

# HISTÓRIA DA CONSERVAÇÃO DO SOLO E A PROTEÇÃO DO NOSSO FUTURO

*Data de aceite: 01/12/2023*

**Manuel Teles Oliveira**

**RESUMO:** O solo é a “pele da Terra”, o nosso sistema de suporte de vida, construímos no solo e construímos com o solo. O solo desempenha funções essenciais em muitas áreas da vida em que se incluem a agricultura, a gestão ambiental, a proteção da natureza, o paisagismo, e as utilizações urbanas. No século XXI há preocupações acrescidas nos países e organizações internacionais com a saúde do solo que o consideram como recurso vital, não renovável à escala humana, cada vez mais sobre pressão da atividade humana que o degrada representando um risco para a continuidade da nossa civilização. Em 2023 passam 93 anos da publicação do Soil Conservation Act nos EUA e que é, certamente, um marco na história contemporânea da evolução do estudo, das práticas e dos instrumentos jurídicos na conservação do solo. Mas a história começou há milhares de anos, em várias partes do mundo e diversas civilizações. Os sucessos e insucessos da conservação deste recurso ditou a sorte de impérios e civilizações. Nesta comunicação vamos

fazer uma breve viagem sobre a evolução da conservação do solo desde os seus remotos inícios e práticas empíricas até à atualidade e os imensos recursos científicos e tecnológicos que hoje estão disponíveis para preservar o solo e, talvez, as nossas próprias sociedades. A perspetiva histórica da evolução da conservação do solo dá-nos a prospetiva do que poderá ser o nosso futuro.

**PALAVRAS-CHAVE:** Evolução histórica, Funções do solo, Ecologia, Conservação da natureza

**ABSTRACT:** Soil is the “skin of the Earth”, our life support system, we build on the soil and build with the soil. Soil has many essential functions in several areas of life including agriculture, environmental management, nature protection, landscaping & urban utilizations. In 21st century there are increased concerns in countries and international organizations about soil health that it is considered a vital resource, non-renewable at human life time, under increased pressure of human activities that degrade it representing a risk to the continuity of our civilization. In 2023 is passing 93 years after the enactment of Soil Conservation Act in USA that is, certainly,

a landmark in contemporary history of evolution in the study, the practices and the legal instruments on soil conservation. But the history began thousands of years ago in several parts of the world and diverse civilizations. The successes and failures of soil conservation determined the outcome of empires and civilizations. In this article we will travel briefly over the evolution of soil conservation from its early beginnings and empirical practices to our times and the many scientific and technological resources now at our disposal to preserve the soil and, maybe, our own societies. The historical perspective of evolution of soil conservation allows us a prospective of what might be our future.

**KEYWORDS:** Historical evolution, Soil functions, Ecology, Nature conservation

## INTRODUÇÃO

A história da ciência pode motivar-nos para o interesse da ciência e pelo trabalho dos que tentam descobrir novas realidades e resolver problemas. Este artigo é um pequeno contributo de alerta para um problema premente da conservação da natureza em geral e do solo em particular, mostrando os desenvolvimentos que se desenrolam desde há milhares de anos até aos nossos dias e criar uma prospetiva do que poderá ser o nosso futuro mais próximo.

O solo, a “pele da Terra”, é o nosso sistema de suporte de vida – a pedosfera. Construimos sobre o solo e construímos com o solo e as suas funções, capacidades, são essenciais em muitas áreas da vida como agricultura, gestão ambiental, proteção da natureza, paisagismo, utilização urbana, etc. Os solos são ecossistemas essenciais que proporcionam serviços críticos tais como aprovisionamento de alimentos, sequestro de carbono e purificação da água. O solo é o maior reservatório terrestre de carbono, abriga mais de 25% de toda a biodiversidade e proporciona de 95 a 99% da alimentação da Humanidade<sup>1</sup>. Estas razões, entre outras, levam muitos países e organismos internacionais a preocuparem-se insistentemente com a temática dos solos. É unânime considerá-lo um recurso vital, não renovável na escala humana, cada vez mais sob pressão de atividades antrópicas que representam um risco para a continuidade de nossa sociedade.

Há registos históricos desde a antiguidade que mostram a visão da terra (solo) como um recurso valioso que necessitava de proteção e conservação para garantir a segurança alimentar e o bem-estar das comunidades. Evidentemente, ao longo dos milénios, a proteção e conservação eram realizadas por tentativa e erro pois o conhecimento científico só muito mais tarde se desenvolveu. A conservação do solo era uma preocupação importante em muitas sociedades antigas pois dependiam da agricultura para sobreviver. As comunidades passadas sempre desenvolveram normas e regulamentos que podem ser interpretados como formas legais incipientes de proteção do solo, da natureza.

Atualmente, a conservação da natureza e o direito estão relacionados onde este desempenha um papel fundamental na proteção e preservação dos recursos naturais e do

---

1 Panos Panagos, Luca Montanarella, Mirco Barbero, Annette Schneegans, Laura Aguglia & Arwyn Jones, “Soil priorities in the European Union,” *Geoderma Regional* 29 (2002): e00510. doi: 10.1016/j.geodrs.2022.e00510.

ambiente. Existem áreas do direito que abordam a conservação da natureza e uma delas é o direito ambiental que estabelece normas e regulamentos do uso dos recursos naturais, da gestão dos ecossistemas e da prevenção da poluição.

## Conservação do solo ao longo da história. Seis exemplos

A civilização, tal como a concebemos atualmente, está ancorada no solo porque este é o suporte indispensável à agricultura que, por sua vez, satisfaz a procura contínua de alimentos em quantidade e qualidade que suporta o aumento da população e o estabelecimento de sociedades urbanas. O solo e a agricultura são fortemente influenciados pelas flutuações climáticas no planeta que obriga as populações a adaptarem os seus meios de produção para obterem o suficiente para o seu sustento. As condições socioeconómicas determinam a capacidade de adaptação das comunidades, o seu sucesso ou insucesso<sup>2</sup>.

As alterações do solo sob pressão de atividades antrópicas e das alterações climáticas são um tópico de grande interesse atual. Estudar o que aconteceu no passado pode ajudar-nos a perceber o que as alterações do solo sob pressão de atividades antrópicas e das alterações climáticas são um tópico de grande interesse atual. Estudar o que aconteceu no passado pode ajudar-nos a perceber o que poderá ser o futuro, e estudar como as populações se adaptaram ou não pode proporcionar conhecimento sobre as estratégias adequadas às alterações, ou seja, conhecer o passado é um passo importante no planeamento do futuro<sup>3</sup>.

## Mesopotâmia

Os sumérios, na Mesopotâmia, são tidos como os iniciadores da agricultura durante o Holoceno (9500 AC – presente) que pouco depois se espalhou pela China e pela Índia<sup>4</sup> (Troeh, Hobbs & Donahue 1981). Registos arqueológicos mostram que o conhecimento do solo e sua conservação como forma de melhorar a produção agrícola têm as suas raízes na antiguidade, sendo as primeiras evidências de manipulação intencional do solo datadas de cerca de 9000 anos AC em Jarmo, no atual Iraque<sup>4</sup>. A Mesopotâmia – Berço da Civilização – foi local de impérios preeminentes no Médio Oriente, sociedades baseadas na agricultura tornada possível nas planícies áridas pela irrigação com água dos rios Tigre e Eufrates. Nesta região originou-se o terraceamento dos declives para permitir a rega e controlar a erosão, prática depois adotada no resto do mundo<sup>5</sup>. Extensas obras de irrigação, ainda

2 Patrick V. Kirch, 2005. "Archaeology and global change: the Holocene record," *Annual Review of Environment and Resources* 30 (2005): 409-440. doi: 10.1146/annurev.energy.29.102403.140700.

3 Eric C. Brevik, Jeffrey A. Homburg & Jonathan A. Sandor, "Soils, Climate & Ancient Civilizations," in *Climate Change Impacts on Soil Processes and Ecosystem Properties*, org. William R. Horwath & Yakov Kuzyakov (Amsterdam: Elsevier Science, 2018): 1-28.

4 Frederick R. Troeh, J. Arthur Hobbs & Roy L. Donahue. *Soil and Water Conservation for Productivity and Environmental Protection* (Hoboken, New Jersey: Prentice Hall College Div, 1998).

5 J.A. Sandor, 2006. "Ancient agricultural terraces and soils," in *Footprints in the Soil: People and Ideas in Soil History*, org. B. Warkentin (Amsterdam: Elsevier Science, 2006): 505-534.

visíveis em fotografias aéreas milênios após terem sido abandonadas<sup>6</sup>, foram construídas e com elas acumulou-se um perigo então desconhecido e só inteiramente desvendado recentemente: a salinização<sup>7</sup> cujos episódios de maior dimensão ocorreram entre 2400 e 1700 AC no Sul da Mesopotâmia<sup>8</sup>. A rega pode causar a subida do lençol freático salino e mesmo que não aconteça, num clima árido, a água evapora rapidamente deixando no solo os sais que, eventualmente, atingem uma concentração que reduz a produção agrícola. Simultaneamente, mudanças climáticas bruscas por volta de 2200 AC aumentaram a aridez, a turbulência do vento e nuvens de poeira que reduziram a humidade do solo e perdas por erosão, conseqüentemente, menor produção agrícola já de si fragilizada pela salinização. A fome e sublevações sociais foram inevitáveis primeiro nas planícies do Norte e depois no Sul onde colapsou o império Acádio<sup>9</sup>.

O retorno de condições climáticas mais amenas tornou possível a reocupação das planícies mesopotâmicas e o estabelecimento do império Babilónico (1894 AC a 539 AC)<sup>10</sup> no qual foi criado o código de Hamurabi que regulava vários aspetos da vida na Babilônia, puniam severamente a destruição de propriedades ou a obstrução de canais de irrigação, estabelecia direitos de propriedade e regras para a utilização de terras agrícolas que alguns historiadores interpretam como tendo implicações na gestão de recursos e uma forma indireta e incipiente de proteção ambiental<sup>11</sup>.

## Egito

O vale do Nilo a Norte de Aswan, local de sociedades agrárias desde a Antiguidade, durante o Período Húmido Africano - Pleistoceno tardio e início do Holoceno - teve um clima fresco e húmido alimentado por abundantes chuvas monsonicas que terminou há cerca de 3500 anos AC quando as chuvas de verão se tornaram diminutas, as temperaturas aumentaram acentuadamente, a vegetação ficou esparsa e as populações deslocaram-se para o vale do Nilo onde iniciaram as primeiras fases da civilização faraônica<sup>12,13,14</sup>. A civilização egípcia que se desenvolveu desde 3500 AC até 332 AC teve que se adaptar às condições de aridez que passaram a predominar<sup>15</sup>.

6 T. J. Wilkinson, *Archaeological Landscapes of the Near East* (Tucson: University of Arizona Press, 2003).

7 Daniel Hillel, *Out of the Earth: Civilization and the Life of the Soil* (New York: Free Press, 1991).

8 Thorkild Jacobsen & Robert M. Adams, "Salt and silt in ancient Mesopotamian agriculture," *Science* 128 (1958): 1251-1258. doi: 10.1126/science.128.3334.1251.

9 H. Weiss, M. A. Courty, W. Wetterstrom, F. Guichard, L. Senior, R. Meadow & A. Curnow, "The genesis and collapse of third millennium North Mesopotamian civilization," *Science* 261 (1993): 995-1004. doi: 10.1126/science.261.5124.995.

10 T. Bryce, *Babylonia: A Very Short Introduction* (Oxford: Oxford University Press, 2016).

11 Emanuel Bouzon, "Origem e natureza das coleções do direito cuneiforme," <https://core.ac.uk/download/pdf/16754396.pdf> (acessado em 11 outubro 2023).

12 Rudolph Kuper & Stefan Kröpelin, "Climate-controlled Holocene occupation in the Sahara: motor of Africa's evolution," *Science* 313 (2006): 803-807. doi: 10.1126/science.1130989.

13 Jess Adkins, Peter Demenocal & Gidon Eshel, "The "African humid period" and the record of marine upwelling from excess <sup>230</sup>Th in Ocean Drilling Program Hole 658C," *Paleoceanography and Paleoclimatology* 21 (2006): 1-14. doi: 10.1029/2005PA001200.

14 Christopher Bernhardt, Benjamin Horton & Jean-Daniel Stanley, "Nile Delta response to Holocene climate variability," *Geology* 40 (2012): 615-618. doi: 10.1130/G33012.1.

15 Eric C. Brevik, Jeffrey A. Homburg & Jonathan A. Sandor, "Soils, Climate & Ancient Civilizations," in *Climate Change Impacts on Soil Processes and Ecosystem Properties*, org. William R. Horwath & Yakov Kuzyakov (Amsterdam: Elsevier

A sociedade egípcia era baseada na agricultura regada e na fertilidade natural dos seus solos mantida pelas periódicas enchentes do Nilo as quais depositavam sedimentos ricos em matéria orgânica<sup>16, 17</sup>. Os agricultores egípcios desenvolveram técnicas para aproveitar essa fertilidade natural, construindo sistemas de diques, canais, terraços e reservatórios para controlar a água e desenvolveram sistemas de elevação de água para a distribuir pelos campos distantes do rio. Também sabiam preparar o solo antes das sementeiras e que as enchentes removiam a acumulação de sais<sup>18</sup>. Os egípcios praticavam a rotação de cultivos, as fertilizações orgânicas, a adaptação de cultivos adequados ao tipo de solo, ou seja, eram habilidosos nas práticas agrícolas e na conservação do solo.

Os antigos egípcios desenvolveram uma cultura religiosa intimamente integrada na sociedade agrícola e que revolia à volta das observações do seu ambiente e do rio Nilo<sup>19</sup>. As enchentes do Nilo estavam associadas ao deus Hapi e o ano era dividido em três estações naturais: Akhet (Enchente, Setembro a Janeiro), Peret (Inverno, Janeiro a Maio), Shemu (Verão, Maio a Setembro)<sup>20</sup>. Esta divisão ajudava-os a planear a construção, manutenção e reparação das suas obras hidráulicas bem como as atividades agrícolas.

No antigo Egito, a lei, personificada pela deusa Maat, estava acima de todos os humanos e representava a verdade, justiça, retitude, a ordem e o equilíbrio do universo<sup>21</sup>. Não existia uma legislação específica sobre conservação da natureza, existiam práticas e crenças que refletiam um respeito pela natureza e uma compreensão de sua importância para a vida e a prosperidade da sociedade egípcia – o mundo em harmonia e há várias referências a questões agrícolas como no Codex Hermopolis do terceiro século AC<sup>22</sup>. A recorrência das inundações do Nilo transmitia às populações um sentido de ordem que ditava os rituais, as práticas agrícolas e os procedimentos legais<sup>23</sup>. O funcionamento de todas estas atividades agrícolas e obras associadas, regulamentação legal em tão larga escala exigiam uma complexa organização centralizada que deu origem ao estado faraônico com uma extensa burocracia. Ao longo dos milénios que durou a civilização egípcia, sempre muito dependente do fluxo do rio Nilo que passava por longos períodos de baixo volume associados às variações da climáticas na sua imensa bacia, houve várias ocasiões de baixa produção agrícola que provocaram fomes seguidas de instabilidade económica, social e política, por vezes violentas com o colapso dinástico e mudanças das

---

Science, 2018): 1-28.

16 Frederick R. Troeh, J. Arthur Hobbs & Roy L. Donahue. *Soil and Water Conservation for Productivity and Environmental Protection* (Hoboken, New Jersey: Prentice Hall College Div, 1998).

17 Hillel, *Out of the Earth*, 3.

18 Ibid.

19 N. J. van Blerk, "The emergence of law in ancient Egypt: the role of Maat," *Fundamina* 24 (2018): 60-88. doi: 10.17159/2411-7870/2018/v24n1a4.

20 Telo F. Canhão "O calendário egípcio," *Cultura* 23 (2006): 39-61. doi: 10.4000/cultura.1296

21 van Blerk

22 Ibid.

23 R. VerSteeg, *Law in Ancient Egypt* (Durham: Carolina Academic Press, 2002).

## China

A China foi um dos centros culturais onde se iniciou a sedentarização das populações e o início das atividades agrícolas que se espalharam pelo mundo durante o Holoceno<sup>27</sup>. A história da agricultura e da erosão antropogénica do solo na China prolonga-se por um período superior a 7000 anos e há registos arqueológicos que datam de cerca de 9000 anos na província de Hunan<sup>28</sup>. Os indícios mais antigos mostram que os antecessores dos chineses desflorestavam mas também construíam terraços para poderem regar e conservar o solo<sup>29</sup>.

Desde os primeiros milénios do Holoceno verificaram-se vários intervalos de intensa erosão antrópica por todo o território chinês e, em particular, no Planalto de Loess. O primeiro intervalo ocorreu entre 5500 a 5000 AC, seguindo-se um acréscimo contínuo após 3000 AC quando as comunidades de caçadores e pastores se sedentarizou e passaram a agricultores, com outros picos em 200 AC - 0 DC, 1000 - 1600 DC e nas décadas de 1930, 1950 e parte de 1960 já no século XX<sup>30</sup>. Estes episódios de grande degradação do solo estão associados a pressão populacional, conflitos armados, instabilidade política com alterações socioeconómicas que induziam em devastação da vegetação natural, intensificação da atividade agrícola incluindo utilização de terras pouco adequadas ao cultivo<sup>31, 32</sup>. Nos últimos 100 anos, o enorme crescimento populacional e a abertura de enormes áreas à agricultura no Planalto de Loess, criou a maior taxa de erosão que se verifica no mundo<sup>33</sup>.

24 K.W. Butzer & G. H. Endfield, "Critical perspectives on historical collapse," *Proceedings National Academy of Science USA*, 109 (2012): 3628-31. doi: 10.1073/pnas.1114772109.

25 Mohamed H. Geriessh, Klaus-Dieter Balke, Ahmed E. El-Rayes & Basma M. Mansour, "Implications of climate change on the groundwater flow regime and geochemistry of the Nile Delta, Egypt," *Journal of Coastal Conservation*, 19 (2015): 589-608. doi: 10.1007/s11852-015-0409-5.

26 J. G. Manning, F. Ludlow, A. R. Stine, W. R. Boos, M. Sigl & J. R. Marlon, "Volcanic suppression of Nile summer flooding triggers revolt and constrains interstate conflict in ancient Egypt," *Nature Communications* 8 (2017): 1-9. doi: 10.1038/s41467-017-00957-y.

27 L. A. James, "Impacts of Early Agriculture and Deforestation on Geomorphic Systems," in *Treatise on Geomorphology*, org. John F. Shroder (San Diego: Academic Press, 2013): 48-67.

28 Zitong Gong, Xuelei Zhang, Jie Chen & Ganlin Zhang, "Origin and development of soil science in ancient China," *Geoderma* 115 (2003): 3-13. doi: 10.1016/s0016-7061(03)00071-5.

29 Markus Dotterweich, "The history of human-induced soil erosion: Geomorphic legacies, early descriptions, research and the development of soil conservation—A global synopsis," *Geomorphology* 201 (2013): 1-34. doi: 10.1016/j.geomorph.2013.07.021.

30 Xiubin He, Jie Zhou, Xinbao Zhang & Keli Tang, "Soil erosion response to climatic change and human activity during the Quaternary on the Loess Plateau, China," *Regional Environmental Change* 6 (2006): 62-70. doi: 10.1007/s10113-005-0004-7.

31 Li Wang, Ming'an Shao, Quanju Wang & William J. Gale, "Historical changes in the environment of the Chinese Loess Plateau," *Environmental Science & Policy* 9 (2006): 675-684. doi: 10.1016/j.envsci.2006.08.003

32 Markus Dotterweich, "The history of human-induced soil erosion: Geomorphic legacies, early descriptions, research and the development of soil conservation—A global synopsis," *Geomorphology* 201 (2013): 1-34. doi: 10.1016/j.geomorph.2013.07.021.

33 Xiubin He, Jie Zhou, Xinbao Zhang & Keli Tang, "Soil erosion response to climatic change and human activity during the Quaternary on the Loess Plateau, China," *Regional Environmental Change* 6 (2006): 62-70. doi: 10.1007/s10113-005-0004-7.

Apesar da degradação dos solos sempre presente na China, a população e os poderes vigentes tinham consciência da necessidade da utilização adequada dos recursos. Os escritos de Guanzhi, que viveu no século VII AC, são perentórios que a terra é a base da administração e que o solo é a base da prosperidade da população, por isso, o solo, considerado necessário para a alimentação, sustentava ou destruía a administração. Preconizava a proteção de florestas, rios e zonas húmidas, o controlo dos fogos entre outros aspetos da conservação da natureza<sup>34</sup>. Wen Tao (III ou IV século DC) dizia que os chineses percebiam a relação entre desflorestação e erosão do solo e cerca de 500 anos mais tarde, o filósofo Liu Zongyuan descreveu metaforicamente a relação entre desflorestação, escorrimento, erosão e a formação de ravinas<sup>35</sup>.

Por toda a China foram implementados desde cedo projetos agrícolas em larga escala que procuravam racionalizar a utilização da terra. Alguns sistemas de engenharia de rega são impressionantes como o canal de Zhengguo (246 AC) no Planalto de Loess (Yi and Shi 1992), o canal Ximen Bao no Nordeste e o canal Ling (214 AC) que liga os sistemas dos rios Yangtse e Perola e os canais Qin e Han construídos em 770–221 AC são ainda utilizados atualmente<sup>36, 37</sup>.

Durante a dinastia Han (206 AC – 220 DC) houve um grande desenvolvimento das técnicas agrícolas que permitiram sustentar o aumento populacional e uma transformação económica do país<sup>38, 39</sup>. Novas formas de transplante e plantação de arroz, cultivo em estufa, fertilizações verdes e orgânicas, rotação de cultivos foram largamente utilizadas na manutenção da fertilidade do solo. Nos terrenos declivosos foram construídos terraços e alguns campos eram cobertos com pedras para reduzir a erosão.

No longo período de paz do final do século XVII ao final do XVIII a população duplicou e atingiu 300 milhões e no período seguinte, 1779-1850, houve ainda um acréscimo de 56%; este número de pessoas exigiu a intensificação da rega, o desenvolvimento de variedades de arroz de ciclo mais curto que permitiu duas colheitas por ano e, o mais significativo de tudo, aceitação de plantas vindas das Américas (milho, batata-doce, tabaco e amendoim). Estes desenvolvimentos produziram mais alimentos para pessoas e animais, também mais energia mas tiveram um lado negativo com acréscimo acentuado da erosão e aumento do desemprego rural<sup>40</sup>.

---

34 R.L. Edmonds, 1994. *Patterns of China's Lost Harmony: A Survey of the Country's Environmental Degradation and Protection* (Abingdon: Routledge, 1994).

35 Mark Elvin, *The Retreat of the Elephants. An Environmental History of China* (Boston: Yale University Press, 2004).

36 Shuanglei Wu, Yongping Wei, Brian Head, Yan Zhao & Scott Hanna, "The development of ancient Chinese agricultural and water technology from 8000 BC to 1911 AD," *Palgrave Communications* 5 (2019): 1-16. doi: 10.1057/s41599-019-0282-1.

37 Dotterweich, 7.

38 Francesca Bray, "Agricultural technology and agrarian change in Han China," *Early China* 5 (1979): 3-13. <http://www.jstor.org/stable/23351628>.

39 Jingwen Liao, Ming Li, Edward Allen, Wuhong Luo & Pengfei Sheng, "The millet of the matter: Archeobotanical evidence for farming strategies of Western Han Dynasty core area inhabitants," *Frontiers in Plant Science* 13 (2022): 1-8. doi: 10.3389/fpls.2022.929047.

40 Asia for Educators, "Qing China's Internal Crisis: Land Shortage, Famine, Rural Poverty," [http://afe.easia.columbia.edu/special/china\\_1750\\_demographic.htm](http://afe.easia.columbia.edu/special/china_1750_demographic.htm) (acessado em 12 outubro 2023).

A pressão antropogénica sobre o ambiente na China tem sido constante ao longo da sua história e, apesar dos esforços feitos para controlar a degradação dos solos, as alterações prejudiciais nunca foram eficazmente controladas e em alguns períodos atingiram proporções alarmantes. Neste quadro, alterações climáticas desfavoráveis e condições geomorfológicas que tornam os solos muito suscetíveis à erosão são fatores adicionais e decisivos<sup>41, 42, 43</sup>. Durante o Holoceno houve flutuações entre períodos secos e frios e outros húmidos e quentes e em dois períodos de forte erosão do solo (200 AC a 0 DC; 1000 a 1600 DC) verificaram-se aumentos de precipitação. Por outro lado, os períodos frios e secos degradavam a cobertura vegetal do solo e o risco de erosão também crescia.

## Grécia e Roma

A literatura helenística e romana documenta a ideia enraizada na cultura ocidental que a humanidade transforma a Terra e os seus recursos pela sua atividade organizada e o atual estado da paisagem mediterrânica, nalguns casos muito degradada, é vista como resultado da atividade humana, em particular, na que resultou em erosão dos solos e sedimentação dos cursos de água durante o Holoceno<sup>44, 45</sup>. Os registos geo-arqueológicos do território grego mostram que entre o final do Pleistoceno e início do Holoceno a paisagem manteve-se estável e os problemas de degradação dos solos só se tornaram evidentes cerca de 1000 anos após o começo da sedentarização e das atividades agrícolas, logo, os agricultores do período micénico devem ter utilizado formas de gestão agrícola, incluindo terraceamento, que reduzem os efeitos da erosão dos solos; o aumento da população obrigou ao encurtamento do tempo de pousio, à desflorestação de maiores áreas e à utilização de solos sem aptidão agrícola<sup>46, 47</sup>.

Os Gregos eram excelentes observadores da natureza mas não testavam as teorias ou faziam experiências, logo, o seu conhecimento não se desenvolvia em verdadeira ciência<sup>48</sup>. No que diz respeito aos solos, os filósofos Gregos da antiguidade tinham um

---

41 Xiubin He, Jie Zhou, Xinbao Zhang & Keli Tang, "Soil erosion response to climatic change and human activity during the Quaternary on the Loess Plateau, China," *Regional Environmental Change* 6 (2006): 62-70. doi: 10.1007/s10113-005-0004-7.

42 J.A. Sandor, "Ancient Agricultural Terraces and Soils," in *Footprints in the Soil: People and Ideas in Soil History*, org. B. Warkentin (Amsterdam: Elsevier Science, 2006): 505-534.

43 Markus Dotterweich, "The history of human-induced soil erosion: Geomorphic legacies, early descriptions, research and the development of soil conservation—A global synopsis," *Geomorphology* 201 (2013): 1-34. doi: 10.1016/j.geomorph.2013.07.021.

44 Clarence J. Glacken, 1967. *Traces on the Rhodian Shore, Nature and Culture in Western Thought from Ancient Times to the End of the Eighteenth Century* (San Francisco: University of California Press, 1967).

45 Tjeerd H. van Andel, Eberhard Zangger & Anne Demitrack, "Land use and soil erosion in prehistoric and historical Greece," *Journal of Field Archaeology* 17 (2013): 379-396. doi: 10.1179/009346990791548628.

46 Ibid.

47 L. A. James, "Impacts of Early Agriculture and Deforestation on Geomorphic Systems," in *Treatise on Geomorphology*, org. John F. Shroder (San Diego: Academic Press, 2013): 48-67.

48 Don J. Easterbrook, 1999. *Surface processes and landforms* (Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, 1999).



conhecimento claro sobre os diferentes tipos de solos e suas propriedades<sup>49,50,51</sup>. Xenofonte dizia que a vida começava e acabava no solo e Aristóteles e Platão comparavam o solo à mulher e mãe. Teofrastos escreveu o que foi talvez o primeiro livro sobre agronomia onde se incluía a classificação de solos. Platão reconheceu o solo como um reservatório de água e pelas colônias gregas espalhadas pelo Mediterrâneo encontra-se literatura devotada às práticas de gestão agrícola. Homero recomendava pousios para reduzir a degradação do solo e Platão reconheceu a relação entre inundações e a desflorestação na Ática.

Evidência escrita das práticas agrícolas na Grécia antiga é escassa e não sobreviveram tratados gregos que detalhem explicitamente a agricultura<sup>52</sup>. Os mais antigos registos de trabalhos hidráulicos na Grécia datam de cerca de 1600 AC e estavam relacionados com a rega agrícola e a proteção contra cheias<sup>53</sup> embora a existência de complexos sistemas de rega seja matéria de debate entre vários autores.

Na Grécia antiga, os agricultores seguiam um de dois modelos de exploração da terra: o modelo extensivo onde pouca ou nenhuma prática de manutenção do solo era seguida, e o modelo intensivo que praticava a agricultura e a pecuária e havia métodos de conservação do solo<sup>54</sup>. A agricultura extensiva combinava a cultura bienal de trigo e centeio com pousio nu, para recuperação da fertilidade do solo, e a pastorícia de transumância. A agricultura intensiva desenvolve-se em resposta ao aumento populacional e era caracterizada pelo cultivo de cereais em rotação com leguminosas e pastoreio de pequenos rebanhos; há trabalhos de manutenção do solo como fertilizações orgânicas e terraceamento, em particular em cultivos exigentes em gestão e economicamente mais produtivos como os olivais e as vinhas. A escolha do modelo de agricultura deve ter dependido da qualidade do solo, da densidade populacional, da economia da região e do estatuto social / riqueza do agricultor.

Os romanos receberam e adaptaram a cultura helénica em muitos domínios da sua sociedade incluindo as tradições e práticas agrícolas<sup>5555</sup> mas introduziram alterações e inovações que os tornaram agricultores de sucesso dado o seu conhecimento do clima, solo e métodos de cultivo. Desenvolveram ou refinaram formas mais eficientes de gerir os cultivos, de os irrigar e drenar. Utilizaram técnicas de rotação de cultivos, poda, enxertia, seleção de plantas, fertilização orgânica que foram descritas e preconizadas por Plínio, Varro, Cato, Virgílio e que hoje seriam consideradas como agricultura de conservação<sup>56</sup>.

---

49 Daniel Hillel, *Out of the Earth: Civilization and the Life of the Soil* (New York: Free Press, 1991).

50 D. L. Sparks, 2006. "Historical Aspects of Soil Chemistry," in *Footprints in the Soil: People and Ideas in Soil History*, org. B.P. Warkentin (Amsterdam: Elsevier Science, 2006): 307–337.

51 I. A. Krupenikov, *History of Soil Science: From Its Inception to the Present* (Bombay: Amerind Publishing Company, 1992).

52 Maeve McHugh, "Ancient Farming and Farmsteads Sources, Problems & Debates," in *The Ancient Greek Farmstead*, org. Maeve McHugh (Barnsley: Oxbow Books, 2017): 13-43.

53 Demetris Koutsoyiannis & A. Angelakis. 2004. "Agricultural Hydraulic Works in Ancient Greece," in *Encyclopedia of Water Science*, org. S. W. Trimble (Boca Raton: CRC Press, 2004): 24–27.

54 McHugh

55

56 Kenneth D. White, "Fallowing, crop rotation & crop yields in Roman times," *Agricultural History* 44 (1970): 281-290.

Os Romanos criaram um império de base agrária com uma impressionante estrutura de produção de alimentos e gestão de recursos hídricos de escala monumental. Os Romanos foram talvez os mais exímios gestores pré-industriais de recursos hídricos para consumo público e rega que facilitou a urbanização e a estabilidade socioeconómica durante séculos não obstante a variabilidade climática interanual do Mediterrâneo<sup>57</sup>.

Apesar da extensa e complexa rede de obras de engenharia hidráulica, aquedutos, canais, diques, para rega, drenagem e controlo do solo e de inundações, há relatos de sérios erosivos do solo sobretudo causados por desflorestação excessiva<sup>58</sup> e escorrimento superficial de terrenos em pousio nu; os Romanos estavam bem conscientes da necessidade de proteger os solos e utilizaram princípios legais ordinários para combater a degradação do solos. O Imperador Augusto, por exemplo, implementou leis para limitar o uso de florestas e proteger as terras públicas da erosão<sup>59</sup>.

A lei romana de conservação do solo era uma parte do corpo legal que regulava os direitos e deveres dos proprietários cujas terras confinavam uma com as outras. Estas leis baseavam-se em dois pilares fundamentais: *Actio Legis Aquiliae* e *Actio Negatoria*. A primeira diz respeito a ações negligentes no caso de danos proprietários, a segunda equivale a ações de trespasses e perturbação<sup>60</sup>.

*Actio Legis Aquiliae*, que tem o nome do seu criador, Aquilius, um jurista romano do terceiro século AC, é um dos exemplos mais antigos da tradição legislativa Ocidental de ação legal por danos causados e é considerada como antecedente importante do atual direito de restituição<sup>61</sup>.

*Actio Negatoria* (ação de negação) refere-se ao direito de propriedade ou posse contra a interferência ilegal por parte de terceiro. No direito civil moderno está ainda em uso como base legal nas disputas sobre direitos de propriedade<sup>62</sup>. *Actio Negatoria* foi gradualmente reforçada por outras ações que estenderam o princípio que ninguém pode sofrer com os atos cometidos na sua propriedade que de alguma forma interfiram com a utilização razoável das propriedades confinantes.

Exemplos dessas adições legais são *Operis Novi Nuntiatio*, *Cautio Damni Infecti* e *Actio Aquae Pluviae Arcendae*. Esta última aplica-se aos terrenos rurais (*ager*) e tem como objetivo a injunção de operações numa propriedade a montante que sejam uma ameaça a propriedades a jusante por escorrimento superficial sem causas naturais<sup>63</sup>.

---

<https://www.jstor.org/stable/3741455> (acessado em 13 outubro 2023).

57 B. J. Dermody, H. J. de Boer, M. F. P. Bierkens, S. L. Weber, M. J. Wassen & S. C. Dekker, "A seesaw in Mediterranean precipitation during the Roman Period linked to millennial-scale changes in the North Atlantic," *Climate of the Past* 8 (2012): 637-651. doi: 10.5194/cp-8-637-2012.

58 Ingemar Renberg, Maria Wik Persson & Ove Emteryd, "Pre-industrial atmospheric lead contamination detected in Swedish lake sediments," *Nature* 368 (1994): 323-326. doi: 10.1038/368323a0.

59 Karl F. Milde, "Roman contributions to the law of soil conservation," *Fordham Law Review* 19 (1950): 192-196. <https://core.ac.uk/download/pdf/144223285.pdf> (acessado em 14 outubro 2023).

60 *ibid.*

61 R. Zimmermann, *The Law of Obligations: Roman Foundations of the Civilian Tradition* (Oxford: Oxford University Press, 1996).

62 Tikhon Podshivalov, "Models of *Actio Negatoria* in the law of Russia and European countries," *Russian Law Journal* 7 (2019): 128-164. doi: 10.17589/2309-8678-2019-7-2-128-164.

63 Milde, 11.

A República e depois o Império Romano era suportado pela rede de estradas, rotas marítimas e de aprovisionamento público que permitiam aos poderes políticos intervirem na regulamentação das diversas atividades económicas, sociais e militares, em particular, na produção, aprovisionamento e distribuição de alimentos. No auge do Império (100 AC – 200 DC), o clima temperado e húmido ajudava a sua prosperidade<sup>64</sup>, mas no terceiro século DC, na parte Ocidental do Império tudo mudou com alterações para um clima mais frio e seco que reduziram a produção agrícola, com ela as fomes, as pestes, as doenças e a instabilidade política proliferaram<sup>65</sup>. O império no Ocidente estava em sério declínio<sup>66</sup>.

## Os Islâmicos

No século VIII DC as condições climáticas no Oriente Próximo provavelmente tornaram-se mais amenas com temperaturas mais baixas e maior humidade e o centro da civilização mudou-se do Império Romano para Bagdade<sup>67</sup>. O enfraquecimento do império Bizantino no Mediterrâneo Oriental a partir de meados do século VII DC e o desaparecimento da Pérsia Sassânida, levou o Califado Islâmico a unificar os territórios do Afeganistão à Ibéria, um feito sem precedentes na história da Humanidade. A unidade política facilitou as comunicações, o comercio, encorajou a difusão de ideias e conhecimentos<sup>68</sup>.

A agronomia Islâmica é intelectualmente a continuidade das observações e experiências Gregas, Romanas e Persas Sassânidas e a sua literatura agrícola elucidada a evolução do conhecimento sobre produtividade agrícola, ecologia e alterações socioeconómicas<sup>69</sup>. Um notável exemplo é o trabalho de Ibn Al-Awwam (c. 1160 DC) que integra as tradições agrícolas Orientais, Ocidentais, Clássicas e Islâmicas tal como o conhecimento sobre os solos e das práticas hortícolas<sup>70</sup>. Esta integração cultural e científica no Dār al-Islām (o mundo Islâmico) foi muito além da simples acumulação de conhecimentos de técnicas e teve um perdurável sucesso na gestão ecológica e agrícola Islâmica com adaptação às condições de necessidades de cada região<sup>71</sup>.

---

64 Fredrik C. Ljungqvist, "A new reconstruction of temperature variability in the extra-tropical northern hemisphere during the last two millennia," *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography* 92 (2010): 339-351. doi: 10.1111/j.1468-0459.2010.00399.x.

65 Michael McCormick, Ulf Büntgen, Mark A. Cane, Edward R. Cook, Kyle Harper, Peter Huybers, Thomas Litt, Sturt W. Manning, Paul Andrew Mayewski, Alexander F. M. More, Kurt Nicolussi & Willy Tegel, "Climate Change during and after the Roman Empire: Reconstructing the Past from Scientific and Historical Evidence," *The Journal of Interdisciplinary History* 43 (2012): 169-220. doi: 10.1162/JINH\_a\_00379.

66 Kyle Harper, "The environmental fall of the Roman Empire," *Daedalus* 145 (2016): 101-111. doi: 10.1162/DAED\_a\_00380

67 McCormick

68 Michael Decker, "Plants and progress: Rethinking the Islamic agricultural revolution," *Journal of World History* 20 (2009): 187-206. doi: 10.1353/jwh.0.0058

69 Karl W. Butzer, "Environmental history in the Mediterranean world: cross-disciplinary investigation of cause-and-effect for degradation and soil erosion," *Journal of Archaeological Science* 32 (2005): 1773-1800. doi: 10.1016/j.jas.2005.06.001.

70 Karl W. Butzer, "The Islamic traditions of agroecology: Crosscultural experience, ideas and innovations," *Cultural Geographies* 1 (1994): 50-7. <https://www.jstor.org/stable/44251681> (acessado em 14 outubro 2023).

71 Lucie Bolens, New York, "Agriculture in the Islamic World," in *Encyclopaedia of the History of Science, Technology, and Medicine in Non-Western Cultures*, org. Helaine Selin (New York: Springer, 2008): 44-47.

A agricultura Islâmica foi de início a agricultura Árabe pois o Islão desenvolveu-se a partir da Península Arábica entre os Beduínos. A familiaridade dos Árabes com o cultivo de zonas áridas tornou-os experientes na utilização de solos marginais mas com a expansão territorial do Islão pelos impérios Umayyad e Abbasid, regiões temperadas, subsumidas e subtropicais foram também agricultadas<sup>72, 73</sup>. A expansão do Islão por três continentes nos séculos VII e VIII DC foi seguida por uma verdadeira revolução agrícola sem esquecer as evoluções na educação superior, na tecnologia industrial, nas artes, na arquitetura, na culinária e muitas outras. No centro da revolução agrícola estavam os novos cultivos como o arroz, sorgo, cana-de-açúcar, algodão, melancias, laranjas, entre muitos outros, que os islâmicos conseguiram adaptar a condições ambientais diferentes da sua origem<sup>74</sup>. Sistemas agrícolas mais intensivos com rotações de cultivos que permitiam a ocupação dos solos com redução dos períodos de pousio aumentaram as produções e os rendimentos agrícolas e suporte para a expansão demográfica. A intensificação era trabalho intensiva e exigia novas técnicas de fertilização orgânica e inorgânica, irrigação tecnologicamente mais sofisticada e gestão dos solos, todas elas desenvolvidas, aperfeiçoadas e adaptadas a solos e climas locais<sup>75, 76</sup>.

Apesar da sofisticação e sucessos da agricultura Islâmica por todos os territórios da sua expansão, a erosão e a degradação dos solos acabou por contribuir para o declínio social e económico. A agricultura no Sul da Península Ibérica e no deserto do Negueve são dois exemplos desses fenómenos. A agricultura no Al-Andaluz atingiu níveis tecnológicos e de produtividade notáveis<sup>77</sup>, mas a sobre utilização dos solos e conseqüente erosão foram causa do abandono populacional de áreas do Baixo Alentejo, Portugal, a partir de meados do século XII DC, 100 anos antes de reconquista cristã<sup>78</sup> e nas serras da Andaluzia verificaram-se desflorestação e erosão do solo em larga escala durante as últimas gerações de ocupação Muçulmana<sup>79</sup>. No deserto do Negueve praticou-se durante cerca de 700 anos agricultura por captação e armazenamento de água de escorrência mas exigia sucessivos, mais intensos e dispendiosos trabalhos de conservação do solo para contrariar a erosão e sedimentação dos reservatórios até se tornarem proibitivos<sup>80</sup>.

---

72 Ibid.

73 Michael Decker, "Plants and progress: Rethinking the Islamic agricultural revolution," *Journal of World History* 20 (2009): 187-206. doi: 10.1353/jwh.0.0058

74 Andrew M. Watson, "The Arab agricultural revolution and its diffusion, 700–1100," *The Journal of Economic History* 34 (1974): 8-35. <https://www.jstor.org/stable/2116954> (acessado em 14 outubro 2023).

75 Watson, 13.

76 Decker, 13

77 S. M. Imāmuddin, "Al-Filahah (farming) in muslim Spain," *Islamic Studies* 1 (1962): 51-89. <https://www.jstor.org/stable/20832657> (acessado em 14 outubro 2023).

78 James L. Boone & F. Scott Worman, "Rural settlement and soil erosion from the late Roman Period through the medieval Islamic Period in the lower Alentejo of Portugal," *Journal of Field Archaeology* 32 (2007): 115-132. <https://www.jstor.org/stable/40024661> (acessado em 14 outubro 2023).

79 Karl W. Butzer, "Environmental history in the Mediterranean world: cross-disciplinary investigation of cause-and-effect for degradation and soil erosion," *Journal of Archaeological Science* 32 (2005): 1773-1800. doi: 10.1016/j.jas.2005.06.001.

80 Yoav Avni, Gideon Avni & Naomi Porat, "A review of the rise and fall of ancient desert runoff agriculture in the Negev Highlands - A model for the southern Levant deserts," *Journal of Arid Environments* 163 (2019): 127-137. doi: 10.1016/j.

## Os Maia

A cultura Maia na América Central floresceu durante 3000 anos numa extensa rede populosa de cidades num território que ocupava parte dos atuais países do México, Guatemala, Belize, Honduras e S. Salvador e está associada a práticas agrícolas eficientes, desenvolvimento da escrita hieroglífica, arte monumental e arquitetura, avanços científicos em astronomia e matemática incluindo o conceito de zero, apesar de não terem instrumentos metálicos e não utilizarem a roda<sup>81, 82, 83</sup>.

O desenvolvimento cultural Maia aconteceu durante os períodos pré-clássico (Inicial, Intermédio e Tardio) de 1500 BC a 250 DC e o clássico de 250 a 1200 DC. No período de 300 BC a 900 DC os Maia desenvolveram uma florescente e sofisticada economia agrária, uma rede comercial bem estruturada, extensas infraestruturas públicas e intrincadas obras de arte; a civilização Maia atingiu níveis intelectuais sem paralelo no Hemisfério Ocidental<sup>84, 85</sup>. Quando os reis de Tikal dedicaram os seus primeiros monumentos no século III BC inauguraram o período clássico no qual nasceram as famosas cidade de Palenque, Copan e Yaxchilan e muitas outras, algumas atingiram dezenas de milhares de habitantes com densidade populacional de 770 pessoas por km<sup>2</sup> equivalente à cidade de Los Angeles<sup>86</sup>.

O território ocupado pelos Maia era coberto por densa floresta tropical e com um regime de pluviosidade que alternava um período chuvoso com outro seco e os solos na sua maioria de natureza cársica não retêm água à superfície<sup>87</sup>. O sistema agrícola desenvolvido pelos Maia era a agricultura itinerante (*milpa* na designação local) onde a floresta era derrubada e queimada para dar lugar ao cultivo de milho, feijão e abóbora a base da sua dieta, mas dado que o solo perdia fertilidade após uns poucos ciclos agrícolas, o terreno era deixado à vegetação espontânea por vários anos para recuperação da fertilidade e os agricultores moviam-se para local próximo onde se repetia o processo<sup>88</sup>.

Os agricultores Maia enfrentavam outro sério problema de degradação do solo que se devia à erosão, mesmo em terrenos de pequeno declive, sempre que a cobertura de vegetação natural era removida; o solo carregado e a escorrência nos declives criava

---

jaridenv.2019.01.010.

81 Marilyn A. Masson, "Maya collapse cycles," *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109 (2012): 18237-18238. doi: 10.1073/pnas.1213638109.

82 Werner Marx, Robin Haunschild & Lutz Bornmann, "The role of climate in the collapse of the Maya civilization: A bibliometric analysis of the scientific discourse," *Climate* 5 (2017): 88-110. doi: 10.3390/cli5040088.

83 Gerald A. Islebe, N. Torrecano-Valle, M. Valdez-Hernandez, A. Carrillo-Bastos & A. A. Aragon-Moreno, "Maize and ancient Maya droughts," *Science Reports* 12 (2022): 1-11. doi: 10.1038/s41598-022-26761-3.

84 Raymond E. Crist & Louis A. Paganini, "The rise and fall of Maya civilization," *American Journal of Economics & Sociology* 39 (1980): 23-23-30. doi: 10.1111/j.1536-7150.1980.tb01253.x.

85 Gerald A. Islebe, N. Torrecano-Valle, M. Valdez-Hernandez, A. Carrillo-Bastos & A. A. Aragon-Moreno, "Maize and ancient Maya droughts," *Science Reports* 12 (2022): 1-11. doi: 10.1038/s41598-022-26761-3.

86 F. Estrada-Belli, *The First Maya Civilization: Ritual and Power Before the Classic Period* (London: Taylor & Francis, 2010).

87 V. L. Scarborough, N. P. Dunning, K. B. Tankersley, C. Carr, E. Weaver, L. Grazioso, B. Lane, J. G. Jones, P. Buttles, F. Valdez & D. L. Lentz, "Water and sustainable land use at the ancient tropical city of Tikal, Guatemala," *Proceedings of National Academy of Science USA* 109 (2012): 12408-13. doi: 10.1073/pnas.1202881109.

88 Crist, 15.

condições de alagamento a jusante<sup>89</sup>. Os registos arqueológicos mostram que todas as áreas agrícolas da Mesoamérica pré-Colombiana sofreram fenómenos erosivos graves que resultaram em acentuada degradação ambiental<sup>90, 91</sup>.

Os Maia eram particularmente sensíveis a estes problemas porque na sua visão do mundo, a terra é propriedade dos deuses e operada pelo ancestrais, logo, os humanos têm de obter permissão e aprovação para interagir com o ambiente incluindo o solo; assim, os Maia adquiriram um profundo conhecimento das propriedades do solo, da sua gestão e proteção<sup>92</sup>.

Os Maia recorreram a técnicas agrícolas de terraceamento, rotação de cultivos, períodos de pousio prolongados e drenagem de zonas alagadas para obstar aos fenómenos erosivos acelerados, à perda de fertilidade do solo e ao encharcamento, tal como fizeram outras sociedades agrárias pelo mundo fora. Para fazer face às necessidades em água para os cultivos nos períodos secos e satisfazer o consumo das suas enormes cidades, os Maia desenvolveram extensos e sofisticados sistemas hidráulicos para recolha, armazenamento e distribuição de água que permitiram que cada agricultor alimentasse 10 a 12 pessoas que podiam então dedicar-se a outras atividades<sup>93, 94, 95</sup>.

O sistema de gestão agrícola e de água revelou-se resiliente mesmo durante períodos de falta de precipitação prolongada e permitiu um grande aumento da população a começar já na fase pré-clássica e que atingiu o seu apogeu entre os séculos VII e VIII DC<sup>96, 97, 98</sup>. Para satisfazer as necessidades da população quer em alimentos, quer em água, energia e materiais de construção foi preciso intensificar a produção agrícola, incrementar a monocultura do milho, aumentar a desflorestação, reduzir o tempo de pousio. Estas opções incrementaram a erosão, a perda de fertilidade do solo, a suscetibilidade dos cultivos a pragas e doenças, e a perda de cobertura vegetal levou ao aumento da temperatura (de 3 a

---

89 B. L. Turner & J. A. Sabloff, "Classic period collapse of the Central Maya Lowlands: insights about human-environment relationships for sustainability," *Proceedings of National Academy of Science USA* 109 (2012): 13908-14. doi: 10.1073/pnas.1210106109.

90 Julie L. Kunen, "Ancient Maya agricultural installations and the development of intensive agriculture in NW Belize," *Journal of Field Archaeology* 28 (2001): 325-325-346. doi: 10.1179/jfa.2001.28.3-4.325.

91 Timothy Beach, Sheryl Luzzadder-Beach, Nicholas Dunning, Jon Hageman & Jon Lohse, "Upland agriculture in the Maya lowlands: Ancient Maya soil conservation in Northwestern Belize," *Geographical Review* 92 (2002): 372-372-397. doi: 10.2307/4140916.

92 E. Christian Wells & Lorena D. Mihok, "Ancient Maya Perceptions of Soil, Land & Earth," in *Soil and Culture*, org. E. Landa & C. Feller (Dordrecht: Springer, 2010): 311-327.

93 Raymond E. Crist & Louis A. Paganini, "The rise and fall of Maya civilization," *American Journal of Economics & Sociology* 39 (1980): 23-23-30. doi: 10.1111/j.1536-7150.1980.tb01253.x.

94 Wells, 16.

95 V. L. Scarborough, N. P. Dunning, K. B. Tankersley, C. Carr, E. Weaver, L. Grazioso, B. Lane, J. G. Jones, P. Buttes, F. Valdez & D. L. Lentz, "Water and sustainable land use at the ancient tropical city of Tikal, Guatemala," *Proceedings of National Academy of Science USA* 109 (2012): 12408-13. doi: 10.1073/pnas.1202881109.

96 Joseph R. McAuliffe, Peter C. Sundt, Alfonso Valiente-Banuet, Alejandro Casas & Juan Luis Viveros, "Pre-columbian soil erosion, persistent ecological changes & collapse of a subsistence agricultural economy in the semi-arid Tehuacán Valley, Mexico's 'Cradle of Maize'," *Journal of Arid Environments* 47 (2001): 47-75. doi: 10.1006/jare.2000.0691.

97 Timothy Beach, Sheryl Luzzadder-Beach, Nicholas Dunning, Jon Hageman & Jon Lohse, "Upland agriculture in the Maya lowlands: Ancient Maya soil conservation in Northwestern Belize," *Geographical Review* 92 (2002): 372-372-397. doi: 10.2307/4140916.

98 Scarborough, 16.

5°C) e redução da precipitação<sup>99, 100, 101</sup>. Por volta do ano 900 DC, o equilíbrio ambiental que estava seriamente comprometido pela sobre-exploração dos recursos, pela diminuição da capacidade adaptativa natural e pela complexidade da sociedade Maia do período clássico tardio foi atingido por secas severas às quais a sociedade foi incapaz de se adaptar<sup>102, 103</sup>. A ordem social Maia colapsa sob pressão destes fenômenos e efeitos colaterais como epidemias, convulsão religiosa, guerra, alterações de rotas comerciais<sup>104, 105</sup>.

De acordo com alguns autores, o clima é o fator determinante do desenvolvimento da vegetação mas no Holoceno a partir de 3000 – 2000 BC o impacto acumulado de cultivo, pastoreio, pirotecnologia associados a aumento de população passaram a ter influencia superior ao clima e argumentam que a desflorestação e erosão associadas à agricultura estão correlacionadas com o desaparecimento da civilização Maia<sup>106, 107, 108</sup>.

## CONSERVAÇÃO DO SOLO CONTEMPORÂNEA

As grandes alterações das paisagens e economias rurais verificadas no século XX têm as suas raízes mais próximas nos séculos XIII e XIX. Por volta de 1750 – 1760, Charles Townshend popularizou na Grã-Bretanha a rotação de culturas quadrienal que ficou conhecida por rotação de Norfolk a qual já era conhecida desde o século XVI na região de Waasland (atualmente no Norte da Bélgica) e que mais tarde foi adotada na maioria dos países industrializados. Esta prática aumentou significativamente a produção e a produtividade agrícolas que libertou a mão de obra necessária para a industrialização e alimentação das populações urbanas<sup>109</sup>. Seguiram-se muitos outros avanços científicos e tecnológicos como na química liderada por Justus von Liebig que em 1840 publicou um trabalho notável – Química Orgânica e suas Aplicações à Agricultura e Fisiologia; na

99 Raymond E. Crist & Louis A. Paganini, "The rise and fall of Maya civilization," *American Journal of Economics & Sociology* 39 (1980): 23-23-30. doi: 10.1111/j.1536-7150.1980.tb01253.x.

100 NASA, "The fall of the Maya: 'They did it to themselves'," [https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2009/06oct\\_maya](https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2009/06oct_maya) (acessado em 14 outubro 2023).

101 Werner Marx, Robin Haunschild & Lutz Bornmann, "The role of climate in the collapse of the Maya civilization: A bibliometric analysis of the scientific discourse," *Climate* 5 (2017): 88-110. doi: 10.3390/cli5040088.

102 P. M. Douglas, M. Pagani, M. A. Canuto, M. Brenner, D. A. Hodell, T. I. Eglinton & J. H. Curtis, "Drought, agricultural adaptation & sociopolitical collapse in the Maya Lowlands," *Proceedings of National Academy Science USA* 112 (2015): 5607-12. doi: 10.1073/pnas.1419133112.

103 Eleni Dimelisová, "Possibilities and limits in the management of mountain watersheds: Lessons from the Maya civilization," *Land Use Policy* 80 (2019): 415-423. doi: 10.1016/j.landusepol.2018.01.026.

104 Tim Beach, Sheryl Luzzadder-Beach, Duncan Cook, Nicholas Dunning, Douglas J. Kennett, Samantha Krause, Richard Terry, Debora Trein & Fred Valdez, "Ancient Maya impacts on the Earth's surface: An early Anthropocene analog?" *Quaternary Science Reviews* 124 (2015): 1-30. doi: 10.1016/j.quascirev.2015.05.028

105 Tim Beach, S. Luzzadder-Beach & D. Cook, "Climatic changes and collapses in Maya history," *Past Global Change Magazine* 24 (2016): 66-67. doi: 10.22498/pages.24.2.66.

106 Naomi F. Miller, "The macrobotanical evidence for vegetation in the Near East, c. 18 000/16 000 B.C to 4 000 B.C.," *Paléorient* 23 (1997): 197-207. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:84019157> (acessado em 14 outubro 2023).

107 Elliot M. Abrams & David J. Rue, "The causes and consequences of deforestation among the prehistoric Maya," *Human Ecology* 16 (1988): 377-395. doi: 10.1007/BF00891649.

108 Joseph R. McAuliffe, Peter C. Sundt, Alfonso Valiente-Banuet, Alejandro Casas & Juan Luis Viveros, "Pre-columbian soil erosion, persistent ecological changes & collapse of a subsistence agricultural economy in the semi-arid Tehuacán Valley, Mexico's 'Cradle of Maize'," *Journal of Arid Environments* 47 (2001): 47-75. doi: 10.1006/jare.2000.0691.

109 R. A. C. Parker, "Coke of Norfolk and the agrarian revolution," *The Economic History Review* 8 (1955): 156-166. doi: 10.2307/2590984.

biologia onde pontificou Charles Darwin e o seu livro *Origens das Espécies por Seleção Natural* de 1859, Gregor Mendel no seu trabalho sobre hibridização em 1865, Louis Pasteur que desenvolveu a cura para o Antrax em 1881 e James Watson e Francis Crick que foram fundamentais na descoberta do ácido desoxirribonucleico (ADN – o segredo da vida) em 1953; na mecânica com a invenção do trator com motor de combustão interna por John Froelich em 1892 foi o passo crucial na mecanização da agricultura que hoje domina toda atividade agrícola<sup>110</sup>.

No século XX a agricultura adquire uma sólida base científica que permite uma dramática intensificação dos sistemas agrícolas e sua expansão a novas áreas, à quadruplicação da produção na segunda metade do século suportadas pela mecanização, pelo aumento da aplicação de pesticidas e fertilizantes de síntese e investimentos em energia na forma de combustíveis fósseis<sup>111, 112</sup>. A necessidade de alimentar a crescente população do mundo direciona as políticas agrícolas no sentido de melhorar a segurança alimentar e maximizar a produção mas que enfrenta as sérias ameaças da alteração climática, escassez de água e redução da fertilidade do solo, enquanto respeita o equilíbrio ambiental para manter a sustentabilidade dos sistemas agrícolas<sup>113, 114</sup>.

A manutenção da sustentabilidade é indissociável de boa gestão do solo que exige uma redução da erosão antrópica que é reconhecida como um dos maiores problemas ambientais responsável pela perda da fertilidade do solo, redução dos rendimentos dos cultivos e aumento das emissões de CO<sub>2</sub>, exacerbando o aquecimento global<sup>115, 116</sup> e as atividades humanas ligadas à agricultura (mudanças no uso dos solos, desflorestação, sobre exploração, intensificação agrícola) são um dos fatores que mais contribuem para a erosão acelerada<sup>117</sup>.

Desde o final do século XIX e início do século XX, os agricultores e cientistas começaram a perceber os efeitos negativos da degradação do solo, causada pela agricultura intensiva. A degradação ambiental em larga escala, a ser estudada cientificamente e a dar início a programas nacionais de conservação do solo, têm origem no que ficou conhecido

---

110 D. Paarlberg & P. Paarlberg, *The Agricultural Revolution of the 20th Century* (Ames: Iowa State University Press, 2000).

111 H. K. Jain, "Transition to twenty-first century agriculture: Change of direction," *Agricultural Research* 1 (2012): 12-17. doi: 10.1007/s40003-011-0008-0.

112 Muyesaier Tudi, Huada Daniel Ruan, Li Wang, Jia Lyu, Ross Sadler, Des Connell, Cordia Chu & Dung T. Phung, "Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment," *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18 (2021): 1-23. doi: 10.3390/ijerph18031112.

113 Robert A. Robinson & William J. Sutherland, "Post-war changes in arable farming and biodiversity in Great Britain," *Journal of Applied Ecology* 39 (2002): 157-176. doi: 10.1046/j.1365-2664.2002.00695.x.

114 Miguel A. Altieri & Clara I. Nicholls, "The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate," *Climatic Change* 140 (2013): 33-45. doi: 10.1007/s10584-013-0909-y.

115 Jean Poesen, "Soil erosion in the Anthropocene: Research needs," *Earth Surface Processes and Landforms* 43 (2018): 64-84. doi: <https://doi.org/10.1002/esp.4250> (acessado em 14 outubro 2023).

116 Emanuele Lugato, Pete Smith, Pasquale Borrelli, Panos Panagos, Cristiano Ballabio, Alberto Orgiazzi, Oihane Fernandez-Ugalde, Luca Montanarella & Arwyn Jones, "Soil erosion is unlikely to drive a future carbon sink in Europe," *Science Advances* 4 (2018): eaau3523. doi: 10.1126/sciadv.aau3523.

117 Panos Panagos, Anton Imeson, Katrin Meusburger, Pasquale Borrelli, Jean Poesen & Christine Alewell, "Soil conservation in Europe: Wish or reality?" *Land Degradation & Development* 27 (2016): 1547-1551. doi: 10.1002/ldr.2538.



como o Dust Bowl (tempestades de pó, literalmente, “tigela de pó”) nos Estados Unidos da América. O termo foi cunhado pelo jornalista da Associated Press Robert Geiger (1923-).

No final do século XIX, princípio do XX, um grande número de pessoas foi viver para as grandes planícies americanas graças às Homesteading Acts, um conjunto de leis implementadas entre 1862 e 1916 pelas quais os candidatos que se comprometessem a cultivá-las e melhorá-las podiam ficar na posse de terrenos do governo ou do domínio público. O objetivo era incentivar a colonização e o desenvolvimento do Oeste americano e mais de 650 mil km<sup>2</sup>, quase 10% da área total dos EUA, foram dados a 1,6 milhões de colonos (*homesteaders*)<sup>118</sup>.

Milhões de hectares de vegetação natural, incluindo zonas marginais, foram transformadas em campos de cultivo de cereais e criação de gado, atingindo enormes áreas sobretudo durante a Primeira Grande Guerra para satisfazer as necessidades em trigo da Europa e depois para compensar a queda dos preços durante a Grande Depressão (1929). A seca severa de 1931 associada a temperaturas elevadas e ventos fortes deixou o solo, já sobre explorado e mal gerido, exposto à erosão eólica iniciando-se o Dust Bowl que durou toda a década de 30 com o pico numa tempestade a 14 de Abril de 1935. Os danos ambientais, agrícolas, sociais, económicos e de saúde pública foram devastadores<sup>119, 120</sup>. Os dramas sociais foram magistralmente retratados no romance de John Steinbeck (1939) “As Vinhas da Ira”, uma obra prima da literatura Americana.

Face à gravíssima situação causada pelo Dust Bowl, o Congresso Americano implementou o Soil Conservation Act publicado a 27 de Abril 1935<sup>121, 122</sup> uma disposição legislativa para enfrentar os problemas erosivos e que instituiu a política e os objetivos da melhoria e preservação dos recursos edáficos da nação. Este Act criou o Serviço de Conservação do Solo, atualmente designado por Serviço de Conservação dos Recursos Naturais, responsável pela promoção da conservação e do uso produtivo do solo. A mudança do nome do serviço é paradigmática das alterações conceptuais e funcionais que se vão operar desde então.

Esta legislação marca a institucionalização objetiva e substantiva da conservação primeiro do solo e nos passos seguintes do ambiente em geral. Vai influenciar o pensamento e a ação no que respeita à conservação ambiental por todo o mundo. Outras leis e regulamentos serão aperfeiçoamentos e adaptações a condições sempre em mudança por toda a parte. Nos EUA surgiram o *Soil and Water Resources Conservation Act* de 1977<sup>123</sup>

118 Paul Frymer, *Building an American Empire. The Era of Territorial and Political Expansion* (New Jersey: Princeton University Press, 2017).

119 Richard A. Warrick, “Drought in the Great Plains: A case study of research on climate and society in the USA,” *Climatic Constraints and Human Activities* 10 (1980): 93-123. <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/1222/1/XB-80-511.pdf#page=105> (acessado em 14 outubro 2023).

120 William E. Riebsame, “Sustainability of the great plains in an uncertain climate,” *Great Plains Research* 1 (1991): 133-151. <https://www.jstor.org/stable/23775729> (acessado em 14 outubro 2023).

121 C. Merchant, *The Columbia Guide to American Environmental History* (New York: Columbia University Press, 2005).

122 Luca Montanarella, “Agricultural policy: Govern our soils,” *Nature* 528 (2015):32-33. doi: 10.1038/528032a.

123 James M. Jeffords, “Soil conservation policy for the future,” *Journal of Soil and Water Conservation* 37 (1982): 10-13. <https://www.jsowconline.org/content/37/1/10> (acessado em 14 outubro 2023).

(James 1982) e o *Federal Soil Protection Act* de 1996<sup>124</sup> (United States 2020).

O *European Soil Charter* de 1972 é tido como o primeiro documento de âmbito internacional relacionado com o solo e em 1981 foi adotado o *World Soil Charter* e o *World Soils Policy* negociados entre o Programa para o Ambiente das Nações Unidas (UNEP) em coordenação com a Organização para Alimentação e Agricultura (FAO), nenhum destes instrumentos foi vinculativo mas pretendiam ajudar cada país a formular as suas políticas de conservação<sup>125</sup>. Por exemplo, na Alemanha foi promulgado o *German Soil Protection Act* de 1998<sup>126</sup> e nos Países Baixos o *Soil Protection Act* de 1987<sup>127</sup>.

O *Single European Act* de 1987 estabeleceu a possibilidade da União Europeia regulamentar a proteção do solo<sup>128</sup> e recentemente *The European Green Deal*<sup>129</sup> aponta estratégias de crescimento onde se inclui a proteção do solo para melhorar o que considera a situação alarmante dos solos na Europa. Os métodos que devem ser utilizados para gerir os solos estão expressos na *EU Soil Strategy for 2030 – Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate*<sup>130</sup>.

Todos os instrumentos legais e técnicos implementados no mundo têm comum os seguintes objetivos: controlo da erosão, manutenção de permeabilização, manutenção do teor em matéria orgânica, redução da poluição, manutenção da biodiversidade. Nas áreas agrícolas, os métodos apontados são igualmente idênticos: rotação de cultivos, terraceamento, redução do distúrbio do solo, fertilizações verdes, minimização de fertilizantes de síntese e de pesticidas, eficiência da rega, reflorestamento, proteção da biodiversidade. Em muitos aspetos, são as mesmas práticas ancestrais que sustentaram civilizações antigas por milénios.

## SOLOS ANTROPOGÉNICOS. SOLOS URBANOS

A preocupação com a erosão do solo nos meios rurais foi sempre o centro das atenções quer da comunidade científica, quer dos agricultores, quer dos gestores políticos. Um estudo recente estima que a erosão hídrica antrópica custa cerca de 8 000 000 000

---

124 U.S. Department of Agriculture, “PL 104-127 - Federal Agriculture Improvement and Reform Act of 1996,” <https://www.fns.usda.gov/pl-104-127> (acessado em 14 outubro 2023).

125 Elizabeth Alori & Chilenye Nwapi. 2015. “International legal regime for sustainable soil,” *SSRN Electronic Journal* (2015): 98–114. doi: 10.2139/ssrn.2641138.

126 Claus-Peter Martens, “The German soil protection act 1998,” *European Energy and Environmental Law Review* 300 (1988): 300-306. <https://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.kluwer/eelr0007&div=70&id=&page=> (acessado em 14 outubro 2023).

127 Kees W. Keuzenkamp, Hugo G. von Meijjenfeldt & Jan M. Roels. 1990. “Soil Protection Policy in the Netherlands, The Second Decade,” in *Contaminated Soil '90: Third International KfK/TNO Conference on Contaminated Soil*, org. F. Arendt, M. Hinsenveld & W. J. Van Den Brink (Dordrecht: Springer, 1990), 3-10.

128 Dr Irene Heuser, “Soil governance in current European Union law and in the European Green Deal,” *Soil Security* 6 (2022): 1-6. doi: 10.1016/j.soisec.2022.100053.

129 European Council, “A New Strategic Agenda: 2019-2024,” <https://www.consilium.europa.eu/media/39914/a-new-strategic-agenda-2019-2024.pdf> (acessado em 14 outubro 2023).

130 European Commission, “Soil strategy for 2030. Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate,” [https://environment.ec.europa.eu/topics/soil-and-land/soil-strategy\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/soil-and-land/soil-strategy_en) (acessado em 14 outubro 2023).

US\$ anuais à economia mundial<sup>131</sup>. Contudo, a conservação do solo evoluiu para uma visão holística da conservação do ambiente onde o solo e a erosão têm um papel muito importante, mas agora também nas áreas de vegetação natural e nos meios urbanos pois a erosão pode ser um problema sério em meios urbanos não só pelas perdas onde ocorre como também nos locais onde se acumula o material carregado. Em paralelo com as áreas urbanas *sensu stricto*, incluem-se as industriais, mineiras, militares e rodoviárias onde há alteração / construção antropogénica de solos<sup>132</sup>.

Nesta visão mais abrangente existem outros riscos de degradação, nomeadamente, impermeabilização, salinização, poluição química e biológica, perda de biodiversidade.

A capacidade humana de alterar, transformar e danificar profundamente os solos tem aumentado significativamente a par dos recursos tecnológicos à disposição. A antrosolização<sup>133</sup>, a coleção de processos geomorfológicos e pedológicos resultantes da atividade humana que leva à formação de solos antrópicos, é particularmente evidente nas áreas urbanas onde se pode dizer que a pedosfera se alterou em antroposfera<sup>134</sup> (do grego *antropos* = homem, *pedon* = solo, *sphaira* = esfera) onde os solos naturais se transformaram profunda e irreversivelmente em antrosolos (solos antrópicos).

O estudo dos solos urbanos tem-se intensificado neste presente século e hoje há um entendimento que estes solos fornecem um vasto leque de funções ecológicas desde a regulação e purificação das escorrências superficiais, a moderação do clima, redução da poluição do ar, redução do ruído e também serviços culturais e recreacionais<sup>135, 136</sup>. Nos ambientes urbanos, os solos dos parques, espaços verdes e jardins residenciais (infraestruturas verdes) são funcionalmente os mais ativos<sup>137</sup>. A poluição dos solos urbanos, em particular com metais pesados, é um perigo ambiental, sanitário e epidemiológico<sup>138</sup> cuja fonte destes poluentes são os veículos motorizados, as emissões industriais e os desperdícios de construções<sup>139</sup>.

O crescimento urbano altera os ecossistemas vizinhos pelo acréscimo da procura de

---

131 Martina Sartori, George Philippidis, Emanuele Ferrari, Pasquale Borrelli, Emanuele Lugato, Luca Montanarella & Panos Panagos, "A linkage between the biophysical and the economic: Assessing the global market impacts of soil erosion," *Land Use Policy* 86 (2019): 299-312. doi: 10.1016/j.landusepol.2019.05.014.

132 Gian Franco Capra, Antonio Ganga, Eleonora Grilli, Sergio Vacca & Andrea Buondonno, "A review on anthropogenic soils from a worldwide perspective," *Journal of Soils and Sediments* 15 (2015): 1602-1618. doi: 10.1007/s11368-015-1110-x.

133 J. G. Bockheim & A. N. Gennadiyev, "The role of soil-forming processes in the definition of taxa in soil taxonomy and the world soil reference base," *Geoderma* 95 (2000): 53-72. doi: 10.1016/S0016-7061(99)00083-X.

134 Capra, 22.

135 V. I. Vasenev, A. P. E. Van Oudenhoven, O. N. Romzaykina & R. A. Hajiaghaeva, "The ecological functions and ecosystem services of urban and technogenic soils: from theory to practice (A review)," *Eurasian Soil Science* 51 (2018): 1119-1132. doi: 10.1134/S1064229318100137.

136 Jean Louis Morel, Claire Chenu & Klaus Lorenz, "Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining & military areas (SUITMAs)," *Journal of Soils and Sediments* 15 (2014): 1659-1666. doi: 10.1007/s11368-014-0926-0.

137 K. A. Bakhmatova, N. N. Matynyan & A. A. Sheshukova, "Anthropogenic soils of urban parks: A review," *Eurasian Soil Science* 55 (2022): 64-80. doi: 10.1134/s1064229322010021.

138 I. N. Semenkov & T. V. Koroleva, "International environmental legislation on the content of chemical elements in soils: Guidelines and schemes," *Eurasian Soil Science* 52 (2019): 1289-1297. doi: 10.1134/S1064229319100107.

139 Bakhmatova, 23.

recursos como água, alimentos, energia e por gerar grandes quantidades de desperdícios. Estima-se que as urbes requerem serviços eco sistêmicos de áreas 500 a 1000 vezes a área da própria urbe<sup>140</sup>. Aqui, a afetação de partes do solo urbano para a designada Agricultura Urbana, para parques e jardins pode ter um desempenho essencial na implementação da economia circular reduzindo a dependência das urbes dos serviços eco sistêmicos das áreas periurbanas e reduzir os riscos de cheias onde a agricultura é mais custo eficiente do que as obras de engenharia, para além de produzir alimentos para a população; os solos utilizados para agricultura urbana são como zonas tampão de proteção ambiental<sup>141</sup>.

## PROSPETIVAS DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL. CIÊNCIA E TECNOLOGIA

A conservação do solo e por extensão da natureza tem o ímpeto atual da necessidade de todos os países e comunidades prevenirem a sobre exploração dos recursos e proteção dos ecossistemas de onde decorre a premência do investimento em tecnologias que reduzam o impacto sobre o ambiente mas mantenham os sistemas produtivos e capazes de sustentar os 9,8 mil milhões de pessoas em 2050<sup>142</sup>. A procura de mercadorias de várias naturezas produzidas por meios menos danosos ao ambiente, em particular agrícolas com menor utilização de produtos de síntese, tem aumentado significativamente nos países de altos rendimentos<sup>143</sup>.

A tendência política que ainda predomina está focada no acréscimo da produtividade agrícola e na liberalização dos mercados e do comércio internacional e que incentiva a produção da maior quantidade possível ao mais baixo custo mas com pouca atenção aos danos ambientais<sup>144</sup>. Nesta conjuntura, a ciência e a tecnologia podem ajudar a manter as produções, controlar os custos e reduzir os efeitos negativos sobre o ambiente. Atualmente, é possível adquirir informação detalhada sobre as condições ambientais de cada unidade de área rural ou urbana, ao limite do metro quadrado se necessário, analisar os dados e estabelecer um plano de gestão adequado aos recursos existentes e à sua melhor utilização; são os meios postos à nossa disposição pelos sistemas de aquisição de dados e tecnologia da informação.

A informação pode ser obtida por sensores remotos de alta precisão transportados em satélites (Sentinel-2 e Landsat 8, por exemplo) e de acesso livre é largamente utilizada na observação ambiental e estudos de conservação da natureza<sup>145</sup>. Outras plataformas

140 Carl Folke, Åsa Gren, Jonas Larsson & Robert Costanza, "Cities and the biosphere," *Ambio* 50 (2021): 1634-1635. doi: 10.1007/s13280-021-01517-x.

141 Gizaw Ebissa & Hayal Desta, "Review of urban agriculture as a strategy for building a water resilient city," *City and Environment Interactions* 14 (2022): 100081. doi: 10.1016/j.cacint.2022.100081.

142 Akbar Hossain et al., "Agricultural Land Degradation: Processes and Problems Undermining Future Food Security," in *Environment, Climate, Plant and Vegetation Growth*, org. Shah Fahad, Mirza Hasanuzzaman, Mukhtar Alam, Hidayat Ullah, Muhammad Saeed, Imtiaz Ali Khan & Muhammad Adnan (Cham: Springer International Publishing, 2020): 17-61.

143 Indrė Bručienė, Sidona Buragienė & Egidijus Šarauskis, "Weeding effectiveness and changes in soil physical properties using inter-row hoeing and a robot," *Agronomy* 12 (2022): 1514. doi: 10.3390/agronomy12071514.

144 Tim G. Benton & Rob Bailey, "The paradox of productivity: agricultural productivity promotes food system inefficiency," *Global Sustainability* 2 (2019): e6. doi: 10.1017/sus.2019.3.

145 Dorijan Radočaj, Jasmina Obhodaš, Mladen Jurišić & Mateo Gašparović, "Global open data remote sensing satellite

como veículos aéreos ou terrestres não tripulados também transportam sensores que operam com uma resolução muito superior à dos satélites, mas cujo acesso não é livre, têm crescente utilização na gestão ambiental e, no caso particular da agricultura

na conservação dos recursos edáficos<sup>146, 147</sup>. Os dados obtidos são trabalhados por poderosas ferramentas informáticas e pela sua análise transformada em conhecimento que atualmente já é suficiente para desenhar planos de ação que minimizem a degradação ambiental mantendo os níveis de produção.

Os exemplos do passado mostram que a utilização da tecnologia então existente permitiu o aumento da população e a criação de sociedades urbanas. A determinado ponto, este crescimento obrigou à utilização mais intensiva dos recursos seguida de fragilização ambiental e quando associada a uma alteração climática, por pequena que fosse, ultrapassou a capacidade de adaptação da sociedade. A escassez de recursos ambientais vitais, em particular áreas agricultáveis, água e florestas, aumenta o risco de alterações demográficas, migrações, violência, insurreição, conflitos étnicos e, no limite, guerra civil<sup>148</sup> e a variabilidade climática potencia estes riscos<sup>149</sup>. Os países do Sahel (Sudão, Chade, República Centro Africana, Mali) parecem ser exemplos de conflitos desencadeados por escassez de recursos ambientais.

As sociedades antigas estavam espacialmente separadas e as relações entre si ou eram pouco relevantes ou mesmo inexistentes. Atualmente, os países estão interconectados e os riscos de colapso num deles pode propagar-se aos restantes, um fenómeno cujos sinais de alerta já existem<sup>150</sup>. Alguns autores especulam da existência de uma ligação entre a forma de governo e a influencia dos movimentos pela conservação da natureza suportada por exemplos de regimes autocráticos que fecham os olhos aos danos causados à natureza enquanto países com instituições estáveis são mais ativos na redução da poluição e na proteção da natureza<sup>151, 152</sup>.

---

missions for land monitoring and conservation: A review," *Land* 9 (2020). doi: 10.3390/land9110402.

146 Casper du Plessis, George van Zijl, Johan Van Tol & Alen Manyevere. 2020. "Machine learning digital soil mapping to inform gully erosion mitigation measures in the Eastern Cape, South Africa," *Geoderma* 368 (2020): 114287. doi: 10.1016/j.geoderma.2020.114287.

147 Ouafa Othmani, Kamel Khanchoul, Sana Boubehziz, Hamza Bouguerra, Abderraouf Benslama & Jose Navarro-Pedreño, "Spatial variability of soil erodibility at the Rhirane Catchment using geostatistical analysis," *Soil Systems* 7 (2023): 32-49. doi: 10.3390/soilsystems7020032.

148 Thomas Homer-Dixon & Tom Deligiannis, "Environmental Scarcities and Civil Violence," in *Facing Global Environmental Change: Environmental, Human, Energy, Food, Health and Water Security Concepts*, org. Hans Günter Brauch, Úrsula Oswald Spring, John Grin, Czeslaw Mesjasz, Patricia Kameri-Mbote, Navnita Chadha Behera, Béchir Chourou & Heinz Krumpal (Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009): 309-323.

149 Peter Turchin, Thomas E. Currie, Edward A. L. Turner & Sergey Gavrilets, "War, space & the evolution of Old World complex societies," *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110 (2013):16384-16389. doi: 10.1073/pnas.1308825110.

150 Jared Diamond, "Ecological collapses of past civilizations," *Proceedings of the American Philosophical Society* 138 (1994): 363-370. <https://www.jstor.org/stable/986741> (acessado em 14 outubro 2023).

151 Norman W. Hudson, "A world view of the development of soil conservation," *Agricultural History* 59 (1985): 326-339. <https://www.jstor.org/stable/3742395> (acessado em 14 outubro 2023).

152 Junaid Ashraf, "Do political instability, financial instability and environmental degradation undermine growth? Evidence from belt and road initiative countries," *Journal of Policy Modeling* 44 (2022):1113-1127. doi: 10.1016/j.jpolmod.2022.11.001.