

A Biodynamic Agriculture Model Based on Rock Dust: A Case Study in Campos Novos, Roraima, Brazil

Cristiano Trindade De Angelis *

Independent researcher, Planning Ministry, Brazil

* E-mail of the corresponding author: cristianotrindade@protonmail.com

Abstract

The success of using rock dust as a non-chemical fertilizer, a major asset of biodynamic agriculture, has led to a large amount of research, often highly theoretical, sometimes overlooking common trade-offs in agriculture. For example, soil enrichment can increase potential carbon loss, while a high sodium concentration increases the risk of soil hardening. Researchers have shown that correcting soil nutritional deficiencies can also be achieved through the application of finely ground rocks, such as rock phosphates, gypsum, mafic and ultramafic rocks, and more recently silicate rocks. These are abundant and often available as fine residues from grinding processes in quarries. According to these researchers, rocks contain many nutrients, including K, Ca, and Mg, making the systematic use of laboratory analyses unnecessary, in their view. In other words, most researchers avoid the joint analysis of rocks and soils, particularly geochemical and mineralogical analyses, preferring to highlight, through literature reviews, the benefits of sustainable fertilizers. This includes the improvement of soil warming or soil regeneration, in contrast to the high costs comparable to those of fossil fuels. Furthermore, they do not consider rock dust as a “homemade” biodynamic fertilizer. The difficulty for cooperatives to acquire grinding machines requires a closer relationship between agriculture and geological expertise, in order to be able to analyze both rocks and soils (compatibility studies). This also requires a union between farmers to initiate this “innovation” and build their own grinders on the farm. Therefore, the research question posed is: how does culture link to knowledge and intelligence to determine the type of culture needed for effective biodynamic agriculture? This work therefore proposes two complementary research models. In addition to the Culture-Knowledge-Intelligence (CKI) model, the article presents a biodynamic agriculture model: a mature approach to better exploit the resources available on the farm itself. The study concludes that this model is useful for small farmers, through cooperatives, to adopt artisanal agricultural practices, such as the use of rock dust as a new fertilizer, alone or mixed with manure.

Keywords: family farming, cooperatives, knowledge management, cultural intelligence, local solutions

DOI: 10.7176/JESD/16-4-03

Publication date: June 30th 2025

Un modèle d'agriculture biodynamique basé sur la poussière de roche : une étude de cas à Campos Novos, Roraima, Brésil

Résumé

Le succès de l'utilisation de la poussière de roche comme engrais non chimique un atout majeur de l'agriculture biodynamique a donné lieu à de nombreuses recherches, souvent très théoriques, négligeant parfois des compromis courants en agriculture. Par exemple, l'enrichissement du sol peut accroître la perte potentielle de carbone, tandis qu'une concentration élevée en sodium augmente le risque de durcissement du sol.

Les chercheurs ont montré que la correction des carences nutritionnelles du sol peut également se faire par l'application de roches finement broyées, comme les phosphates naturels, le gypse, les roches mafiques et ultramafiques, et plus récemment les roches silicatées. Celles-ci sont abondantes et souvent disponibles sous forme de résidus fins issus des processus de broyage dans les carrières. Selon ces chercheurs, les roches contiennent de nombreux nutriments notamment K, Ca et Mg, rendant inutile, à leurs yeux, le recours systématique à des analyses en laboratoire.

Autrement dit, la plupart des chercheurs évitent l'analyse conjointe des roches et des sols en particulier les analyses géochimiques et minéralogiques, préférant mettre en avant, via des revues de littérature, les bénéfices des engrais durables. Cela inclut l'amélioration du réchauffement du sol ou la régénération des sols, en contraste avec les coûts élevés comparables à ceux des carburants fossiles.

En outre, ils ne considèrent pas la poussière de roche comme un engrais biodynamique « fait maison ». La difficulté pour les coopératives à acquérir des machines de broyage exige une relation plus étroite entre agriculture et expertise géologique, afin de pouvoir analyser à la fois les roches et les sols (études de compatibilité). Cela nécessite également une union entre agriculteurs pour initier cette « innovation » et construire leurs propres broyeurs à la ferme.

C'est pourquoi la question de recherche posée est : comment la culture se lie-t-elle à la connaissance et à l'intelligence pour déterminer le type de culture nécessaire à une agriculture biodynamique efficace ?

Ce travail propose donc deux modèles de recherche complémentaires. En plus du modèle Culture-Connaissance-Intelligence (CKI), l'article présente un modèle d'agriculture biodynamique : une approche mature pour mieux valoriser les ressources disponibles sur l'exploitation elle-même. L'étude conclut que ce modèle est utile pour que les petits agriculteurs, via des coopératives, adoptent des pratiques agricoles artisanales, comme l'utilisation de la poussière de roche comme nouvel engrais, seul ou mélangé à du fumier.

Mots-clés : agriculture familiale, coopératives, gestion des connaissances, intelligence culturelle, solutions locales

1. Introduction

1. Reminéralisation du sol à l'aide de la poussière de roche

Der Bauwhede (2024) souligne que la définition de la poussière de roche a évolué au fil du temps selon les auteurs. Aujourd'hui, une définition largement acceptée désigne par « poussière de roche » une poudre fine issue de roches comme le basalte, le granite, la dolérite ou le grès, contenant des minéraux essentiels et des oligo-éléments. Avec une granulométrie inférieure à 200 mailles (75 μm), elle est principalement utilisée pour améliorer la qualité du sol et stimuler la croissance des plantes. Plusieurs études ont mis en évidence son potentiel pour favoriser l'activité microbienne du sol, augmenter la productivité végétale et soutenir le cycle des nutriments.

Outre les avantages déjà mentionnés, il a été démontré que la poussière de roche améliore la capacité d'échange cationique (Anda et al., 2015) et la rétention d'eau dans les sols sableux (Kahnt et al., 1986). Cependant, certaines poussières de roche sont inefficaces ou contiennent des éléments toxiques à des concentrations préoccupantes. Ainsi, l'efficacité de l'application de roches finement broyées aux sols tropicaux dépend largement de leur composition chimique et minéralogique, des carences du sol et des besoins spécifiques des cultures (Van Straaten, 2017).

Cet avantage est particulièrement pertinent dans les sols très altérés des régions tropicales, où les engrais solubles classiques sont coûteux ou peu disponibles (Swoboda, Döring et Hamer, 2022). Une analyse de 48 essais conduite par ces auteurs a montré le potentiel de la poussière de roche comme source alternative de potassium (K) et amendement multi-nutriments pour les sols tropicaux, alors que ses effets sur les sols tempérés restent incertains. Les résultats les plus prometteurs concernent les roches mafiques et ultramafiques telles que le basalte, ou celles contenant de la néphéline ou de la glauconite. Parmi les diverses poudres de roches silicatées (PRS), la poudre de basalte se distingue particulièrement. Riche en silicates de magnésium (Mg) et de fer (Fe), avec un pH basique, le basalte fournit aussi des nutriments essentiels comme le phosphore (P), le potassium (K), le calcium (Ca), et plusieurs micronutriments (Swoboda, Döring et Hamer, 2022).

Viana, Caetano et Pontes (2021) décrivent une technique associant des doses modérées de poudre de basalte à des quantités plus importantes de fumier de bétail. Bien que diverses approches existent, la plus efficace semble être la combinaison de la poussière de roche avec un autre type d'engrais. Da Silva et al. (2017) insistent sur le fait que l'intégration des poudres de roche à des matières organiques qui favorisent l'activité biologique peut influencer le processus d'altération minérale. Cependant, les connaissances restent limitées quant à l'effet de ces matériaux sur la dissolution des roches terrestres, notamment la poudre de basalte.

Enfin, le pâturage animal a montré un bilan positif en potassium (K), avec seulement 0,1 % du potassium total exporté, ce qui en fait un élément clé du recyclage des nutriments. L'étude indique que les déjections animales apportent une quantité importante de K, contribuant à maintenir un niveau élevé de potassium disponible dans le sol — élément crucial pour la nutrition des cultures commerciales (Nogueira et al., 2024).

Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre l'utilisation des poudres de roches silicatées (PRS) lorsqu'elles sont combinées avec du calcaire, des engrais chimiques ou du fumier animal. En particulier, les études devraient porter sur le type de roche utilisé, la nature du sol, la culture concernée, ainsi que les quantités appliquées, comme l'illustre la figure 1 ci-dessous.

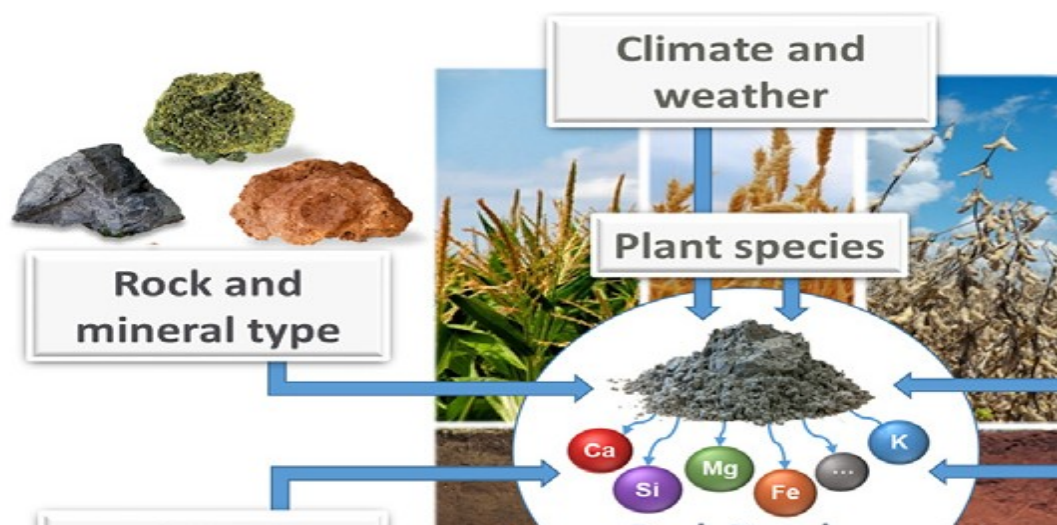


Figure 1 – Facteurs influençant l'utilisation des poudres de roches silicatées (PRS) (Swoboda, Döring & Hamer, 2022)

Il en ressort que divers chercheurs ont utilisé différents types de poussières de roche à des doses variées, ce qui a conduit à des résultats incohérents. Cette variation peut être attribuée au fait que l'efficacité de l'application de la poussière de roche dépend entièrement de sa composition minéralogique, ainsi que des nutriments essentiels déjà présents dans le sol (Ramezani et al., 2015). En d'autres termes, l'efficacité de cette application repose sur plusieurs facteurs : les propriétés physico-chimiques du sol, les niveaux de concentration de polluants, le type de culture, le climat de la région, la présence microbienne, la nature spécifique de la poussière de roche et les minéraux qu'elle contient (Der Bauwhede et al., 2024).

Bergmann et Holanda (2014) expliquent que pour envisager l'utilisation d'une roche comme reminéralisant du sol, il est essentiel d'analyser ces processus par la pétrographie. Cette méthode permet d'identifier les minéraux, leur texture, leur ordre de cristallisation, la taille des grains et leur intégrité globale. De plus, les matériaux ajoutés au sol doivent répondre à des critères rigoureux, notamment en ce qui concerne les limites d'éléments nocifs ou potentiellement dangereux, tels que les métaux lourds toxiques ou les composants susceptibles de contribuer à la salinisation du sol, ou d'introduire des minéraux inertes dégradant la structure du sol, comme certains composés de sodium ou le quartz.

L'application de poussière de roche a suscité un intérêt croissant en tant que méthode efficace pour traiter les sols contaminés. Cette technique favorise non seulement la santé du sol et la croissance des plantes, mais contribue aussi à la gestion des déchets solides, en permettant la valorisation de roches rejetées sous forme de poussière pour la restauration des sols.

Malgré ce potentiel prometteur, la recherche reste limitée, et des études complémentaires sont nécessaires pour évaluer plus largement l'applicabilité de cette solution. Après 120 jours, certaines études ont montré une augmentation de la masse sèche des graines de $21 \pm 9\%$ dans les sols traités à la poussière de roche, sans absorption mesurable d'éléments potentiellement nocifs issus du basalte (Der Bauwhede et al., 2024).

Chakraborty, Singh et Hazra (2023) ont constaté que les déchets miniers sous forme de poudre ont été utilisés dans plusieurs pays pour l'assainissement des sols et leur reminéralisation (Hensel, 1894 ; Oldbeld, 1996 ; Dumitru et al., 1999 ; Jakubowski et al., 2013 ; Li & Dong, 2013 ; Ramos et al., 2015, 2017, 2020, 2021 ; Burbano et al., 2022).

Ainsi, l'évaluation des propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols autour des mines de charbon, ainsi que l'analyse des matériaux stériles pour une correction potentielle, s'avère essentielle. Ces études approfondiront notre compréhension de l'amélioration de la fertilité des sols, de l'implantation de cultures variées et de la réhabilitation des résidus miniers.

Il est largement reconnu que la pollution des sols augmente progressivement, en particulier à proximité des zones d'extraction du charbon — un problème abordé par de nombreux chercheurs dans le monde (Niu et al., 2015 ; Mastro et al., 2015 ; Maya et al., 2015 ; Pandey et al., 2016 ; Raj et al., 2017 ; Jiya et al., 2019 ; Wang et al., 2019 ; Siddique et al., 2020 ; Fang et al., 2021).

Un autre avantage majeur de la poussière de roche réside dans sa capacité à améliorer le potentiel

de séquestration du carbone du sol (Szmidt & Ferguson, 2004). Plusieurs études (Kohler et al., 2010 ; Renforth et al., 2011 ; Manning et al., 2013 ; Rau et al., 2013) ont exploré ce processus à l'aide de diverses poussières de roches silicatées et ont obtenu des résultats encourageants. Le principal mécanisme en jeu repose sur l'altération et la précipitation de carbonates de calcium (Ca) et de magnésium (Mg). L'application de poudre d'olivine ou de poussière de basalte pulvérisée dans les sols agricoles ou forestiers peut accélérer ce processus d'altération, séquestrer d'importantes quantités de CO₂ et atténuer les effets des pluies acides (Schuiling & Krijgsman, 2006).

Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour déterminer les méthodes les plus appropriées, leur rentabilité et leur impact environnemental, en particulier dans les pays à fortes émissions de CO₂, comme le Brésil.

2. Meilleures pratiques et enseignements tirés de l'agriculture biodynamique

Une alternative prometteuse à l'agriculture industrielle — aujourd'hui en déclin en raison de la mécanisation excessive, de la manipulation chimique, de l'usage intensif d'herbicides et du manque de considération pour la conservation de l'environnement — est l'agriculture biodynamique.

Celle-ci va au-delà de l'agriculture biologique en adoptant une approche holistique, écologique et éthique de l'agriculture, du jardinage, de l'alimentation et de la nutrition. Il s'agit d'un mode de vie, de travail et de relation à la nature et aux vocations humaines, qui encourage la conscience du caractère unique de chaque paysage, le développement personnel et la croissance collective des communautés.

Les pratiques courantes de l'agriculture biodynamique incluent la recherche d'autosuffisance en matière d'énergie, d'engrais, de plantes et d'animaux ; l'organisation des activités agricoles selon les rythmes naturels de l'environnement ; l'utilisation diversifiée et saine de plantes, d'engrais et d'animaux ; une approche du travail fondée sur la rigueur, la précision, l'ordre et l'attention aux détails ; ainsi que la ponctualité dans l'exécution des tâches (Paull, 2011).

Campbell et Watson (2012), ainsi que Raupp (2001), ont montré que l'amélioration des sols en agriculture biodynamique repose sur une gestion rigoureuse de l'humus. Cela inclut l'utilisation de fumier bien fermenté et d'engrais organiques, la mise en place de rotations culturales efficaces, la préservation de la structure du sol, ainsi que l'implantation de dispositifs de protection comme les brise-vent, les cultures de couverture, les prairies naturelles et les systèmes de culture diversifiés plutôt que les monocultures. La culture associée est également valorisée, car elle permet une entraide naturelle entre les plantes.

Boicean et Dent (2020) recommandent d'alterner les cultures appauvrissant le sol, comme le maïs, la pomme de terre, le chou et le chou-fleur, avec des cultures régénératrices comme les légumineuses (pois, haricots, trèfle, etc.). Par ailleurs, les cultures à enracinement profond devraient être alternées avec celles à enracinement superficiel, et les cultures exigeantes en engrais associées à celles qui peuvent s'en passer.

Conformément à ces pratiques, la FAO (2021) souligne que les approches agricoles durables peuvent réduire les dommages aux écosystèmes et garantir la sécurité alimentaire, même face à des défis tels que le changement climatique, les conditions météorologiques extrêmes, les sécheresses et autres catastrophes. Ces pratiques contribuent également à l'amélioration continue de la qualité des terres et des sols.

Étude sur le potentiel d'utilisation de la poussière de roche à Roraima

Une étude importante sur l'équilibrage des sols à Roraima a été menée par Bergmann et Holanda (2014), dans le cadre du projet de géodiversité de l'État de Roraima : Géologie du Brésil (2014). Les différents types de sols, combinés aux facteurs climatiques, à la topographie et aux contraintes de gestion, ont permis d'identifier six unités géographiques selon leur potentiel d'utilisation et d'occupation des terres.

La zone la plus appropriée pour l'équilibrage des sols est celle reposant sur des roches mères (diabase, basalte et gabbro), caractérisée par des altérations verticales, et comprenant des argisols rouges, des oxisols rouges, des vertisols, des cambisols et des nitisols. À Roraima, les sols sont généralement peu fertiles et fortement acides, ce qui représente un défi majeur pour leur utilisation agricole. Cependant, les sols eutrophes — bien que présents

sur des surfaces restreintes — possèdent un potentiel agricole plus élevé et sont davantage exploités, bien qu'ils souffrent encore d'un faible niveau technologique, du fait de leur localisation dans des zones de colonisation éloignées ou rurales.

Le manque d'infrastructures adéquates constitue un autre frein à la productivité, avec un réseau routier insuffisant pour assurer la livraison en temps voulu des intrants et un écoulement efficace de la production. À cela s'ajoutent la faible qualification de la main-d'œuvre locale et l'insuffisance des investissements publics.

Malgré ces contraintes, le climat équatorial de l'État offre des conditions propices à l'agriculture, permettant des rendements supérieurs à ceux d'autres régions du Brésil.

Surmonter ces obstacles est essentiel pour stimuler la croissance économique, favoriser l'inclusion sociale des communautés autochtones et promouvoir un développement durable.

Les pratiques agricoles durables, notamment l'amendement des sols par des poudres de roche, jouent un rôle clé dans la résolution de ces problèmes.

L'agriculture à Roraima est principalement pratiquée dans la région de La Savane (La Sabana), où dominent divers types de sols : les canisols (jaunes, jaune-rouge et rouges), les argisols (rouges et jaune-rouge) et les néosols (quartzariques hydromorphes, organiques, fluviqes ou superficiels). Ces sols se caractérisent par une faible saturation en bases, une capacité d'échange cationique réduite et une forte acidité. Le taux de phosphore assimilable y est particulièrement bas, rendant nécessaires des corrections régulières du pH.

Les sols les plus fertiles de l'État se situent dans les zones de roche mère, notamment :

Le seuil de Pedra Preta dans la région d'Uiramutã,

Les roches volcaniques de la formation d'Apoteri à proximité de Nova Olinda,

Et la zone de Taiano.

Les meilleures terres du domaine volcanique basaltiques se trouvent à :

Vila do Taiano (nord-ouest de Roraima),

La Sierra de Nova Olinda (centre de Roraima),

Et autour de la communauté indigène de Flechal à Uiramutã.

Ces régions présentent des sols issus de roches basaltiques de la formation d'Apoteri, tels que les oxisols rouges, les sols organiques en pente, les cambisols, ainsi que des nitisols associés aux diabases, diorites et gabbros du seuil de Pedra Preta. Ces zones affichent un relief prononcé avec une topographie fortement ondulée, sous couvert forestier dense.

La figure 1 illustre un échantillon de diabase prélevé à Taiano, dans la municipalité d'Alto Alegre, ayant donné un résultat fortement positif au test de phosphomolybdate.

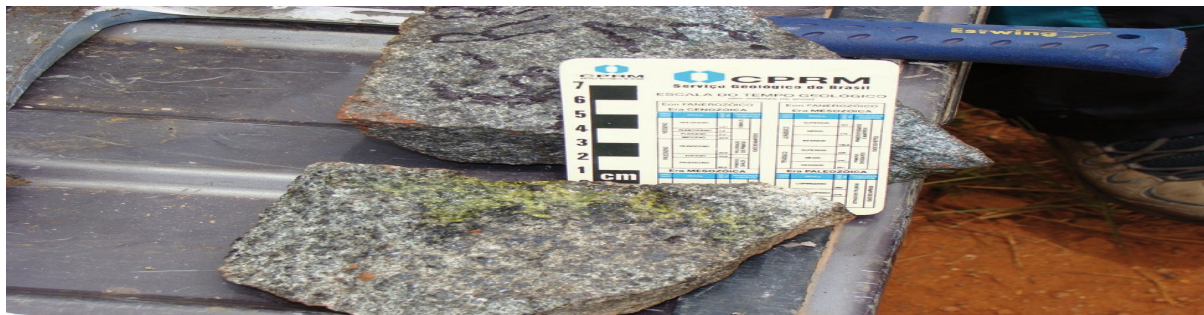


Figure 1 — Échantillon de diabase de Taiano (municipalité d'Alto Alegre) avec un test de phosphomolybdate fortement positif

Outre la municipalité d'Alto Alegre, la municipalité d'Iracema est également citée pour la présence de minéraux tels que les terres rares, le niobium, le baryum et le phosphate.

Dans le contexte de l'agriculture familiale brésilienne, les poudres de roche sont souvent utilisées en association avec des résidus d'origine biologique (fumier animal et engrais verts). Les agriculteurs produisent fréquemment leurs propres apports via le compostage, un processus facilité par une série de micro-organismes, ce qui améliore l'efficacité de l'extraction des nutriments.

L'azote (N) est généralement apporté par les cultures d'engrais verts, et des plantes comme *Tithonia diversifolia* (connue sous le nom de fleur de miel) sont également utilisées. Cette plante est capable de concentrer jusqu'à 4,3 % de potassium (K) dans ses feuilles et tiges, qui sont ensuite incorporées au compost (Palm et al., 1997, cité par Van Straaten, 2007). Le succès de ce processus repose sur l'interaction entre la microflore des roches présentes dans le sol et les particularités des systèmes d'extraction racinaire des plantes (Mundstock, 2013).

Selon les résultats préliminaires de l'étude, la poussière de roche peut être appliquée à toutes les cultures, avec des tailles de particules allant de 0,105 à 4,0 mm — des granulométries similaires à celles du calcaire —, soit par épandage manuel, soit à l'aide de machines agricoles. Les doses varient selon le type de sol et la culture concernée, allant de 0,5 à 8 tonnes par hectare.

Compte tenu des usages et des performances déjà observées lors d'essais agronomiques, on peut affirmer qu'au Brésil, les roches volcaniques à composition basique de la formation Serra Geral (notamment les basaltes et les diabases des régions Sud, Sud-Est et Centre-Ouest) présentent un bon potentiel pour l'amendement des sols. Ces roches sont souvent disponibles sous forme de fines issues de carrières de concassage. Bien qu'elles aient une teneur en silice relativement faible, elles sont riches en calcium (Ca), en magnésium (Mg) et en fer (Fe), associés à des structures minérales moins résistantes à la solubilisation, ce qui permet leur disponibilité rapide dans le sol, à condition qu'elles soient broyées à une taille de grain appropriée.

Les roches alcalines, riches en potassium (K) et issues de formations volcaniques à matrice microcristalline, sont également très bien adaptées à la reminéralisation des sols.

Au Brésil, la phonolite de Poços de Caldas est, à ce jour, la seule roche autorisée à la commercialisation comme substitut au chlorure de potassium (KCl), un engrais soluble largement importé et utilisé dans l'agriculture brésilienne (Cortês et al., 2009).

Il est également essentiel de souligner que l'utilisation de ces roches ne dispense pas d'une analyse des oligo-éléments, afin de quantifier les micronutriments ainsi que les éléments potentiellement toxiques (Bergmann & Holanda, 2014).

3 – Le problème des importations excessives d'engrais chimiques au Brésil

La poussière de roche fournit aux plantes une gamme plus étendue d'éléments nutritifs. En plus des macronutriments tels que le phosphore (P), le potassium (K), le calcium (Ca), le soufre (S) et le magnésium (Mg), selon le type de roche utilisée, elle peut également apporter des micronutriments essentiels tels que le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le fer (Fe), le manganèse (Mn), le molybdène (Mo), le bore (B), le cobalt (Co) et le nickel (Ni).

Dans les engrais à haute solubilité (souvent appelés engrais minéraux classiques), la contribution se limite principalement aux macronutriments comme l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K), bien qu'il existe

aujourd'hui des formulations complexes contenant également du calcium, du magnésium, du soufre et certains micronutriments, principalement le bore (B) et le zinc (Zn). Toutefois, un inconvénient majeur réside dans la forte solubilité de ces nutriments, qui peut être inadaptée aux conditions climatiques brésiliennes, favorisant leur lessivage rapide.

Ainsi, les techniques de reminéralisation des sols sont considérées comme des alternatives viables pour fertiliser les terres appauvries, en compensant la perte progressive des nutriments. Leur importance est particulièrement marquée dans un pays comme le Brésil, qui dépend à environ 65 % des importations de matières premières pour la fabrication de ses engrais. Cette dépendance est d'autant plus préoccupante que la demande dans ce secteur est en forte croissance, avec une projection atteignant 83 % d'importations en 2025 (Bergmann & Holanda, 2014), comme illustré à la figure 2.

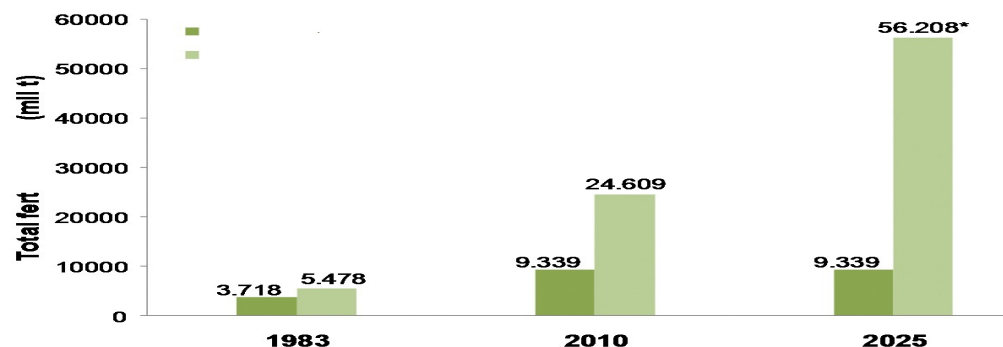


Figure 2 – Graphique de la production et de la demande d'engrais au Brésil. Adapté de Martins (2013). Source : ANDA (2011). Projet Mbagro.

Selon Goulart et al. (2023), la région de Novos Campos, à Roraima, abrite des minéralisations de phosphate d'origine magmatique associées à l'association anorthosite–manager–charnockite–shanite (AMCG). De plus, cette région présente des gisements magmatiques-hydrothermaux ainsi que des minéraux contenant des éléments de terres rares (ETR), liés à des complexes volcaniques et plutoniques alcalins. Les unités de gabbronorite et d'anorthosite de l'association AMCG de Mucajaí sont identifiées comme la principale ressource en phosphate de la région.

La forte dépendance du Brésil vis-à-vis des importations d'engrais rend le pays vulnérable aux fluctuations du marché international, telles que les variations du taux de change, les changements dans les politiques commerciales et les difficultés logistiques. Ces facteurs peuvent perturber l'approvisionnement régulier en engrais, dont dépendent fortement les agriculteurs brésiliens, compromettant ainsi la production agricole et la sécurité alimentaire nationale.

Les importations d'engrais impliquent de longues distances de transport et nécessitent des infrastructures adaptées pour leur acheminement, leur stockage et leur distribution. Les coûts logistiques élevés incluant le transport maritime, le stockage et la distribution interne augmentent le prix final des engrais importés. Cela nuit à la viabilité économique de ces produits, les rendant plus chers pour les agriculteurs et réduisant leur compétitivité sur le marché.

La charge budgétaire importante, notamment due aux taxes ICMS sur les engrais importés, exerce une pression supplémentaire sur le secteur agricole brésilien et sur la sécurité alimentaire, contribuant in fine à la hausse des prix des denrées pour les consommateurs.

En réponse à cette problématique, le gouvernement fédéral brésilien a lancé, en novembre 2022, le Plan National des Engrais (PNF), dont l'objectif est de réduire la dépendance du pays aux importations d'engrais et de guider le développement du secteur jusqu'en 2050. Toutefois, certains obstacles culturels freinent encore ce processus : les agriculteurs restent souvent réticents à adopter des pratiques alternatives, comme celles issues de l'agriculture biodynamique. Les petits producteurs sont confrontés à un manque d'information et de formation sur ces méthodes, tandis que les exploitants de taille moyenne et grande sont déjà habitués à l'utilisation d'engrais chimiques importés.

En outre, il existe un manque de législation et d'initiatives gouvernementales facilitant l'accès à des alternatives

aux engrais chimiques, telles que la construction de concasseurs de roche, la réalisation d'analyses physico-chimiques des sols et l'accès aux résultats de la recherche scientifique menée par Embrapa, le Service géologique du Brésil (SGB) et d'autres institutions connexes.

La loi n° 12.890, adoptée le 10 décembre 2013, encadre l'inspection et le contrôle de la production et de la commercialisation des engrais, des amendements, des inoculants, des biofertilisants, des reminéralisants et des substrats pour les plantes. Elle établit des directives importantes concernant l'utilisation de ces produits en agriculture.

L'Instruction Normative n° 39, datée du 8 août 2018, précise les définitions, exigences, spécifications, garanties, procédures d'enregistrement, autorisations, normes d'emballage et d'étiquetage, documentation commerciale, règles de publicité et tolérances applicables aux engrais minéraux destinés à l'agriculture.

Le ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de l'Approvisionnement (MAPA) a également standardisé les procédures de production, d'enregistrement et de commercialisation des reminéralisants, communément appelés « poussière de roche ». Cette roche, broyée et tamisée, est utilisée pour améliorer la qualité physique et chimique des sols. Bien qu'elle diffère des engrais classiques en termes de solubilité et de concentration, elle présente des effets complémentaires. Grâce à cette nouvelle réglementation, les consommateurs peuvent désormais vérifier la qualité de ces produits, qui devront être officiellement enregistrés auprès du MAPA.

Les Instructions Normatives n° 5 et 6, publiées au Journal officiel de l'Union le lundi 14 [mois à préciser], établissent plusieurs exigences pour les fabricants, afin de garantir la fourniture de produits de qualité et sécuritaires. Ces réglementations détaillent également les règles à suivre durant le processus d'enregistrement.

La réglementation des reminéralisants représente une alternative précieuse pour les agriculteurs brésiliens, qui dépendent déjà d'amendements à base de calcaire et de minéraux pour restaurer la fertilité des sols. Cette demande de longue date, notamment de la part des producteurs biologiques qui évitent les engrais minéraux solubles mais sont ouverts à l'utilisation de « poussière de roche », a enfin été prise en compte grâce à l'adoption de cette nouvelle législation, comme en atteste sa publication dans le Journal officiel de l'Union.

3 - Méthodologie de recherche

Cette étude utilise une méthodologie de revue intégrée de la littérature afin de mieux comprendre l'impact de la culture sur les connaissances et l'intelligence.

Snyder (2019) affirme que la revue de littérature, en tant que méthode de recherche, est aujourd'hui plus pertinente que jamais. Les revues de littérature traditionnelles exigent minutie et rigueur, mais sont souvent réalisées de manière ad hoc, sans suivre une méthodologie spécifique.

Dans cet article, il sera soutenu que la revue de littérature peut apporter des contributions théoriques et pratiques importantes. Nous clarifierons ce qu'est une revue de littérature, comment l'utiliser et quels critères doivent être appliqués pour évaluer sa qualité.

Il existe plusieurs lignes directrices pour réaliser des revues de littérature, suggérant différents types : revues narratives ou intégratives (par exemple, Baumeister et Leary, 1997 ; Wong, Greenhalgh, Westhorp, Buckingham et Pawson, 2013), revues systématiques et méta-analyses (par exemple, Davis, Mengesen, Bennett et Mazero-Lisse, 2009 ; Moher, Liberati, Tetzlaff et Altman, 2009), ainsi que des revues intégrées (par exemple, Torracco, 2005). Des directives spécifiques ont également été élaborées pour la recherche en gestion ou en entreprise (par exemple, Palmatier, Houston et Hulland, 2018 ; Tranfield et al., 2003).

Cet article réalise une revue intégrée de la littérature sur les poudres de roche silicatée (SRP), la fixation biologique de l'azote, la culture, la gestion des connaissances et l'intelligence organisationnelle.

L'intégration s'opère non seulement dans la revue de littérature elle-même, en montrant l'intersection entre ces concepts à travers différentes sources, mais aussi à travers deux modèles de recherche où ces constructions sont présentes.

4 - Le modèle Culture – Connaissance – Intelligence

Kroeber (1949) affirme que ce qui distingue les humains des animaux, c'est la culture. Puisque les humains transcendent leurs limites organiques, la culture devient un processus cumulatif, chaque individu s'appuyant sur les expériences de ses prédécesseurs, contribuant ainsi au développement culturel.

La culture, plus que la génétique, façonne le comportement et dicte les actions.

Les humains vieillissent selon les normes culturelles de leur société. Leur instinct est partiellement réprimé en raison du vaste « processus évolutif » qu'ils traversent.

La culture est un processus cumulatif, forgé par les expériences historiques des générations passées. Ce processus peut restreindre ou encourager la capacité d'un individu à agir de manière créative ou non.

S'appuyant sur ces concepts fondamentaux, le modèle Culture-Connaissance-Intelligence (CCI) est développé, comme l'illustre la figure 3.

Les fondements du modèle CCI sont :

(i) La culture est composée des croyances, des valeurs, des hypothèses et des traditions d'une société (Schein, 2010).

(ii) La thèse centrale est que, pour que l'éducation atteigne ses objectifs, le programme doit être restructuré ou reformulé autour des quatre piliers de l'apprentissage : apprendre à connaître, apprendre à faire, apprendre à vivre ensemble et apprendre à être (Smith, 2018).

(iii) Les trois piliers de l'intelligence sont : la prédiction, la stratégie et l'action (Rothberg et Erickson, 2004).

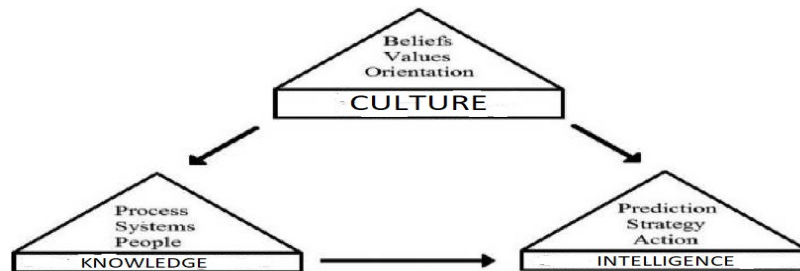


Figure 3- Le modèle de culture-connaissance-intelligence (adapté de Choo, 1998)

Le modèle CCI est basé sur trois hypothèses (tableau I):

Hypothèse	des sources	des résultats
La culture a un impact positif sur les connaissances	Leidner et al. (2006), Deal et Kennedy (1982), ainsi que Tweed et Lehman (2002) suggèrent que la manière dont les individus perçoivent, organisent et traitent l'information, ainsi que la façon dont ils communiquent entre eux, influencent l'organisation, la génération de connaissances et la résolution des problèmes. Tous ces aspects sont étroitement liés à la culture.	soutenu
La culture a un impact positif sur l'intelligence	La culture, plus que la génétique, façonne le comportement et influence les actions des individus (Kroeber, 1949). Urumeme et al. (2023) postulent que des facteurs tels que les valeurs, les normes, les croyances et les pratiques enracinés dans la culture organisationnelle influencent profondément l'environnement global du projet et affectent la dynamique de l'équipe.	soutenu
La connaissance a un impact positif sur l'intelligence	Rothberg et Erickson (2004) soutiennent que la connaissance est statique et qu'elle n'a de valeur que lorsqu'elle est mise en pratique par les individus, c'est-à-dire lorsqu'elle se transforme en intelligence.	soutenu

Tableau I. Hypothèses du modèle CCI

4. Modèle d'agriculture biodynamique

En raison de leur capacité à créer et à appliquer des connaissances collectives, les coopératives ont obtenu des résultats remarquables dans le processus de développement local et national.

Silva et al. (2006) ont constaté que 60 coopératives agricoles ont enregistré une augmentation significative de leurs bénéfices, atteignant 130 %.

Les institutions coopératives se retrouvent dans divers secteurs de l'économie, tels que l'agriculture, la santé, le crédit, les transports, l'éducation, etc. Parmi ces secteurs, celui qui présente la meilleure structuration et bénéficie d'une grande importance tant au niveau national qu'international est l'agriculture.

L'idée de créer des coopératives en milieu rural présente un fort potentiel de formation de capital social, car elle favorise des actions visant à rassembler non seulement les membres coopératifs, mais aussi la communauté locale.

La figure 4 illustre le modèle d'agriculture familiale biodynamique.

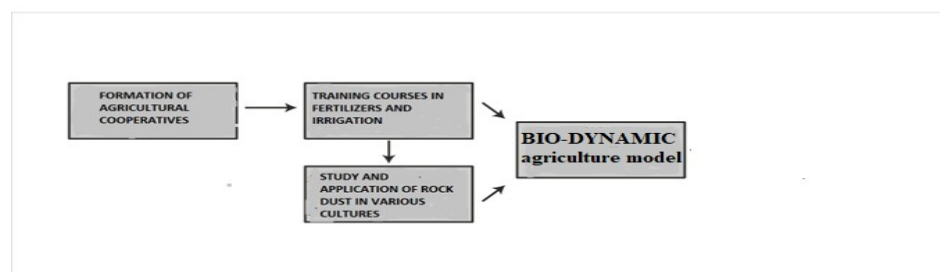


Figure 4 : Modèle d'agriculture familiale biodynamique. Source : Auteur, 2024

Ce modèle d'agriculture biodynamique souligne que les coopératives agricoles constituent la base de ce type d'agriculture. Cependant, pour que les agriculteurs soient motivés à s'unir et à relever leurs défis, il doit exister une culture de soutien qui favorise les opportunités de formation, notamment sur des sujets comme les engrais, abordés dans la section précédente. Ainsi, la mise en place de cours de formation, en particulier sur l'utilisation de la poussière de roche, constitue un fondement clé pour le développement et la durabilité de l'agriculture biodynamique.

De plus, le modèle biodynamique met en évidence que l'évolution culturelle des petits agriculteurs familiaux influence positivement les pratiques de gestion des connaissances au sein des coopératives, ainsi que dans le développement et la mise en œuvre du plan d'accompagnement technique et financier des agriculteurs (renseignement).

Conclusions

L'agriculture biodynamique repose sur un changement culturel mûr, car elle encourage les agriculteurs à développer des solutions basées sur les ressources naturelles disponibles dans leurs exploitations. Cet article a réalisé une revue de littérature sur la poussière de roche et la fixation biologique de l'azote pour explorer comment une telle culture peut être développée. Il a également proposé deux modèles interconnectés : le modèle culture-connaissance-intelligence et le modèle d'agriculture biodynamique, qui mettent l'accent sur la création et le partage des connaissances via les coopératives.

L'étude a révélé la nécessité de recherches approfondies pour surmonter les défis liés à la dissolution des poudres de roches silicatées (SRP) dans diverses cultures, en tenant compte de la qualité et de la quantité de ce matériau. Un potentiel existe également pour explorer des combinaisons de SRP avec du calcaire, du fumier animal, voire des engrais chimiques.

Toutes ces recherches se déroulent dans un cadre collaboratif entre agriculteurs et chercheurs, facilité par les coopératives. Il est donc essentiel de comprendre l'impact de la culture sur les connaissances et l'intelligence afin de construire une base culturelle solide pour appliquer efficacement les connaissances pertinentes.

Références

- Abreu, Katia (2016). Mapa regulamenta produção, registro e comércio do pó de rocha na agricultura. Disponível em <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-regulamenta-producao-registro-e-comercio-do-po-de-rocha-na-agricultura>
- Anda M, Shamshuddin J, Fauziah CI (2015) Improving chemical properties of a highly weathered soil using finely ground basalt rocks. *Catena*. 124:147-161
- Assad, Maria-Leonor & Rosa-Magri, Márcia & Erler, Greice & Antonini, Sandra. (2006). SOLUBILIZAÇÃO DE PÓ-DE-ROCHA POR ASPERGILLUS NIGER.
- Bamberg, A. & Martinazzo, Rosane & Silveira, Carlos & Pillon, C. & Stumpf, Lizete & Bergmann, Magda & van Straaten, Peter & Martins, Eder. (2023). Selected rock powders as sources of nutrients for soil fertilization and maize-wheat grain production in southern Brazil. *The Journal of Agricultural Science*. 161. 1-43. 10.1017/S002185962300062X.
- BATISTA, Nayra Thaís Ferreira; et al. Atributos químicos de um latossolo vermelho amarelo sob cultivo de soja e sorgo submetido ao uso de basalto moído. In: III Congresso Brasileiro De Rochagem, 2016, Pelotas. Anais p 240-247. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília: Embrapa Cerrados; Assis: Triunfal Gráfica e Editora, 2016. 455 p.: il
- Bauwhede, R. D. Muys, B. Vancampenhout, K. Smolders, E. Accelerated weathering of silicate rock dusts predicts the slow-release liming in soils depending on rock mineralogy, soil acidity, and test methodology, *Geoderma*, 2024. Volume 441.
- Bellemare, M. F. Rising Food Prices, Food Price Volatility, and Social Unrest. *American Journal of Agricultural Economics*, 2015. 97(1), 1–21. <http://www.jstor.org/stable/24476998>.
- Boincean, B. Dent, D. Soil fertility – the only possible foundation for more sustainable agriculture. *BIO Web of Conferences*. 2020. 17. 00119. 10.1051/bioconf/20201700119.
- BRAZIL. Ministry of Agriculture, Livestock and Food Supply (2016) Normative Instruction 652 nº 05, 10 mar 2016. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 14 mar.2016
- Calabrese S, Wild B, Bertagni MB, Bourg IC, White C, Aburto F, Cipolla G, Noto LV, Porporato A. Nano-to global-scale uncertainties in terrestrial enhanced weathering. *Environmental Science and Technology*. 2022.56(22):15261-15272.
- Camargo, C.K., J.T.V. De Resende, L.K.P. Camargo, A.S.T. Figueiredo & D.S. Zanin. Produtividade do morangueiro em função da adubação orgânica e com pó de basalto no plantio. *Semina: Ciências Agrárias*, 2012. v. 33, n. 1, p. 2985-2993
- Campbell, W.B.; Ortiz, S.L Integrating Agriculture, Conservation and Ecotourism: Societal Influences. *Issues in Agroecology – Present Status and Future Prospectus*. 2012.
- Choo, C.W. *The Knowing Organisation*, Oxford University Press, New York, NY.1998.
- Conceição, Lucas & Silva, Gutierrez & Holsback, Heverton & Oliveira, Caroline & Marcante, Nericles & Martins, Eder & Santos, Fabio & Santos, Elcio. Potential of basalt dust to improve soil fertility and crop nutrition. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2022. 10. 100443. 10.1016/j.jafr.2022.100443.
- Curtis, J., Luchese, A.V., & Missio, R.F. Application of soil remineralizer to poultry litter as an efficient and sustainable alternative for fertilizing maize crop. *Journal of Plant Nutrition*, 2022. 46, 423 – 438.
- DA SILVA, V.A; DA SILVA, L.E.S.F.; DA SILVA, A.J.N. et al. Solubility curve of rock powder inoculated with microorganisms in the production of biofertilizers. *Agriculture and Natural Resources*, v.51, p.142-147, 2017
- De Vries, W., de Jong, A., Kros, J., Spijker, J. The use of soil nutrient balances in deriving forest biomass harvesting guidelines specific to region, tree species and soil type in the Netherlands. 2021. *For. Ecol. Manag.* 479, 118591
- DOS SANTOS, Luiz Fernando; et al. Nutrição de milho após adição de sienito e substâncias húmicas. In: III Congresso Brasileiro De Rochagem, 2016, Pelotas. Anais p 427-434. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília: Embrapa Cerrados; Assis: Triunfal Gráfica e Editora, 2016. 455 p.: il.
- Embrapa. 2016. Fixação biológica de Nitrogênio. Disponível em <https://www.embrapa.br/tema-fixacao-biologica-de-nitrogenio>
- FAO. An indispensable resource for everyone interested in food and agriculture. 2021. Available here: <https://www.fao.org/newsroom/detail/an-indispensable-resource-for-food-agriculture-031121/en>
- Goulding KWT (2016) Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. *Soil Use Manag.* 32:390-399. 691 <https://doi.org/10.1111/sum.12270>.
- Graveland, J., van der Wal, R., van Balen, J.H., van Noordwijk, A.J. Poor reproduction in forest passerines from decline of snail abundance on acidified soils. *Nature* 368, 1994. p.446–448.
- GRECCO, Matheus Farias; et al. Dinâmica de liberação de nutrientes em colunas de lixiviação a partir de rocha

- vulcânica hidrotermalizada, rincão dos francos, Bagé/RS. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 2016, Pelotas. Anais p 173-178. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília: Embrapa Cerrados; Assis: Triunfal Gráfica e Editora, 2016. 455 p.: il.
- Guimarães, Gelton & Cantú, Rafael & Scherer, Ramon & Beltrame, André & Haro, Marcelo. (2020). Banana crop nutrition: insights into different nutrient sources and soil fertilizer application strategies. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 44. 10.36783/18069657rbcs20190104.
- Hammerschmitt, R. K. Daniela Basso Facco, Gerson Laerson Drescher, Fábio Joel Kochem Mallmann, Fábio Benedito Ono, Leandro Zancanaro, Danilo “Rheinheimer” dos Santos, Limestone and gypsum reapplication in an oxisol under no-tillage promotes low soybean and corn yield increase under tropical conditions, *Soil and Tillage Research*,
- Hanisch, Ana Lúcia & Cantú, Rafael & Gonçalves, Guilherme & Justen, Juliane. (2024). Potencial do pó de basalto como remineralizador de solo em sistemas de produção de hortaliças. *Agropecuária Catarinense*. 37. 25-30. 10.52945/rac.v37i1.1788.
- Hoang Giang Hong, Bui Thi Phuong Thuy, Chitsan Lin, Dai-Viet N. Vo, Huu Tuan Tran, Mahadi B. Bahari, Van Giang Le, Chi Thanh Vu, The nitrogen cycle and mitigation strategies for nitrogen loss during organic waste composting: A review, *Chemosphere*, Volume 300, 2022,
- Ingole, Sangita. A Review on Role of Physico-Chemical Properties in Soil Quality. *Chemical Science Review and Letters*. 2015. 4. 57-66.
- Jacobsen, B.H., Latacz-Lohmann, U., Luesink, H., Michels, R., Ståhl, L. Costs of regulating ammonia emissions from livestock farms near Natura 2000 areas analyses of case farms from Germany, Netherlands and Denmark. *J. Environ. Manage*. 2019. 246, 897–908.
- Kahnt G, Pfliegerer H, Hijazi LA (1986) Effect of amelioration doses of rock powder and rock sand on growth of agricultural plants and on physical characteristics of sandy and clay soil. *J Agron Crop Sci*. 157(3):169-180
- Kroeber, A. L. The Concept of Culture in Science. *The Journal of General Education*. Vol. 3, No. 3 , pp. 182-196 (15 pages). Published By: Penn State University Press. 1949.
- Leidner, D.E., Alavi, M., & Kayworth, T.R. The Role of Culture in Knowledge Management: A Case Study of Two Global Firms. *Int. J. e Collab.*, 2006. 17-40.
- via enhanced weathering. *Appl. Geochem*. 132, 105023
- Lindström K, Mousavi SA. Effectiveness of nitrogen fixation in rhizobia. *Microb Biotechnol*. 2020 Sep;13(5):1314-1335. doi: 10.1111/1751-7915.13517. 2019. Epub. PMID: 31797528; PMCID: PMC7415380.
- Luchese AV, Pivetta LA, Batista MA, Steiner F, Giarretta APS, Curtis JCD Agronomic feasibility of using basalt powder as soil nutrient remineralizer. *Afr J Agric Res* 17:487–497. 2021. [https:// doi.org/ 10. 5897/ AJAR2 020. 15234](https://doi.org/10.5897/AJAR2020.15234)
- Manning, D.A.C., Theodoro, S.H.. Enabling food security through use of local rocks and minerals. *Extr. Ind. Soc*. 7. 2020. 480–487
- Meriño-Gergichevich C, Alberdi M, Ivanov AG, Reyes-Díaz M (2010) Al³⁺-Ca²⁺ Interaction in plants growing in acid soils: Al-phytotoxicity response to calcareous amendments. *J Soil Sci Plant Nut*. 10:217-243.
- Moreira, F.M.S. & Siqueira, J.O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 729p.
- Organicospro (2018). Pó de rocha na agricultura orgânica. Disponível em <https://www.organicospro.com.br/po-de-rocha-na-agricultura-organica>
- Paull, John. Attending the First Organic Agriculture Course: Rudolf Steiner's Agriculture Course at Koberwitz. *European Journal of Social Sciences – Volume Number*. 21. 2011.
- PENHA, M. da N. C.; BERNARDI, A. C. de C.; SOUZA, G. B. de; NOGUEIRA, A. R. de A. (2016). EMBRAPA PECUÁRIA SUDESTE. Caracterização analítica e avaliação agrônômica de rochas silicatadas como fontes de potássio. Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1065222/caracterizacao-analitica-e-avaliacao-agronomica-de-rochas-silicatadas-como-fontes-de-potassio>
- Rafael RBA, Fernandez-Marcos ML, Cocco S, Ruello ML, Weindorf DC, Cardelli V, Corti G (2017) Assessment of potential nutrient release from phosphate rock and dolostone for application in acid soils. *Pedosphere*
- Ramos, C. G. James C. Hower, Erika Blanco, Marcos Leandro Silva Oliveira, Suzi Huff Theodoro. Possibilities of using silicate rock powder: An overview, *Geoscience Frontiers*, Volume 13, Issue 1.2022.
- Raupp, Joachim. Manure Fertilization for Soil Organic Matter Maintenance and its Effects Upon Crops and the Environment, Evaluated in a Long-term Trial. 2001.
- Schein EH. *Organizational Culture and Leadership*. San Francisco: Jossey-Bass Publishers. Sciences 21(1). 2010.
- Schuler, S. Conrad, R. Hydrogen oxidation activities in soil as influenced by pH, temperature, moisture, and

- season. *Biol Fertil Soils*. 1991. 12:127-130
- Silva DRS, Marchi G, Spehar CR, Guilherme LRG, Rein TA, Soares DA, Ávila FW (2012) Characterization and nutrient release from silicate rocks and influence on chemical changes in soil. *Rev Bras Sci Solo*. 36:951-962
- Silva MJ, Chaves LHG, Fernandes JD, Chaves, IDB (2015) Using MB-4 rock powder, 765 poultry litter biochar, silicate and calcium carbonate to amend different soil types. *Aust J Crop Sci*. 9(10):987-995. <https://doi.org/10.4236/as.2015.611131>.
- Silva, C. L. Lourenço, M. S. Pedro Filho, P. S. Capital Social e Cooperativismo no processo de desenvolvimento sustentável: estudo da cooperativa Bom Jesus - Lapa/ PR. 2006.
- Silva JV, Pede VO, Radanielson AM, Kodama W, Duarte A, de Guia AH, Malabayabas AJ, Pustika AB, Argosubekti N, Vithoonjit D, Hieu PT. Revisiting yield gaps and the scope for sustainable intensification for irrigated lowland rice in Southeast Asia. *Agricultural Systems*, 2022. 198, 103383
- Smith, P. Learning to know, be, do, and live together with in the cross-cultural experiences of immigrant teacher educators, *Teaching and Teacher Education*, 2018. Volume 69,
- Swoboda, P., Döring, T.F., Hamer, M. Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: A review. *Sci. Total Environ*. 807, 150976. 2022.
- Taylor, L.L., Driscoll, C.T., Groffman, P.M., Rau, G.H., Blum, J.D., Beerling, D.J., Increased carbon capture by a silicate-treated forested watershed affected by acid deposition. *Biogeosciences* 18, 2021. 169–188.
- TEIXEIRA, P. C.; DIAS, R. C.; VENEU, D. M.; MONTE, M. B. M.; LOYOLA, J. A. D.; ZONTA, E. Eficiência relativa de rochas silicáticas cominuidas no fornecimento de potássio para plantas de milho. *Embrapa Solos*. Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1160268/eficiencia-relativa-de-rochas-silicaticas-cominuidas-no-fornecimento-de-potassio-para-plantas-de-milho>
- Theodoro SH, Leonardos OH. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. *An Acad Bras Cienc*. Dec;78(4):721-30. doi: 10.1590/s0001-37652006000400008. PMID: 17143408. 2006.
- Tweed, R. G. and Lehman, D. R. "Learning Considered within a Cultural Context: Confucian and Socratic Approaches," *American Psychologist*, Vol. 57, No. 2, pp. 89-99. 2002. <http://dx.doi.org/10.1037/0003-066X.57.2.89>
- Umuteme, Oghenethoja & Adegbite, Waliu. Mitigating the impact of cross-culture on project team effectiveness in the Nigerian oil and gas industry: The mediating role of organizational culture and project leadership. *Social Sciences & Humanities Open*. 2023.
- van Diggelen, R., Bergsma, H., Bobbink, R., Sevink, J., Siebel, H., Siepel, H., Vogels, J., de Vries, W. Steenmeel en natuurherstel: een gelukkige relatie of een risicovolle combinatie?. 2019.
- Van Straaten, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. *An. Acad. Bras. Ciênc*. 78, 2006. 731–747
- Van Straaten, P (2017) Rocks for crops in the world. In: III Brazilian Congress of Rochagem, Pelotas, 2017. *Anais. Pelotas: Embrapa Clima Temperado*, p.59-70.
- Vieira, R. F. Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas. Brasília-DF: Embrapa, 2017. 163 p.
- Vicca S, Goll DS, Hagens M, Hartmann J, Janssens IA, Neubeck A, Peñuelas J, Poblador S, Rijnders J, Sardans J, Struyf E. Is the climate change mitigation effect of enhanced silicate weathering governed by biological processes?. *Global change biology*. 2022. 28(3): 711-726.
- WRITZL, T. C.; CANEPELLE, E.; STEIN, J. E. S.; KERKHOFF, J. T.; STEFFLER, A. D.; SILVA, D. W.; REDI, M. Produção de milho pipoca com uso do pó de rocha de basalto associado à cama de frango em latossolo. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 9, n. 2, 30 jun. 2019.