent le même comportement que pour la couche de 0-7,5 cm, mais les courbes semblent plus proches (figure 7).

Ceci montre que le chaulage peut modifier quelques paramètres représentatifs de l'état physique du sol. Cette pratique tend à encourager la mise en culture des prairies par le SSD. Ainsi les dégradations liées au labour sont atténuées et les propriétés physiques semblent mieux préservées avec le chaulage. Il faut poser la question de l'évolution à moyen terme des sols puisque les propriétés chimiques et

Figure 7 - Indice de vide et d'eau de l'horizon A1b (profondeur de 7,5-15 cm) d'un sol sableux sous prairie naturelle, prairie naturelle chaulée et prairie mise en culture par le semis direct (SDP) en fonction de différents potentiels de l'eau.

Figure 7 - Water and void ratio in A1a horizon (depth 7,5-15 cm) from different management practices in sandy soil (2 t ha^{-1} of liming in no-till and prairie with liming and without liming).



la nature des constituants, notamment la teneur en matière organique, évoluent fortement.

Par ailleurs, cette démarche ouvre des perspectives tout à fait intéressantes pour comprendre la qualité des sols et la durabilité des systèmes agricoles, et plus généralement l'impact des systèmes cultivés sur la qualité des eaux et l'atmosphère.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les expériences acquises dans le cadre du chaulage et de la suppression du labour nous permettent de discuter du rôle relatif des processus qui régissent les propriétés des sols, en particulier leur comportement physico-chimique.

Dans le cas du sud du Brésil, l'implantation de cultures en semis direct sur des prairies apparaît comme une pratique viable, même sans enfouissement des amendements. Du point de vue agronomique la recommandation du chaulage selon l'indice SMP permet encore d'optimiser le chaulage. Cependant la méthode SMP présente de limitations concernant la toxicité de l'Al dans le sol en fonction des systèmes de culture. Ainsi après chaulage, pour un même pH, la mobilité de l'Al³⁺ peut être très différente selon les systèmes. Il apparaît donc nécessaire de rediscuter le rôle des paramètres physico-chimiques du sol pour la recommandation du chaulage.

Nous avons montré l'importance du système semis direct dans l'approche de la pratique du chaulage. Il est clair que les efforts doi-

vent être aujourd'hui ciblés sur des stratégies visant à mieux adapter la recommandation par rapport aux systèmes de cultures et au type de risques liés à l'acidification.

Quel que soit le système de culture, on ne conçoit plus le besoin en amendement calcaire par le seul contrôle des paramètres chimiques. Même en milieu tropical, les facteurs physiques, encore peu considérés, sont des paramètres supplémentaires à prendre en compte pour les décisions concernant la pratique du chaulage. Dans tous les cas, la pratique du chaulage, même dans son principe comme dans ses modalités d'application, est loin de faire l'unanimité. Dans une gestion des sols incluant le semis direct, le chaulage et ses conséquences doivent faire partie d'une stratégie d'ensemble en vue d'assurer la durabilité des systèmes de culture et leur impact plus global.

REMERCIEMENT

Le premier auteur remercie le CNPq (Brasilia-Brésil) pour la concession de la bourse d'étude ainsi que les lecteurs, notamment M. B. FABRE pour les remarques pertinentes.

BIBLIOGRAPHIE

- Bertol I., Cogo N.P. et Levien, R., 1989 - Cobertura morta e métodos de preparo do solo na erosão hídrica em solo com crosta superficial. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, V°13 : p.373-379.
- Brady N.C. et Weil R.R., 2002 - The nature and properties of soils. 13 ed. Nyle C. Brady et Ray R. Weil. 960 p.
- Caires E.F., Banzatto D.A. et Fonseca A.F., 2000 - Calagem na superfície em sistema plantio direto R. Bras. Ci. Solo, Campinas, V°24: p. 161-169. Comissão de Fertilidade do solo RS/SC.
- Cassol E.A., 1984 - Erosão do solo: Influência do uso agrícola, do manejo e preparo do solo. Instituto de Pesquisas de Recursos Naturais Renováveis «Atatiba Paz». Porto Alegre RS. p. 40.
- CFS RS/SC, 1995 - Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 3° ed. Passo Fundo, SBSC - Núcleo Regional Sul, 224 p.
- Denardin J.E. et Kochhann R. A., 1993 - Requisitos para implantação e a manutenção do sistema plantio direto. In: Plantio Direto no Brasil. Passo Fundo: Aldeia Norte. EMBRAPA-CNPQ; FECOTRIGO-FUNDACEP e FUNDAÇÃO ABC. p. 19-27.
- Eltz F.L.F., 1997 - Ensino de Plantio Direto. In: Plantio direto: o caminho para uma agricultura sustentável Ponta Grossa - PR. Ricardo Trippia dos Guimarães Peixoto, Dirk Claudio Ahrens e Michel Jorge Samaha, ed. Ponta Grossa, PR: IAPAR, PRP/PG, p. 39-42.
- Farias A.D. et Ferreira T.N., 1998 - Expansão do sistema plantio direto no Rio Grande do Sul. Séries solos, Informativo EMATER-RS Porto Alegre, V°14, N°2.
- Foster G.R., Young R.A. et Römkens M.J.M., 1985 - Processes of soil erosion by water. In: Soil erosion and crop productivity. Ed. 1985.
- Helms T.C., Deckard E.L., Goos, R.J. et Enz J.W., 1996 - Soil moisture, temperature, and drying influence on soybean emergence. Agronomy Journal, V°88, p. 662-667.
- Kaminski J., 1989 - Acidez do solo e fisiologia de plantas In... Kaminski J., Volkweiss S. J., Becker F. C. (Coord.) II Seminário sobre corretivos da acidez do solo. Santa Maria, p. 39-61.
- Kaminski J., Rheinheimer D.S., Santos E. J. S., Gatiboni L. C. et Bortoluzzi E. C., 2000 - Resposta de culturas à aplicação de calcário em superfície ou incorporado ao solo em plantio direto. Ci. Rural, Santa Maria v.30, N°4. p. 605-609.
- Peltier O., 2001 - Raisonement du chaulage des prairies: influence sur la production et la qualité des fourrages. In... Colloque l'acidification des sols: origine, approche, enjeux et maîtrise. ED. AFES, INRA, Versailles, 4 à 5 avril, 58 p.
- Raj B., 1989 - Acidez e calagem In... KAMINSKI, J., VOLKWEISS, S. J., BECKER, F. C. (Coord.) II Seminário sobre corretivos da acidez do solo. Santa Maria, p. 74-100.
- Rheinheimer D. S., Santos E. J. S., Kaminski J. et Xavier F.M., 2000a - Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. Ci. Rural, Santa Maria, V°30, N° 2. p. 263-268.
- Rheinheimer D.S., Santos E.J.S., Kaminski J., Bortoluzzi E.C. et Gatiboni, L.C., 2000b - Alteração de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. R. Bras. Ci Solo, Campinas, V°24, p. 797-805.
- Salet R.L., 1994 - Dinamica de ions na solução de um solo submetido ao sistema plantio direto. Dissertação de mestrado UFRGS. P. 100
- Shoemaker H.E., Mclean E. O. et Pratt P.F., 1961 - Buffer methods for determining lime requirement of soils with appreciable amounts of extractable aluminium. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 25: 274-277.
- Sidiras N. et Pavan M. A., 1985 - Influência do sistema de manejo de solo no seu nível de fertilidade. R. Bras. Ci Solo, Campinas, V°9, p. 249-254.
- Teasdale J. R. et Mohler C. L., 1993 - Light transmittance, soil temperature, and soil moisture under residue of hairy vetch and rye. Agronomy Journal, Madison, V°85, p. 673-680.
- Tedesco M. J., Volkweiss S. J. et Bohnen H., 1985 - Analises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, UFRGS, (Bol technique 5).
- Tessier D., 2001 - Influence des charges superficielles sur les propriétés physiques des sols. In... Colloque l'acidification des sols: origine, approche, enjeux et maîtrise. Ed. AFES, INRA, Versailles, 4 à 5 avril, 58 p.
- UFMS, 2000 - Inventarion florestal do Rio Grande do Sul, UFMS, Santa Maria. Bol téc. p. 200.
- Wiethölter S., 1997 - Historico e perspectivas da pratica de calagem no Brasil. In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO. Rio de Janeiro, RJ. Anais... Conferências. CD-ROM 28 p.

