

## 14 Plaggen Epipedons of Europe and Amazonia

<http://www.es.stir.ac.uk/thin/biomarkpubs.htm>

### **Modelling Traditional Manuring Practice: Soil Organic Matter Sustainability of an Early Shetland Community?**

W. Paul Adderley, Ian A. Simpson, Matt J. Lockheart, Richard P. Evershed,  
and Donald A. Davidson

In Press: For publication in "Human Ecology" Journal

#### **Abstract**

Modelling of soil systems is an essential approach to discussions of the historical dimensions of soil sustainability, but as yet there has been no formal testing and application of such models. In this paper, we first test the ability of the CENTURY agroecosystem model to predict soil organic carbon levels in anthropogenic plaggen soils from ethnographic and historical land management information of manuring practices on the Shetland island of Papa Stour. Observations suggest that the model makes accurate predictions and can be used to develop and test hypothetical land management scenarios. Results suggest that within historic time the arable areas of Papa Stour were manured at a level above that required to maintain soil organic carbon levels, and consequently the hill-land source of organic material was over exploited with no real apparent gain. Modelled evidence suggests that short-term observations of soil organic carbon levels would indicate a greater degree of manure application than was actually required over the longer term. Successful use of the CENTURY model in this historic context suggests that it may be applicable to questions of soil sustainability in other areas of the North Atlantic region.

Keywords: Soil sustainability; Plaggen soils; Anthrosols; CENTURY model; soil organic matter; North Atlantic region; *Avena strigosa*.

### **The Classification of Plaggen Soils Using Lipid Biomarkers**

W. Paul Adderley, Ian D. Bull, Ian A. Simpson, Richard P. Evershed,  
Mathew J. Lockheart and Donald A. Davidson

Submitted: Soil Science Society of America Journal

#### **Abstract**

The current classification of raised soils in Soil Taxonomy is restricted to a single definition of the plaggen epipedon. We argue that this definition is insufficient to adequately represent the diversity of raised soil characteristics and consequently fails to contribute to discussions on soil and environmental history. In response, we propose development of the plaggen epipedon definition of 'long-continued manuring'. Lipid biomarkers permit differentiation of manuring practice and allow three sub-classes of the plaggen soil classification to be suggested. Further development of this approach to plaggen soil classification will enhance the application of Soil Taxonomy for environmental historians, anthropologists and archaeologists, and contributes to the current debate on anthropogenic soil classification.

---

## **Modelling Traditional Manuring Practices in the North Atlantic Context: Soil Sustainability of a Shetland Island Community?**

W. Paul Adderley, Ian A. Simpson and Donald A. Davidson

Short paper presented at British Society of Soil Science meeting "Sustainable management of organic matter" 15 - 17 September 1999 (in press ~ BSSS/CABI)

### **Abstract**

The historical context of the island community of Papa Stour in the Shetlands provides a unique opportunity to compare organic matter management and the sustainability of the island's crofting population. The crofters' distinctive traditional agricultural practices, undertaken until recent times, involved the translocation of soil materials and intensive use of animal manures at specific sites resulting in the development of Plaggen soils. The analysis of these soils by a combination of chemical, physical and micromorphological methods allows deduction of the type, quantity and frequency of the past manuring practices required to sustain the crofting community. The subsequent quantitative modelling of these and the historical data provides an insight to the role of organic matter management in other historical communities within the North Atlantic context.

## **SOLOS DE TERRA PRETA PODEM SER SOLUÇÃO PARA A AGRICULTURA NA AMAZÔNIA**

Pesquisadores de vários países correm contra o tempo para descobrir como se formou um dos solos mais férteis do mundo: a Terra Preta Arqueológica

<http://www.museu-goeldi.br/destaqueamazonia/tpa.htm>

Até onde se sabe, os solos de terra preta arqueológica existem principalmente na Amazônia. Extremamente fértil, a terra preta está derrubando o mito de que os solos da região são pobres e impróprios para a agricultura. Utilizada pelo caboclo amazônida que, por experiência, aprendeu que se plantando em terra preta tudo dá, pesquisadores do Brasil, da Europa, Estados Unidos e América Latina se debruçam em sítios arqueológicos para tentar descobrir como esse tipo de solo se formou. A descoberta significa uma revolução: é a chave do desenvolvimento da agricultura sustentável nos trópicos. Há mais de 100 anos, cientistas registraram a ocorrência da Terra Preta Arqueológica (TPA) e constataram a elevada fertilidade desses solos. No entanto, pouco se sabe sobre as terras pretas, e as informações estão restritas a um grupo de cerca de 20 pesquisadores que se dedicam ao assunto. As populações ribeirinhas provaram na prática, o que os estudiosos descobriram através de pesquisas: agricultores utilizam a terra preta há muito tempo para o cultivo de subsistência, sem qualquer prática de manejo e o solo continua fértil.

### **COMPOSIÇÃO**

A Terra Preta Arqueológica - também chamada de Terra Preta de Índio ou simplesmente Terra Preta - tem essa denominação porque é encontrada em sítios arqueológicos, onde viveram grupos pré-históricos. Por isso, há grande quantidade de material deixado por esses grupos indígenas como fragmentos cerâmicos, carvão e artefatos líticos (de pedra). Normalmente, o material arqueológico é bem diversificado, o que leva a crer que grupos culturais distintos habitaram um mesmo local.

As áreas com Terra Preta Arqueológica são encontradas sobre os mais diversos tipos de solos e normalmente se localizam em terra firme, próximas às margens de rios, em locais bem drenados. ATPA pode ser identificada por sua cor escura, resultado da concentração de substâncias orgânicas depositadas no solo que apresentam altos teores de cálcio, carbono, magnésio, manganês, fósforo e zinco, elementos que tornam a terra fértil.

As áreas de terra preta são consideradas pequenas, medem de 2 a 3 hectares, mas há exceções, como no caso da Estação Científica Ferreira Penna, no coração da Floresta Nacional de Caxiuanã (PA), onde se pode encontrar terras pretas numa extensão com mais de 100 ha. A camada de TPA, possui em média 40 a 60 cm, mas pode atingir até 2 m de profundidade. Apesar da grande quantidade de sítios arqueológicos já conhecidos, não se tem um mapeamento de todas as ocorrências de TPA na Amazônia. A estimativa é que ocorram centenas de sítios espalhados pela região. Somente em Caxiuanã, foram descobertos 28 sítios arqueológicos com terra preta.



A Terra Preta Arqueológica tem coloração mais escura devido à grande concentração de material orgânico

Essa é a tese da geoarqueóloga Dirse Kern do Museu Paraense Emílio Goeldi, que estuda a TPA desde 1986. Ela defende que a matéria orgânica foi depositada no solo de forma não intencional, mas como prática cultural do povo que habitou determinada área e colocava material orgânico em locais específicos. Segundo a pesquisadora, a alta fertilidade desses solos se deve ao acúmulo de material orgânico depositado na aldeia indígena na pré-história. Esse material era de certa forma selecionado, proveniente tanto de fontes orgânicas de origem vegetal como animal, e a quantidade dependia do tempo de ocupação da aldeia e do número de indivíduos. O resultado desse "composto orgânico" são solos férteis que apresentam matéria orgânica estável, formando microecossistemas próprios, que se auto-sustentam e não conseguem se decompor, por isso, não exaurem facilmente.

A pedóloga (estudiosa de solos), Maria de Lourdes Ruivo, também do Museu Goeldi, faz parte da equipe que estuda terras pretas. Segundo ela, a topografia e as características biológicas do solo são fatores importantes para explicar a composição da TPA. Com doutorado em solos, Ruivo explica que as terras pretas ficam em sua grande maioria nas partes elevadas o que poderia facilitar a transformação da matéria orgânica em nutrientes minerais que são incorporados ao solo. A pesquisadora afirma que as terras pretas possuem altos teores de substâncias húmicas, responsáveis pela nutrição e agregação dos solos, o que explicaria, em parte, a fertilidade da TPA. "Alguns microorganismos podem sintetizar as substâncias húmicas de forma diferente dos demais solos adjacentes", afirma Ruivo. Daí a necessidade, segundo ela, de se estudar todos os tipos de vida que fazem parte do solo e ainda a fauna que habita o sítio e o entorno dessas áreas e que, de alguma forma, possam ter contribuído para a formação dos solos.

Uma outra hipótese, levantada recentemente e discutida durante o congresso de arqueologia realizado em setembro do ano passado no Rio de Janeiro, refere-se à formação da TPA como resultado da incorporação intencional de nutrientes no solo (plaggen epipedon) através de práticas de manejo como queimadas, que objetivavam a produção agrícola. Essa tese não é bem aceita pela comunidade científica, uma vez que a abundância de terras e o hábito errante das populações pré-históricas levam a crer que os indígenas não se preocupavam em enriquecer o solo para plantar, mas buscavam novos locais.

## PERSPECTIVAS

Com o crescente interesse dos pesquisadores em estudar a terra preta arqueológica, está sendo preparado um workshop para discutir o assunto. O evento tem início em Manaus (AM), em julho deste ano. Os participantes vão apresentar trabalhos e trocar experiências a bordo de um barco que vai descer o rio Amazonas e parar às proximidades de três sítios arqueológicos. A viagem continua até chegar em Santarém (PA) onde mais sítios serão visitados.

Aprovado em novembro do ano passado pelo Programa Norte de Pesquisa e Graduação (PNOPG), com duração de dois anos, o projeto "Processos de formação de solos com Terra Preta Arqueológica na Amazônia" vai pesquisar a gênese dos solos com Terra Preta Arqueológica na Amazônia. O estudo também vai investigar quais os vegetais que hoje são utilizados pelas populações ribeirinhas e se contribuíram para a formação da TPA. Esses vegetais podem ser os mesmos utilizados pelas populações pré-históricas para cobertura de casas, fabrico de esteiras, entre outras utilidades. O projeto é coordenado por Dirse Kern e envolve vários pesquisadores do Museu Emílio Goeldi e de diversas instituições.

Há muito o que se discutir sobre Terra Preta Arqueológica. A questão central ainda não conseguiu ser respondida: Como se formaram? Os pesquisadores sabem a importância dessa descoberta, pois reproduzir a TPA pode significar um grande salto para o desenvolvimento da agricultura na região.

Para obter mais informações sobre Terra Preta Arqueológica, basta visitar o [website](#) sobre o assunto.

Foto: [Nestor Kaempf](#)

## Publications on Plaggen Epipedons

[http://www.geo.uni-bayreuth.de/bodenkunde/terra\\_preta/tppublications.html](http://www.geo.uni-bayreuth.de/bodenkunde/terra_preta/tppublications.html)

- Anonymous, 1994. Environmental and Social Implications of Pre- and Postcontact Situations on Brazilian Indians: The Kayapó and a New Amazonian Synthesis. In: Roosevelt A C (Editor), Amazonian Indians from Prehistory to the Present: Anthropological Perspectives, University of Arizona Press, Tuscon, pp. 271-286.
- Baier T, 1996. Menschliche Spuren im Urwald: Neues über die Herkunft der amerikanischen Indianer. Süddeutsche Zeitung(101).
- Balée W, 1989. The Culture of Amazonian Forests. In: Posey D A and Balée W (Editors), Resource Management in Amazonia: Folk and Indigenous Strategies. Advances in Economic Botany No. 7, New York Botanical Garden, New York, pp. 1-21.
- Balée W, 1995. Historical Ecology in Amazonia. In: Sponsel L E (Editor), Indigenous Peoples and the Future of Amazonia: An Ecological Anthropology of an Endangered World, University of Arizona Press, Tucson, pp. 97-110.
- Barbosa de Farias João, 1944. A cerâmica da tribo Uaboi dos rios Trombetas e Jamundá - Contribuição para o estudo da arqueologia pré-histórica do Baixo Amazonas . In: Conselho Nacional de Geografia (Editor), 9º Congresso Brasileiro de Geografia 1940, Anais III , Rio de Janeiro, pp. 141-165.
- Bechtold G, 1982. Terra Preta do Indio: Anorganisch-chemische Kennzeichnung eines brasilianischen Anthrohumoxes, Diplomarbeit Universität Bayreuth, Deutschland, Bayreuth, p. 421 pp.
- Beckerman S, 1983. Does the swidden ape the jungle? Human Ecology, 11: 1-12.
- Bethell P H, Evershed R P, Reynolds P J and Walsh P J, 1996. Journal of Archaeological Science: 23.
- Blackmore A C, Mentis M T and Scholes R J, 1990. The origin and extent of nutrient-enriched patches within a nutrient-poor savanna in South Africa. Journal of Biogeography, 17: 463-470.
- Burton J H, 1996. Trace elements in bone as paleodietary indicators. In: Orna M V (Editor), ACS Symposium Series 625, Archaeological Chemistry, Organic, Inorganic, and Biochemical Analysis, Washington, DC, pp. 327-333.
- Carneiro R L, 1983. The cultivation of manioc among the Kuikuru Indians of the upper Xingu. In: Hames R B and Vickers W T (Editors), Adaptive Responses of Native Amazonians, Academic Press, New York, pp. 65-111.
- Carvajal G de, 1934. Discovery of the Orellana River. In: Heaton H D (Editor), The Discovery of the Amazon According to the Account of Friar Gaspar de Carvajal and other Documents with an Introduction by José Toribio Medina, American Geographical Society Publication No 17, New York, pp. 167-242.
- Chernela J M, 1994. Tukanoan Fishing. National Geographic Research & Exploration, 10: 440-457.
- Colin T, 1999. Pre-Indian caucasoids in America.
- Commission of the European Community, 1991. Sustainable Land Use Systems and Human Living Conditions in the Amazon Region. In: Jaenicke H and Flynn P (Editors), Proceedings of a meeting of European Scientists , Commission of the European Communities, Bonn, Germany.
- Conry M J, 1974. Plaggen soils, a review of man-made raised soils. Soils and Fertilizers, 37: 319-326.
- Cook S and Treganza A, 1950. The Quantitative Investigation of Indian Mounds with Special Reference to the Relation of the Physical Components to the Probable Material Culture. University of California Publications in American Archaeology and Ethnology, 40: 223-262.
- DeBoer W R, Kintigh K and Rostoker A, 1996. Ceramic Seriation and Settlement Reoccupation in Lowland South America. Latin American Antiquity, 7: 263-278.
- Denevan W, 1976. The Aboriginal population of Amazonia. In: Denevan W (Editor), The Native Population of the Americas in 1492, University of Wisconsin Press, Madison, pp. 205-234.
- Denevan W M, 1992. Stone vs metal axes: The ambiguity of shifting cultivation in prehistoric Amazonia. Journal of the Steward Anthropological Society, 20: 153-165.
- Denevan W M, 1996. A bluff model of riverine settlement in prehistoric Amazonia. Annals of the Association of American Geographers, 86 (4): 654-681.

- Denevan W M, 1998. Comments on prehistoric agriculture in Amazonia. *Culture & Agriculture*, 20: 54-59.
- Duxbury J M, Smith M S and Doran J W, 1989. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: Coleman D C, Oades J M and Uehara G (Editors), *Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems*, University of Hawaii Press, Honolulu, pp. 33-67.
- Eden M J, Bray W, Herrera L and McEwan C, 1984. Terra Preta soils and their archaeological context in the caqueta basin of southeast Colombia. *American Antiquity*, 49: 125-140.
- Fearnside P M, 1997. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: net committed emissions. *Clim Change*, 35: 321-360.
- Franco E, 1962. As "Terras Pretas" do Planalto de Santarém. *Rev Soc dos Agrônomos e Veterinários do Para*, 8: 17-21.
- Glaser B, Balashov E, Haumaier L, Guggenberger G and Zech W, 2000. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. *Organic Geochemistry*: in press.
- Glaser B, Balashov E, Haumaier L, Guggenberger G and Zech W, 2000a. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. *Organic Geochemistry*, im Druck. . *Organic Geochemistry*: in press.
- Glaser B, Guggenberger G, Haumaier L and Zech W, 2000b. Persistence of soil organic matter in archaeological soils (Terra Preta) of the Brazilian Amazon region, *Buchbeitrag*, p. in press.
- Hartmann Günther. *Amazonien im Umbruch*.
- Heckenberger M J, 1996. War and Peace in the Shadow of Empire: Sociopolitical Change in the Upper Xingu of Southeastern Amazonia, A. D. 1400 - 2000. In: University of Pittsburgh (Editor), p. 481 pp.
- Heckenberger M J, Petersen J B and Neves E G, 1999. Village size and permanence in Amazonia: Two archaeological examples from Brazil. *Latin American Antiquity*, 10.
- Herrera L F, Cavalier L, Rodriguez C and Mora S, 1992. The technical transformation of an agricultural system in the Colombian Amazon. *World Archaeology*, 24: 98-113.
- Hilbert P, 1968. *Archäologische Untersuchungen am mittleren Amazonas, Marburger Studien zur Völkerkunde*, Vol. 1, Berlin.
- Hoopes J W, 1996. In search of nature: Imagining the Precolumbian landscapes of ancient central America. <http://www.cc.ukans.edu/~hoopes/nature.html>.
- Kern D C and Kämpf N, 1989. Antigos assentamentos indigenas na formacao de solos com Terra Preta arqueologica na regio de oriximina, Para. *R bras Ci Solo*, 13: 219-225.
- Ludwig B, Khanna P K, Hölscher D and Anarugsa B, 1999. Modelling changes in cations in the topsoil of an Amazonian Acrisol in response to additions of wood ash. *European Journal of Soil Science*, 50: 717-726.
- Macphail R I, 1983. *The Micromorphology of Dark Earth from Gloucester, London and Norwich: An Analysis of Urban Anthropogenic Deposits from the Late Roman to Early Medieval Periods in England*. In: Bullock P and Murphy C P (Editors), *Soil Micromorphology Vol1: Techniques and Applications*, AB Academic Publishers, pp. 245-253.
- Macvicar C N, Fitzpatrick R W and Sobczyk M E, 1984. Highly wathered soils in the east coast hinterland of Southern Africa with thick, humus-rich A1 horizons. *Journal of Soil Science*, 35: 103-115.
- Marbut C F and Manifold C B, 1926. The soils of the Amazon basin in relation to agricultural possibilities. *The Geographical Review*, 16: 414-442.
- Marcus J, 1994. The Amazon: divergent evolution and divergent views. *National Geographic Research & Exploration*, 10: 384-397.
- McCann J M, 1999b. Before 1492. The making of the pre-Columbian landscape. Part I: The environment. *Ecological Restoration*, 17: 15-30.
- McCann J M, Woods W I and Meyer D W, 2000. Organic matter and anthrosols in Amazonia: Interpreting the Amerindian Legacy, *Proceedings of the BSSS Conference on Sustainable Management of Soil Organic Matter*, 12 - 15 September 1999, Edinburgh, UK, p. in press.
- Meggers B J, 1994. Pre-Columbian Amazonia. *National Geographic Research and Explorer*, 10: 398-421.

- Meggers B J, 1997. Review of Amazonian Indians from Prehistory to the Present. *Journal of the Royal Anthropological Institute*, 2: 194-196.
- Moran E F, Brondizio E and Mauseil P, 1994. Secondary succession. *National Geographic Research & Exploration*, 10: 458-476.
- Müller W, 1995. *Die Indianer Amazoniens: Völker und Kulturen im Regenwald*, Beck, München, pp. 68-72.
- Myers T P, 1992. Agricultural limitations of the Amazon in theory and practice. *World Archaeology*, 24: 82-97.
- Otzen H, 1992. *Amerika vor seiner Entdeckung, El Dorado am Amazonas: Geschichte und Gegenwart einer bedrohten Region*, Societäts-Verlag, Frankfurt am Main, pp. 31-69.
- Pabst E, 1985. *Terra Preta do Indio - Chemische Kennzeichnung und ökologische Bedeutung einer brasilianischen Indianerschwarzerde*. Diploma thesis University of Bayreuth, Germany.
- Pape J C, 1970. Plaggen soils in the Netherlands. *Geoderma*, 4: 229-256.
- Pendleton R L, 1943. Land use in northeastern Thailand. *Geographical Review*, 33: 15-41.
- Posey D A. *Manejo da Floresta Secundária, Capoeiras, Campos e Cerrados (Kayapó)*. In: Ribeiro D (Editor), *Suma Etnológica Brasileira - Handbook of South American Indians*, 2nd Ed., Vol. 1, Financiadora de Estudo e Projetos (FINEP).
- Posey D A and Balée W, 1989. *Resource Management in Amazonia: Folk and Indigenous Strategies*, *Advances in Economic Botany No. 7*, New York Botanical Garden, New York.
- Ranzani G, Kinjo T and Freire O, 1962. Ocorrência de "Plaggen Epipedon" no Brasil. *Bo Tec Cient da Esc Sup da Agric "Luiz de Queirzo" USP Piracicaba*, 5: 1-11.
- Reading A J, Tompson R D and Millington A C, 1995. *Humid tropical environments*.
- Redmond E M and Spencer C S, 1994. Pre-Columbian chiefdoms. *National Geographic Research & Exploration*, 10: 422-439.
- Saldarriaga J G, West D C, Tharp M L and Uhl C, 1988. Long-term chronosequence of forest succession in the upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. *Journal of Ecology*, 76: 938-958.
- Salgado V L, 1971. Os Solos do estado do Para, *cadernos Paraenses*, Vol. 8, pp. 21-34.
- Salgado V L, 1975. Os Solos da Amazonia, *Manual da ciencia do solo*, Sao Paulo, pp. 381-391.
- Sanford R L, Saldarriaga J, Clark K E, Uhl C and Herrera R, 1985. Amazon Rain Forest Fires. *Science*, 227: 553-555.
- Simpson I A and Barrett J H, 1996. Interpretation of midden formation processes at Robert's Haven, Caithness, Scotland using thin section micromorphology. *Journal of Archaeological Science*, 23: 543-556.
- Smith N J H, 1980. Anthrosols and human carrying capacity in Amazonia. *Annals of the Association of American Geography*, 70: 553-566.
- Sombroek W G, 1966. *Amazon Soils. A reconnaissance of the Soils of the Brazilian Amazon region*. In: Centre for Agricultural Publications and Documentations (Editor), *Dissertation*, Vol. 672, *Onderzoekingen Verslagen van Landvrouwkundige*, Wageningen, pp. 12-25; 50 - 57; 120 - 125; 158 - 169; 174 - 191; 220 - 283.
- Sombroek W G, Nachtergaele F O and Hebel A, 1993. Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. *Ambio*, 22: 417-426.
- Vásquez de Espinosa A, 1948. *Compendio y Descripción de las Indias Occidentales*, Smithsonian Miscellaneous Collections, Washington.
- Whitmore T C, 1993. *Tropische Regenwälder. Eine Einführung*, Spectrum Akademischer Verlage, Heidelberg.
- Woods W I, 1995. Comments on the black earths of Amazonia. In: Schoolmaster F A (Editor), *Papers and Proceedings of Applied Geography Conferences*, Arlington, Virginia.
- Woods W I and Mann C C, 2000a. Earthmovers of the Amazon. *Science*, 287: 786-789.
- Woods W I and Mann C C, 2000b. The good earth: Did people improve the Amazon basin?. *Science*, 287: 788.

- Woods W I and McCann J M, 1999a. The anthropogenic origin and persistence of Amazonian dark earths. *The Yearbook of the Conference of Latin American Geographers*, 25: 7-14.
- Woods W I, Meyer D W and McCann J M, 2000. Black Earth Analysis: A Call for Cooperation, *Proceedings of the CLAG 2000 Conference*, 6 January 2000, Austin, Texas.
- Woods W I, Wells C L and Meyer D W, 1996. Cautions on the use of soil data for prehistoric reconstructions: A Belize example. In: Schoolmaster A F and Harrington J A (Editors), *Papers and Proceedings of the Applied Geography Conferences*, Applied Geography Conferences, Inc., Kansas City, Missouri, pp. 209-217.
- Wüst I and Barreto C, 1999. The ring villages of central Brazil: A challenge for Amazonian archaeology. *Latin American Antiquity*, 10: 3-23.
- Zech W, 1986. CPMAS-13C-NMR Spektren von Oxisol und Terra Preta Humus. *Mitt Dt Bodenkundl Ges*, 45: 167-172.
- Zech W, Haumaier L and Hempfling R, 1990. Ecological aspects of soil organic matter in tropical land use. In: McCarthy P, Clapp C E, Malcolm R L and Bloom P R (Editors), *Humic Substances in Soil and Crop Sciences. Selected Readings*, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison Wisconsin, USA, pp. 187-202.
- Zech W, Pabst E and Bechtold G, 1979. Analytische Kennzeichnung der Terra preta do indio. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 29: 709-716.
- Zimmermann J, 1958. *Studien zur Anthropogeographie Amazoniens*, Bonner Geographische Abhandlungen, Vol. 21.