

Capítulo 2

Os desafios da nutrição mineral de plantas¹

*Antônio Enedi Boaretto*²

*José Lavres Junior*³

*Cassio Hamilton Abreu-Júnior*⁴

2.1 Introdução

Após centenas de milhões de anos de evolução, o *Homo sapiens*, no período neolítico, que ocorreu há mais ou menos 12 mil anos, começou cultivar plantas e criar animais, transformando ecossistemas naturais originais em ecossistemas cultivados. A

¹ Para elaborar o presente capítulo, foram utilizados os artigos: Boaretto (2008a, b; 2009), Boaretto e Moraes (2010) e Boaretto e Lavres-Junior (2012).

² Engenheiro-Agrônomo, Doutor, Professor Sênior do Laboratório de Nutrição de Plantas, Divisão de Produtividade Agroindustrial e Alimentos, Centro de Energia Nuclear na Agricultura-Universidade de São Paulo, a.e.boaretto@cena.usp.br

³ Engenheiro-Agrônomo, Doutor, Professor do Laboratório de Nutrição de Plantas, Divisão de Produtividade Agroindustrial e Alimentos, Centro de Energia Nuclear na Agricultura-Universidade de São Paulo, jlavres@cena.usp.br

⁴ Engenheiro-Agrônomo, Doutor, Professor do Laboratório de Nutrição de Plantas, Divisão de Produtividade Agroindustrial e Alimentos, Centro de Energia Nuclear na Agricultura-Universidade de São Paulo, cahabreu@cena.usp.br

agricultura expandiu-se pelo mundo, tornando-se o principal fator de transformação da ecosfera (conjunto de todos os ecossistemas da Terra). O aumento da produção de alimentos, principalmente a partir de meados do século 20, possibilitou o aumento populacional, ocorrendo o desenvolvimento das cidades onde vive mais da metade da população que é dependente da outra parte que produz os alimentos, as fibras e a energia.

A nutrição mineral de plantas é “a ciência que estuda os nutrientes e suas funções na vida vegetal”. Este campo de saber, no âmbito da agronomia, tem por objetivo a produção sustentável de alimentos, fibras e energia. A planta, ao realizar a fotossíntese alimenta-se dos nutrientes contidos na terra, na água e no ar, desenvolve-se, produzindo os diferentes alimentos, sem os quais os animais não existiriam. As plantas produzem fibras que são usadas para os mais diversos fins. A energia solar armazenada pelos vegetais, que é renovável, é utilizada pelos seres humanos e substitui a energia fóssil, que é finita. As plantas também recuperam o ambiente, produzindo o oxigênio necessário na respiração dos animais e vegetais. Outras utilidades das plantas, tais como embelezar o ambiente e produzir substâncias que são utilizadas como fármacos, dependem também de que elas sejam adequadamente bem nutridas para poder desenvolver-se. Pode-se dizer que plantas saudáveis tornam o planeta Terra saudável. O alimento não deveria ser considerado como mercadoria igual às demais que são comercializadas, pois a disponibilidade de alimento para os seres humanos pode significar vida e, em sua ausência, a morte.

O estudo da nutrição de plantas como ciência teve início no século 16 d.C. e evoluiu muito no século 20, possibilitando, juntamente com as outras ciências agrárias, produzir uma quantidade de alimentos sem precedente na história da humanidade. Entretanto, pode ser constatado um paradoxo, pois ao mesmo tempo em que o excesso de peso de muitos seres humanos é um problema mundial de saúde, ainda há parte da população que

morre de fome por falta do alimento necessário para a sobrevivência. Do ponto de vista da nutrição mineral de plantas, pode-se dividir a história em três períodos: antes do século 16 d.C., quando praticamente se desconhecia como as plantas vivem; do século 16 até meados do século 20, quando, a partir dos conhecimentos adquiridos, a produção de alimentos possibilitou que houvesse uma população mundial de mais de 2 bilhões de habitantes; e finalmente a fase atual, na qual, alimentando as culturas com os nutrientes, está sendo possível produzir alimentos suficientes para mais de 7 bilhões de habitantes.

Os grandes desafios que podem ser constatados para que a humanidade tenha alimento suficiente em quantidade e qualidade para todos os seres humanos de hoje e para aqueles que ainda nascerão, não são evidentes e por isso mesmo são subjetivos e dependentes do ponto de vista de quem os analisa. Desta forma, os autores deste capítulo sabem que é uma tarefa árdua estabelecerem os desafios relacionados à nutrição mineral de plantas a serem superados atualmente e no futuro da humanidade, mas isto não os impede de fazer um exercício de futurologia. Assim, depois de discorrer sobre os obstáculos já superados neste importante campo da ciência, os autores estabelecem alguns desafios que entendem serem importantes no campo do ensino, da pesquisa e da extensão dos conhecimentos à sociedade. No ensino, um dos desafios é envidar esforços para que a disciplina de nutrição mineral de plantas tenha sua importância reconhecida e então seja ministrada em todos os cursos de agronomia, biologia, nutrição e outros. Na pesquisa, é necessário desenvolver o conhecimento para aplicações em campos que têm surgido e que certamente irão ainda aparecer. Na extensão de serviços à comunidade, a divulgação dos conhecimentos visando à utilização mais adequada dos alimentos, das fibras e energia é um dos grandes desafios que se apresentam para a sociedade hodierna de consumo e de desperdício. Contudo, pesquisar e educar para melhorar a percepção de todos,

notadamente os profissionais de ciências agrárias, sobre a real necessidade da produção de alimentos para o bem-estar e paz da humanidade, é o “nosso” grande desafio.

2.2 Período anterior aos conhecimentos da nutrição mineral de plantas

O *Homo sapiens*, depois de ter vivido como coletor-caçador por muito tempo desde seu surgimento na Terra, aprendeu a cultivar plantas e a domesticar animais, ocorrendo na história da humanidade um período revolucionário, chamado de Neolítico (10.000 a.C.), pois mudou em muito seu sistema de vida. Os seres humanos, ao começarem a cultivar plantas, foram tornando-se sedentários e estabeleceram assentamentos permanentes nos vales férteis dos rios, surgindo as primeiras civilizações. Com o passar do tempo, os humanos desenvolveram outras habilidades e ferramentas para tornar a agricultura mais fácil e começaram a usar os animais como força de trabalho. Com todo este avanço, os alimentos de origem vegetal e animal tornaram-se mais abundantes, e a população começou a crescer e apareceram as primeiras cidades, surgindo o comércio entre os povos, e também a escrita foi desenvolvida.

A população do mundo conhecido, desde a era clássica, com as civilizações grega e romana, até a Idade Média, no século 15, estima-se que variou de 10 milhões para 500 milhões de habitantes. Na Era Moderna, que vai do século 15 até a revolução francesa, em 1789, a população continuou crescendo e chegou a 1 bilhão de habitantes no início do século 19, em 1804. Em todo este período da história da humanidade, a expectativa de vida estimada não chegava aos 40 anos.

Em meados do século 17, houve grande revolução nos diferentes campos da humanidade. Por exemplo, no campo da

ciência, foi fundada em 1657, em Florença, a “Accademia del cimento”, sendo um de seus participantes Galileu, cujos princípios eram “experimentação sobre tudo, evitar especulações, criar instrumentos de laboratório e padronização de medidas”, e que publicou o primeiro manual de laboratório (*Saggi di naturali esperienze fatte nell'Accademia del cimento*).

2.2.1 Primeiro período dos conhecimentos de nutrição mineral de plantas

Desde o surgimento da agricultura até o século 17, foi um longo período na história da humanidade que antecedeu as primeiras pesquisas que visavam a saber de que são formadas as plantas, pois até então era aceita a afirmação de Empédocles (século IV a.C.), de que toda a matéria é formada pelos quatro “elementos raízes”: terra, água, ar e fogo.

O primeiro a empregar a ciência experimental no campo da nutrição de plantas foi J. B. von Helmont (1580-1644), que investigou a fonte de materiais dos quais as plantas são compostas. O experimento foi bem conduzido e conclui que os vegetais “são formados exclusivamente de água”. Alguns anos depois, John Woodward (1665-1728) comprovou que os minerais retirados do solo têm importância para o desenvolvimento das plantas. A partir daí outras pesquisas foram desenvolvidas, como, por exemplo, as realizadas por Nicolas-Théodore de Saussure (1767-1845), que ampliaram os conhecimentos sobre a absorção de elementos do solo pelas raízes e evidenciaram o princípio da essencialidade, afirmando que alguns elementos absorvidos pelas plantas poderiam ser não essenciais, entretanto alguns eram indispensáveis.

No início da era contemporânea, quando a população do mundo conhecido atingiu 1 bilhão de habitantes, Thomas Robert Malthus (1766 – 1834), considerado o pai da demografia, divulgou

a teoria do aumento populacional, instigando a pergunta de quantas pessoas poderiam viver na Terra, ou seja, haveria alimento suficiente para todos? O debate sobre este assunto ainda é atual e cada vez mais vem tornando-se necessário e urgente. Um documentário muito interessante, preparado pela BBC, pode ilustrar o assunto (BBC, 2014).

A pesquisa sobre nutrição de plantas e as inter-relações solo-planta alcançaram seu ponto alto com as pesquisas do francês Jean-Baptiste Boussingault (1802-1887). Diferente de seus predecessores, que davam ênfase à composição elementar dos vegetais, Boussingault enfatizou o balanço entre as quantidades de nutrientes contidos nas plantas cultivadas e calculou as quantidades retiradas por área de cultivo. Os escritos de Philipp Carl Sprengel (1787-1859) marcaram o começo de uma nova época da agronomia, pois a teoria humista foi refutada e estabeleceu a base para a lei do mínimo (PLOEG et al., 1999), que foi depois elaborada e difundida por Justus Von Liebig (1803 – 1873). A lei do mínimo esclarece que o crescimento das plantas é determinado pelo nutriente no solo na mínima quantidade adequada e que os nutrientes das plantas são substâncias minerais. Com base nesses conhecimentos, teve início a era dos fertilizantes.

A Estação Experimental Rothamsted, na Inglaterra, foi fundada em 1843, e os experimentos sobre fertilidade do solo e nutrição de plantas, que foram iniciados com a criação desta instituição, continuam até hoje (ROTHAMSTED RESEARCH, 2014). Os resultados demonstraram de forma convincente que o suprimento de nutrientes dos solos declinou quando estes foram cultivados ano após ano, com consequente diminuição na produtividade. Entretanto, a adição de nutrientes na forma de adubos manteve os níveis de fertilidade do solo e de produtividade das culturas.

Em 1860, Julius von Sachs (1832 - 1897), botânico alemão, demonstrou que as plantas podiam crescer sem a fase sólida do

solo se as raízes estivessem banhadas por uma solução contendo os nutrientes necessários. Neste mesmo ano, W. Knop ampliou os estudos de cultivo de plantas em solução nutritiva. A partir daí, o cultivo de vegetais sem solo tornou-se uma técnica importante nos estudos de nutrição mineral de plantas e na produção de culturas com fins comerciais, principalmente hortaliças, sendo a técnica conhecida como hidroponia. D. R. Hoagland (1884 - 1949) elaborou, em 1936, nova solução nutritiva que ainda é muito usada nos estudos de nutrição mineral de plantas, sendo o principal pioneiro do período moderno desse ramo da ciência. Os critérios de essencialidade foram propostos por Daniel I. Arnon e P. R. Stout, em 1939, e até hoje são aceitos, apesar de algumas modificações sugeridas por Emmanuel Epstein (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

2.2.2 Segundo período dos conhecimentos da nutrição mineral de plantas

Em 1927, decorridos 127 anos a partir do ano em que a Terra tinha 1 bilhão de habitantes, a população mundial duplica e chega à marca de 2 bilhões. Até então, as pesquisas visavam a conhecer os nutrientes de que as plantas necessitavam, e através de adubação, principalmente orgânicas, devolver ao solo os nutrientes que eram exportados com as colheitas, para manter o nível de fertilidade do solo. Até a metade do século 20, era sabido que as plantas se constituem de C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, B, Cu, Mo e Zn. Outros nutrientes e elementos benéficos ao crescimento das plantas foram descobertos até o final do mesmo século: Cl, Ni, Se, Na, Co e Si. Novas ferramentas de avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional foram desenvolvidas, e o solo e as plantas passaram a ser monitorados para que as possíveis limitações ao

fornecimento de nutrientes às plantas fossem corrigidas, e assim as máximas produtividades das culturas pudessem ser atingidas.

A indústria de fertilizantes, com destaque para os adubos nitrogenados, toma grande impulso. O N_2 , que compõe 78% da atmosfera, é o quarto elemento mais abundante nos seres vivos. Postula-se que certos microrganismos específicos começaram a fixar o N_2 há aproximadamente 3 bilhões de anos, mas a genialidade do ser humano fez com que a fixação fosse feita em laboratório, e depois em fábricas e, assim, complementar o fornecimento natural do N que falta ao solo para que as culturas tenham pleno desenvolvimento. A fixação industrial do N_2 acontece pela reação com H, obtendo-se NH_3 . O processo foi desenvolvido por Fritz Haber e Carl Bosh e patentado em 13 de outubro de 1908. O primeiro cientista recebeu o prêmio Nobel de Química, em 1918, e Bosh teve sua participação mais tarde reconhecida, recebendo, ele também, a mesma honraria, em 1932, dividindo-a com Friedrich Bergius. A Academia justificou a láurea dizendo que “o invento é uma maneira extremamente importante para melhorar os padrões da agricultura e o bem-estar da humanidade”. A partir do gás amônia, puderam ser obtidos os diferentes fertilizantes nitrogenados, tornando possível complementar a nutrição dos vegetais e, com estes, nutrir a população humana, que aumentou rapidamente na época. Há 1 século a sociedade humana foi transformada, pois tornou-se altamente dependente do N fixado industrialmente (ERISMAN et al., 2008; GALLOWAY et al., 2008), sendo que sem a fixação de N para nutrir as culturas, seria possível nutrir apenas metade dos quase 7 bilhões de habitantes (SUTTON et al., 2013).

Norman Ernest Borlaug (1914 - 2009), agrônomo americano, recebeu em 1970 o prêmio Nobel da Paz por ter iniciado a “revolução verde”. Com isso, a produção de alimentos foi tremendamente alavancada, possibilitando a explosão populacional, como pode ser visualizado na Figura 1.

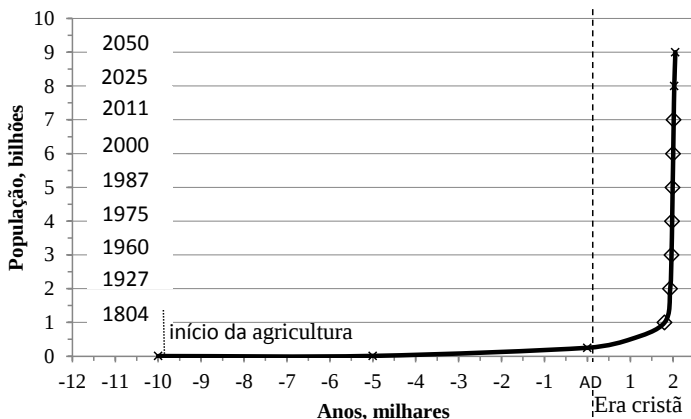


Figura 1. Estimativa da população mundial desde o início da agricultura até meados do século 21 d.C. (1804*: ano em que atingiu 1 bilhão de habitantes e sequencialmente os anos das demais unidades de bilhões de habitantes).

No Brasil, a evolução da ciência agrônômica intensificou-se na segunda metade do século 19. A primeira Escola de Agronomia, que hoje se integra à Universidade Federal da Bahia, no campus de Cruz das Almas, foi fundada em 1875, e a segunda foi criada em Pelotas, no Rio Grande do Sul, no ano de 1883, e atualmente é parte integrante da Universidade Federal de Pelotas. O Instituto Agrônomo de Campinas, instituição mais que centenária, foi fundado no final do século 19, sendo o austríaco F.W. Dafert convidado por D. Pedro II para ser o primeiro diretor.

A Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) foi fundada em 1901, e há um relato histórico muito interessante que indica que esta instituição tem “raízes antigas e profundas, anteriores à consolidação da Universidade de São Paulo, da qual foi unidade fundadora, em 1934” (PERECIN, 2004).

A Sociedade Brasileira de Ciência do Solo foi criada em 1948. Nas instituições brasileiras de ensino agrônômico, até 1964, a nutrição mineral de plantas (NMP) era ensinada como parte da fisiologia vegetal e da química agrícola. Com a criação do curso de pós-graduação de “Solos e Nutrição de Plantas”, na ESALQ-USP, a NMP passou a ser disciplina ensinada separadamente. Por que ensinar a nutrição mineral de plantas? Respondendo, pode-se dizer simplesmente: o homem come planta ou planta transformada, portanto só alimentando a planta se pode alimentar o homem. O adubo é o veículo dos nutrientes da planta (Malavolta, 1992). E poderia ser completado: o adubo é também veículo de nutrientes para o homem, pois, hoje, mais de 30% dos alimentos produzidos não seriam postos à disposição da humanidade sem a ajuda dos fertilizantes. A partir daí, talvez por influência dos alunos saídos desse curso de pós-graduação, esta disciplina passou a ser ministrada em praticamente todas as faculdades de Agronomia existentes no Brasil (NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2014).

A contribuição brasileira quanto aos conhecimentos de NMP foi relatada por Bataglia (2003). Nas diversas faculdades de Agronomia e nos institutos de pesquisa espalhados pelo Brasil, foram realizados muitos estudos sobre temas importantes da nutrição de plantas e há muitos pesquisadores brasileiros anônimos nessa história, demonstrando, assim, que também em ciências agrárias, o conhecimento é cooperativo e cumulativo.

Nas estatísticas mundiais de consumo e produção de alimentos, evidencia-se que, nestes últimos anos, há certo paralelismo de crescimento entre estes dois grupos de dados (Figura 2). O aumento da produção de alimento tem como causa a aplicação das técnicas agrônômicas, pois nos últimos 50 anos conseguiu-se triplicar a produção de alimentos com um aumento de aproximadamente 10% da área cultivada. Como a população quase triplicou neste mesmo período, cada ser humano é alimentado,

hoje, pelos alimentos produzidos em metade da área que era necessária há meio século (DYER, 2014).

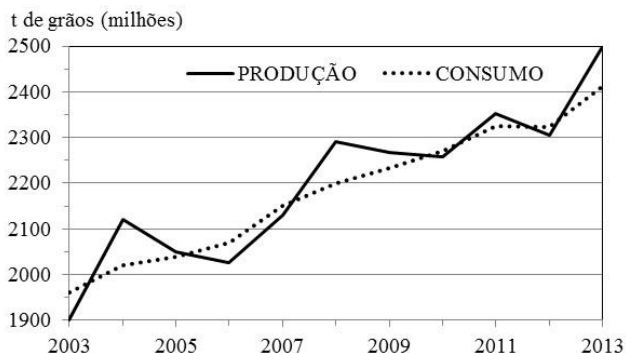


Figura 2. Produção e consumo de cereais (média mundial). Adaptado de FAO (2013).

A contribuição dos fertilizantes com um dos responsáveis pelo aumento de produtividade dos cereais, que cobrem quase a metade das terras agricultadas, e consequentemente pela disponibilidade de alimentos ocorrido contemporaneamente, é ilustrada na Figura 3 (adaptada de KAARSTAD, 1997). Em meados do século 20 d.C., a produtividade média mundial dos cereais era de $1,1 \text{ t ha}^{-1}$, chegou a mais de $3,0 \text{ t ha}^{-1}$ neste início do séc. 21 e deve continuar a crescer, possibilitando o crescimento da população. Essa tendência deve continuar se a humanidade quiser evitar a fome. O “milagre” brasileiro no combate à fome mundial é ilustrado nos documentários da BASF (2014) e FIESP (2013).

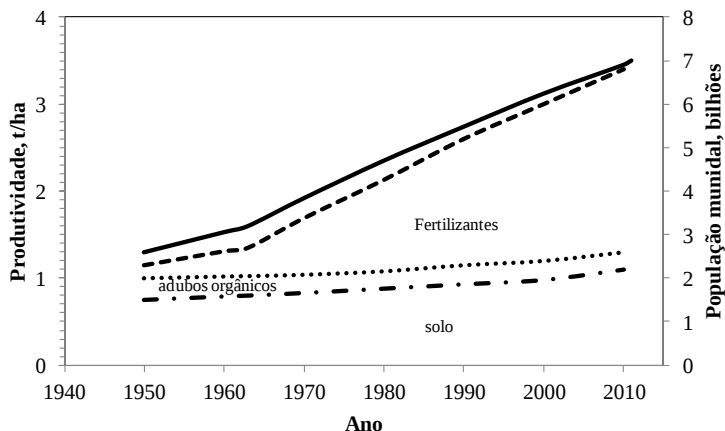


Figura 3. Tendência global de crescimento populacional, de produtividade de cereais e origem dos nutrientes (Os espaços entre as linhas indicam a contribuição de diferentes fontes de nutrientes para atingir a produtividade dos cereais). Adaptado de Kaarstad (1997).

Resumindo então os avanços da NMP até hoje, pode-se dizer que as pesquisas neste campo da ciência foram iniciadas por volta do séc. 16 d.C., e a partir de meados do século 19 até a primeira metade do séc. 20, foi dominada pelas ideias de Liebig. Assim, o foco das pesquisas NMP estava centrado na determinação da necessidade de nutrientes pelas plantas e nas quantidades destes que eram removidos pelas colheitas, para poder devolvê-los ao solo. Era necessário somente fazer um número suficiente de análises para saber o conteúdo de nutrientes nas plantas e retornar ao solo aqueles removidos pelas colheitas por meio de adubos orgânicos e fertilizantes. Os nutrientes visados nesta época eram N, P e K, favorecendo o desenvolvimento da indústria química, possibilitando maior uso de fertilizantes e dos equipamentos para

análises químicas (Faust, 1979). Com os novos equipamentos que facilitavam a análise, surgem novas idéias para monitorar o solo e as plantas, como a análise foliar. Em 1905, foi primeiramente proposta a análise da planta, não apenas para determinar a quantidade de nutrientes removidos do solo, mas também como um método biológico para acessar a fertilidade do solo. Somente em 1926, Lagatu e Maune utilizaram esta técnica, chamando-a de “Diagnostic Foliare”, para avaliar o estado nutricional das plantas. Estes estudos são demorados, pois a pesquisa levou 12 anos para estabelecer a relação entre crescimento do tronco e o teor de K nas folhas de macieira.

Com o progresso da experimentação, a análise foliar foi sendo usada com mais frequência. Os conceitos de “teor crítico” e depois de “faixa crítica” foram então estabelecidos. Na literatura, foram sendo publicadas listas de porcentagens ou de faixas de nutrientes nas folhas, consideradas adequadas para as diferentes culturas, parâmetros que ainda hoje são utilizados. Na década de 30 do séc. 20, os pesquisadores perceberam a dificuldade de se realizar os estudos de NMP em condições de campo e então foram realizados experimentos em condições controladas, como o cultivo em areia irrigada com solução nutritiva. Estes experimentos também possibilitaram a identificação de sintomas de deficiências de nutrientes e as relações com seus teores nas folhas. Assim, novos métodos de aplicação de fertilizantes foram sendo propostos, como a adubação foliar. Mais para o final do séc. 20, com o desenvolvimento e a popularização dos computadores, foram introduzidas novas maneiras de considerar a análise de folhas como ferramenta para diagnosticar o estado nutricional das culturas e das frutíferas, tais como DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System) e CND (Compositional Nutritional Diagnosis), além de outros. Estes novos sistemas de avaliação do estado nutricional ainda necessitam de muitas pesquisas para torná-los de uso fácil e mais frequente.

Em âmbito internacional, os resultados das pesquisas sobre a NMP são divulgadas em revistas, em encontros científicos, como o “International Plant Nutrition Colloquium” (IPNC), sendo que o último foi realizado em 2013, cujo tema foi “Plant nutrition for nutrient and food security”, do qual foi publicado o Proceedings Book (IPNC, 2013) e o “International Symposium on Mineral Nutrition of Fruits”, que se repetem a cada 4 anos. No Brasil, há o Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, cuja última edição aconteceu em 2013 e, mais especificamente, o FertBio (Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas), cuja próxima edição acontecerá em setembro de 2014, além de muitos outros encontros onde se divulgam os conhecimentos de NMP.

O solo é a fonte natural dos nutrientes dos vegetais que é complementado pela fixação simbiótica de nitrogênio e pela ciclagem natural de outros nutrientes vegetais e também pelos adubos orgânicos. Entretanto, em termos mundiais, o suprimento de nutrientes por essas fontes tem crescido apenas marginalmente. Os fertilizantes têm suprido os nutrientes necessários, possibilitando aumentar a produtividade das culturas, sendo que as variedades melhoradas e as modernas técnicas agrônomicas possibilitam maior eficiência de uso destes nutrientes. Para que continue havendo aumento da produtividade dos cereais, há necessidade do concomitante aumento no uso de fertilizantes, considerando que boa parte da área agricultável é mal adubada, em subdoses, com formulação inadequada de nutrientes, sem correção prévia da reação do solo. Assim, a evolução dos conhecimentos de NMP foi, é e sempre será de fundamental importância para o aumento da disponibilidade de alimentos, fibra e energia, possibilitando uma população de mais de 7 bilhões, embora em 2008/2010 uma em cada 8 pessoas do mundo não consumiu alimento suficiente para suprir a exigência mínima requerida de energia (FAO Statistical Yearbook, 2013).

Os problemas decorrentes do uso de fertilizantes não devem ser omitidos. Em termos mundiais, a partir de 1960 até o final do século 20, o consumo aumentou 9 vezes para os fertilizantes nitrogenados e 3 vezes para o P. Os nutrientes contidos nos fertilizantes não são totalmente aproveitados pela cultura na qual são aplicados e podem contaminar o ecossistema. Muitas ameaças devido ao uso inadequado (muito ou pouco) de fertilizantes nitrogenados e fosfatados foram listadas pela “European Nitrogen Assessment” em publicação recente (SUTTON et al., 2013), entre as quais se destacam: a qualidade da água (decorrente da contaminação por nitrato e da eutroficação); a qualidade do ar (devido às emissões de NO_x e NH₃) e a qualidade do solo (devido ao excesso, causando a acidez do solo, no caso dos nitrogenados, ou devido à pouca quantidade de P aplicada, levando à perda da fertilidade). Outro fato preocupante diz respeito ao P, que é obtido em jazidas de fosfato finitas que são encontradas em poucos países, o que coloca riscos potenciais quanto ao suprimento no futuro. Riscos similares ocorrem também para o suprimento de K e Zn; contudo, para o Zn, os recursos atualmente identificados têm vida útil muito mais curta do que para o P e o K (SUTTON et al., 2013).

2.3 Desafios atuais e futuros

O cenário da atual situação da humanidade quanto à participação da NMP no fornecimento de alimento, fibras e energia, e os desafios a enfrentar nesta área da ciência fazem lembrar o último verso do poema “José”, de Drummond, que diz: *“Sozinho no escuro, qual bicho do mato, sem teogonia, sem parede nua para se encostar, sem cavalo preto que fuja a galope, você marcha, José! José, para onde?”*

Os desafios da NMP são muitos e multifacetados (HORST, 2013), entretanto balizado pelas atividades fins das universidades, que são o ensino, a pesquisa e a extensão de serviços para a

comunidade, são mencionados os desafios que mais podem preocupar e serem vencidos por aqueles que militam na área desta ciência.

2.3.1 Desafio relacionado ao ensino de NMP

Após um desenvolvimento expressivo dos conhecimentos relacionados à NMP no final do século 20, constata-se atualmente que tem havido pouco interesse da juventude quanto aos estudos na área de ciências agrárias comparados com outras áreas do conhecimento, como mostram os números dos egressos das universidades por áreas de conhecimento; pois, no período de 1999 a 2008, a área que colocou no mercado da América Latina o menor número de profissionais foram as ciências agrárias (POLITO, 2011; FAPESP, 2012). Como contraponto, há movimentos internacionais, como “Young Professional’s Platform for Agricultural Research for Development (YPARD)”, que tem por objetivo congrega a juventude em torno do importante assunto que é a agricultura (YPARD, 2014). A grande maioria da população que vive no meio urbano perdeu o contato com a produção de alimentos, fibras e energia, e desconhece como estes bens chegam às mesas, aos tanques de combustível ou fazem parte da roupa que vestem. Talvez, devido a esta percepção de que a sociedade está distanciando-se da agricultura, a ONU/FAO declarou 2014 como “International Year Family Farming” (IYFF, 2014). Um grande desafio das ciências agrárias no meio acadêmico é mostrar a importância da agricultura em geral e da NMP, e procurar formas de divulgar os conhecimentos para as outras áreas do saber, em especial aquelas que têm ligações com a agronomia, como a biologia, as ciências dos alimentos, etc. Para tanto, há necessidade de que os professores busquem novas formas de ensinar e transmitir os conhecimentos desta área. A divulgação dos conhecimentos relacionados à produção de alimentos, de fibras e

de combustíveis deveria começar nos primeiros níveis do ensino e seria muito bom que organismos internacionais tivessem como uma das metas de atuação este objetivo.

2.3.2 Desafios relacionados à pesquisa em NMP

A abundância de alimentos é condição *sine qua non* para os humanos viverem e multiplicarem-se; entretanto, é necessário tomar consciência de que “não há refeição grátis” e que há necessidade de que as plantas sejam supridas em suas exigências nutricionais para poder produzir os alimentos necessários à humanidade. O homem come planta ou planta transformada (leite, carne, ovos, etc.); portanto, só alimentando as plantas pode-se alimentar o homem e, além disso, obter as fibras e a energia necessárias para a sociedade contemporânea, que deverá consumir estes bens com parcimônia e sem desperdícios.

A - Produzir mais, com qualidade e sem dilapidar os recursos naturais

A população, que em meados de 2013 era de 7,2 bilhões, continuará a crescer, e estima-se que chegará a 8,1 bilhões em 2025 e, em 2050, em torno de 9 bilhões. A expectativa de vida, em termos médios mundiais, em 2000-2005, que era de 65, chegará a 76 anos em 2045-2050, embora as discrepâncias entre regiões continuarão (WORLD, 2014).

Esta população crescente, concentrando-se em cidades (em 2010, mais da metade da população já estava vivendo nas cidades) e além de necessitar de alimentos, de fibras e de energia, deverá ter um cuidado especial com os dejetos que produz, pois reduz ou polui suas fontes de provisão (MAZOYER; ROUDART, 2010).

Apesar da abundância de alimentos, mais ou menos 1 bilhão da população mundial não recebe o suficiente para suprir suas exigências, isto porque a distribuição de alimentos não está

igualmente dividida pela população (CONWAY, 2012). Diante deste fato, a seguinte pergunta é inevitável: vai ser possível alimentar a humanidade no futuro próximo?

A biomassa necessária para suprir a humanidade é proveniente das terras agricultáveis, das florestas e do mar. O balanço de quanto é produzido e quanto é consumido atualmente não é tarefa fácil, embora haja algumas tentativas. As estimativas apresentadas por Pimm (2005) indicam que quase 50% da biomassa anual produzida era consumida, direta ou indiretamente, pela população humana. Estes números, por mais abrangentes e grosseiros que sejam, indicam que neste início do século 21 d.C. o planeta Terra já está sofrendo enormes e inequívocos impactos.

Para alimentar a população de 9 bilhões em 2050, a FAO estima que a produção global de alimentos deve crescer 60% em relação aos níveis de 2005-2007 (FAO, IFAD, WFP, 2013). Não basta produzir alimentos em quantidade suficiente, mas também devem-se produzir alimentos de qualidade e que promovam a saúde.

A saúde humana foi definida pela OMS, em 1948, como “um estado de completo desenvolvimento físico, mental e bem-estar social, e não meramente a ausência de doença ou enfermidade”. Essa definição ressalta que a saúde humana se estende bem além do domínio da ciência médica, pois inclui muitas outras disciplinas, como as ciências agrárias. Como não há saúde humana sem nutrição adequada, na concessão em 1970 do Prêmio Nobel da Paz para o agrônomo Dr. Norman Borlaug, deve ter sido levado em conta o alto nível de reconhecimento da articulação das ciências agrárias com a definição de saúde humana acima mencionada. Assim, a missão da agricultura, e da NMP em particular, é mais do que produção de bens alimentares, energéticos e fibrosos para suprir as necessidades, mas, sim, promover a saúde humana e aumentar o bem viver da humanidade.

Qualidade dos alimentos: A qualidade dos alimentos deve ser buscada juntamente com a maior produção a ser obtida. A propaganda tem criado certa confusão nos consumidores, pois diz que os alimentos produzidos organicamente são de melhores qualidades. As pesquisas que comparam os produtos de origem orgânica e de origem convencional não são abundantes na literatura. Em revisão de mais de 50 mil artigos publicados nos últimos 50 anos, ficou evidenciado que as diferenças de qualidade entre os alimentos orgânicos e os produzidos convencionalmente são insignificantes (DANGOUR et al., 2009). Porém, há resultados de pesquisas que mostram pequenas diferenças, favoráveis às vezes às frutas orgânicas e outras vezes às frutas produzidas por manejos convencionais (TOSELI, 2010).

A nutrição equilibrada das culturas é um fator importante para que os produtos agrícolas conservem suas qualidades nutritivas durante o armazenamento, e esta qualidade é vista pela concentração de elementos minerais necessários na nutrição humana, incluindo Ca, K, P e N, principalmente. Entretanto, o interesse maior atualmente está direcionado para os alimentos funcionais, também conhecidos como fitoquímicos bioativos, que incluem os flavonoides e outros antioxidantes.

Os fitoquímicos não são classificados como nutrientes, pois não satisfazem a definição clássica de um nutriente, ou seja, uma substância indispensável ao corpo para obter energia ou construir materiais (SIZER; WHITNEY, 2003). Contudo, a literatura tem acumulado evidências de que tais produtos podem realizar outras funções importantes relacionadas à prevenção de doenças degenerativas. Por exemplo, no relato de um médico que lutou contra o próprio câncer, diz que esta doença pode ser um efeito da dieta não adequada e propõe o uso do termo “alimentos” para definir os alimentos que funcionam como remédios nos tratamentos destas doenças (SERVAN-SCHREIBER, 2007). Exemplos destes produtos são os carotenoides (alfa e betacaroteno),

licopeno, etc.), flavonoides (flavona, isoflavona, etc.), além de outros. Os alimentos funcionais têm legislações em vários países e também no Brasil (MORAES; COLLA, 2006).

Boa parte da população mundial tem deficiências de várias vitaminas e de micronutrientes, principalmente Fe, Zn, Se e I. A estratégia de aumentar o teor de vitaminas e de micronutrientes nos alimentos básicos por meio de fertilização tem sido chamada de biofortificação agrônômica, e há resultados de pesquisa evidenciando a efetividade desta prática em relação ao Zn e Se (BRUULSEMA et al., 2012). O desafio da NMP é descobrir meios para aumentar o teor dos nutrientes e das vitaminas nos alimentos básicos. Em termos globais e também no Brasil, lideradas por técnicos da EMBRAPA, há pesquisas que têm por objetivo a fortificação de vários alimentos básicos.

Resíduos: Como consequência do aumento populacional no meio urbano, ocorre a concentração de resíduos nas cidades. As estatísticas, em termos globais, são gritantes: 3,5 bilhões de pessoas, ou seja, quase a metade da população mundial, não têm os serviços de gestão dos resíduos, que em 2012 era de 1,3 bilhão de toneladas anuais de resíduos urbanos sólidos e atingirá 2,2 bilhões em 2025 (UNEP, 2014). Como os resíduos são potencialmente poluidores, a gestão adequada destes além de importantíssima, é o mais urgente desafio da comunidade global.

Entre as múltiplas possibilidades de disposição dos resíduos urbanos, a aplicação na agricultura, com a reciclagem dos nutrientes que foram levados da terra, é uma das mais importantes. Os resíduos urbanos, depois de devidamente tratados, podem ser utilizados na agricultura como adubos, que fornecem P e N principalmente (Abreu Júnior et al., 2005), além de vários outros nutrientes, e as pesquisas têm demonstrado a eficácia desta prática (FRANCO et al., 2010). O desafio da NMP é incentivar e exigir dos poderes públicos para que seja dado um destino apropriado aos resíduos urbanos. Entretanto, pode haver certos problemas de

contaminação do ambiente por metais pesados, compostos orgânicos tóxicos e/ou patógenos, quando não se faz a disposição dos resíduos, respeitando a legislação específica e as normas técnicas cabíveis.

Uma visão moderna que a NMP pode adotar, face à Política Nacional de Resíduos Sólidos de 2010 (BRASIL, 2010), é a de resíduos urbanos como subproduto e fonte de nutriente de plantas, quando a legislação permitir (BRASIL, 2006b). Assim, a compostagem de resíduos orgânicos propicia a reciclagem dos nutrientes e agrega valor aos resíduos na forma de fertilizante orgânico, quando atendidos os critérios do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (BRASIL, 2006a, 2009). A aplicação de composto orgânico em áreas cultivadas promove melhorias na fertilidade do solo (DIACONO; MONTEMURRO, 2010) e na nutrição e produtividade das culturas, substituindo o adubo mineral, parcial ou totalmente, com menor custo de produção, em função da cultura e do tipo, da disponibilidade e da dose do fertilizante orgânico (ABREU JÚNIOR et al., 2005; SILVA et al., 2009).

B - Novas áreas de pesquisa

Como ciência, a nutrição mineral de plantas tem dois segmentos importantes. O primeiro está diretamente direcionado para aplicação dos conhecimentos na produção agrícola, explicando o uso e a ação dos fertilizantes e a ciclagem dos nutrientes pelas culturas. O outro segmento tem embasamento na fisiologia vegetal e estuda os processos fundamentais subjacentes que regulam a absorção dos elementos químicos, descrevendo as interações planta-microorganismos do solo, o papel da arquitetura de raízes e exsudados radiculares com impacto na eficiência de absorção e de uso dos nutrientes, bem como o funcionamento dos transportadores da transmembrana e a função dos nutrientes nas plantas (WIRÉN, 2011). A maior descrição das relações entre

nutrientes e processos biológicos permitirá maior compreensão das bases moleculares para sinalização e respostas fisiológicas impostas pelo ambiente e pelo estresse nutricional (FAN et al., 2012; OHKAMA-OHTSU; WASAKI, 2010; SAINT-CLAIR; LYNCH, 2010).

Os profissionais que atuam nestes dois segmentos estão um tanto quanto afastados uns dos outros, apesar dos conhecimentos gerados serem interdependentes, e devem apoiar-se mutuamente para que a agricultura atinja seu objetivo de produzir mais eficientemente alimentos, fibras e energia. A “revolução verde”, que se iniciou em meados do século 20, mostrou que a junção de conhecimentos de áreas da ciência distintas possibilitou o avanço na produção dos bens agrícolas. O mundo necessita hoje de uma “revolução duplamente verde, ainda mais verde em termos de conservação dos recursos naturais e do meio ambiente, e mais eficaz na redução da fome e da pobreza” (CONWAY, 2012).

Novos campos de pesquisa na área de NMP têm surgido e evoluído muito. Um desses campos relaciona o genoma e a nutrição mineral. Os quatro pilares bioquímicos básicos da genômica funcional são hoje chamados de “transcriptoma, proteoma, metaboloma e ionoma”. Esses pilares representam a soma de todos os genes expressos, as proteínas, os metabólitos e os elementos químicos dentro de um organismo (AHSAN et al., 2009; BROADLEY; WHITE, 2005; SALT, 2004).

O desafio daqueles que estudam a NMP que objetiva a produção de alimentos, fibras e energia é conhecer e apoiar-se nos conhecimentos destas novas áreas, fazendo então uma ponte entre o conhecimento teórico e o conhecimento prático.

C - Novas tecnologias

A agricultura moderna é altamente dependente de energia (em suas mais diferentes formas, como fertilizantes, combustíveis, maquinária, etc), que sendo cada vez mais onerosa, tem grande

impacto nos custos de produção agrícola, exigindo a busca de novas tecnologias de manejo das culturas, objetivando aumentar a eficiência de uso dos insumos em geral, e, conseqüentemente, diminuir os custos. Estima-se que a produção de fertilizantes nitrogenados consuma cerca de aproximadamente 2% do uso da energia global (IFA, 2000), o que é bastante alarmante.

Agricultura de precisão: O objetivo fundamental da agricultura de precisão é suprir adequadamente as culturas com nutrientes, apesar de que o foco desta técnica tem sido o desenvolvimento de maquinária que sirva para tal fim. O desafio da pesquisa de NMP é buscar fontes de nutrientes mais adequadas, desenvolver maneiras eficientes de fornecer os diferentes nutrientes, pois estes têm destinos diferentes quando aplicados no solo, como, por exemplo, o N é o nutriente que pode ser lixiviado, imobilizado e também sofrer volatilização. Com a aplicação mais bem distribuída, tratando cada área de cultivo em particular, como é a proposta da agricultura de precisão, haverá como consequência menor variabilidade de produtividade dentro da área de cultivo.

Fertirrigação: Este é um método que melhor atende à demanda de nutrientes pelas culturas, reduzindo as perdas por lixiviação ou fixação, maior flexibilidade quanto à época de aplicação dos nutrientes, evitando doses excessivas de nutrientes e uso desnecessário de água. Outro desafio para a pesquisa de NMP é conhecer melhor a inter-relação entre a microbiologia do solo e a aquisição dos nutrientes pelas culturas neste novo ambiente, sendo este cenário vislumbrado pelo avanço de outras “ômicas”, como a metagenômica e a metatranscriptômica (OHKAMA-OHTSU; WASAKI, 2010).

Novos equipamentos: As empresas de aparelhos eletrônicos têm desenvolvido sensores com capacidade de gravar, calcular e transmitir dados eletronicamente, como, por exemplo, sensores para o controle da irrigação das culturas. Assim, busca-se desenvolver sensores capazes de relacionar a variação do diâmetro

do tronco ou o encolhimento de frutas e o fluxo da seiva para a fruteira e, então, "softwares" e ferramentas computacionais permitirão o controle de irrigação, auxiliando no adequado fornecimento dos nutrientes individualmente para cada fruteira, de modo automatizado e por meio de microaspersores ou gotejadores que sejam também reguláveis.

Cultivo protegido: A tendência mundial é produzir cada vez mais hortaliças e algumas frutas em ambiente protegido. Um exemplo bem-sucedido de produção de várias hortaliças pode ser apreciado no site da empresa Thanet Earth (2014). O desafio da pesquisa de NMP é estudar o comportamento quanto à nutrição das culturas nestes novos ambientes.

D - Mudanças climáticas

Está ocorrendo globalmente a elevação do nível de gases de efeito estufa, e entre eles o gás carbônico, com aumento das temperaturas e mudanças nos padrões de chuva, etc. Os possíveis efeitos das mudanças climáticas sobre a nutrição das culturas em geral ainda são pouco conhecidos (NEILSEN et al., 2010) e, portanto, devem ser implementadas pesquisas com estes objetivos. Neste sentido, a revisão elaborada por Hender (2007), intitulada "Suitability of Martian environmental conditions for crop growth on Mars", embora pareça muito futurista e mirabolante, quanto às mudanças climáticas globais, aborda aspectos produtivos e fisiológicos das culturas agrícolas desenvolvidas em ambiente enriquecido com CO₂.

E - Agricultura urbana

O *Homo sapiens*, que "acabou de sair das cavernas e hoje vive em selvas de pedras", tem ainda um longo caminho a percorrer, pois, em consequência do aumento populacional urbano, estão surgindo novas ideias para produção de alimentos nos espaços dentro das cidades. Uma obra bastante interessante, apesar

de ser um tanto quanto futurista, pode ilustrar essa possibilidade (DESPOMMEIER, 2010). Para a pesquisa, não deve haver desafio insuperável, e projetos futuristas como da agricultura vertical urbana certamente vão requerer da agronomia, da engenharia e da arquitetura conhecimentos de ponta. Atualmente, a hidroponia e a aeroponia são técnicas de cultivo muito utilizadas, e ampliações destas técnicas serão necessárias para os cultivos dentro de edifícios de vários andares. Novos tempos com as novas ideias exigem pesquisas, e estas poderão ser os grandes novos desafios para os estudiosos da NMP. Quem viver, poderá constatar se de fato tais projetos futuristas de agricultura urbana se concretizarão.

F - Reflorestamento, restauração florestal e recuperação de ambientes degradados

O plantio de espécies florestais com vários propósitos ganha relevância e começa com a produção de mudas em viveiros especializados até o efetivo estabelecimento das florestas. Os conhecimentos de NMP das culturas alimentícias, energéticas e de fibras têm sido acumulados ao longo de mais de um século, entretanto as pesquisas de nutrição de árvores nativas ainda são escassas. Os trabalhos pioneiros no Brasil da descrição dos sintomas de deficiências nutricionais e os teores foliares de nutrientes a eles relacionados são escassos na literatura, apesar de haver algumas iniciativas, com destaque para os trabalhos de Andrade (2010) e Sorreano (2006). Nestes dois trabalhos acadêmicos, foram usadas soluções nutritivas para a obtenção dos sintomas de deficiências com metade das concentrações de nutrientes empregada nos trabalhos similares com culturas agrícolas, indicando que as espécies florestais nativas usadas são menos tolerantes que aquelas às concentrações de nutrientes na solução onde se desenvolvem. Como um grande número de espécies é utilizado com propósito de recuperação ambiental, o

desafio é conhecer a nutrição das mesmas e suas exigências nutricionais, desde o viveiro até a implantação efetiva da floresta.

2.3.3 Desafios da NMP quanto à extensão de serviços à comunidade

Como explicitado anteriormente, o grande desafio da humanidade, de hoje e do futuro, é e será produzir alimentos, fibras e energia, e os conhecimentos de NMP são e serão de fundamental importância para que o desafio seja vencido, mas de nada adiantará ter estes bens preciosos disponíveis em abundância se a humanidade não souber escolher seu futuro.

Para que a vida no planeta continue sendo viável, há necessidade de que os humanos apliquem no seu viver uma NOVA (ANTIGA!) ética neste milênio que há pouco começou, para que, de fato, o “*Homo sapiens*” viva junto com os outros, felizes, em paz e todos tenham alegria de viver, tendo alimentos em quantidade e qualidade suficientes.

O primeiro princípio norteador dessa nova ética é tomar consciência de “que estamos todos ligados e **somos membros da mesma família humana** (grifo nosso), produtos da genética e do acaso, nascidos sem cessar para um futuro desconhecido”, como demonstraram os conhecimentos de genética (OLSON, 2003). Esta família humana tem de reconhecer que carrega a sorte do mundo e que, na sua frente, pode existir um porvir sem limites, mas ainda lhe falta um novo domínio de expansão psíquica, que aos poucos está desenvolvendo-se diante de nós (CHARDIN, 1955). Finalmente, outro princípio para a nova humanidade é desenvolver a consciência de que “todas as pessoas nascem livres e iguais em dignidade e direitos, e são dotadas de razão e consciência, e devem agir em relação umas às outras com espírito de fraternidade”, como promulgado em 10 de dezembro de 1948, no Artigo 1 documento da Assembleia Geral das Nações Unidas sobre os Direitos Humanos.

O desafio para aqueles que militam na área da NMP, além de divulgar através do ensino e buscar pela pesquisa novos conhecimentos, é possibilitar que estes três princípios sejam vivenciados para que a humanidade tenha um futuro de paz. Todos são habitantes da mesma “nave espacial”, do “pálido ponto azul” em meio ao imenso universo. Em cada ser humano deve crescer a consciência de que a Terra, apesar de ser um “pálido ponto azul” entre outros tantos planetas, estrelas e galáxias, é, “no entanto, a nossa casa comum, onde cada um é responsável pela nossa Mãe Terra” (SAGAN, 2014), pois forma com todos os outros seres, um único SER.

Assim, o maior desafio atual e do futuro de todos os seres viventes e, em particular, de todos os estudiosos da NMP, é a construção de um mundo para a humanidade, implantando uma nova ética para que o *Homo sapiens* não se torne o *Homo demens*, levando a humanidade a um fim. Nesta nova humanidade, a comensalidade (**o comer junto e solidário**) representará a suprema realização humana.

É um sonho? Todos estão convidados a transformar este sonho em realidade, começando a viver, assim, solidariamente.

2.4 Referências

- ABREU JUNIOR, C.H.; BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J.C. **Uso agrícola de resíduos orgânicos: propriedades químicas do solo e produção vegetal**. Tópicos em Ciência do Solo, v.4, p.391-479, 2005.
- ANDRADE, M.L.F. **Deficiência nutricional em três espécies florestais nativas brasileiras**. Dissertação (Mestrado em Ciências: Biologia na Agricultura e no Ambiente). Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2010, 156 p. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64133/tde-26092013-154147/pt-br.php> Acesso em 13 de Janeiro de 2014
- AHSAN, N.; RENAUT, J.; KOMATSU, S. Recent developments in the application of proteomics to analysis of plant responses to heavy metals. **Proteomics**, v.9, p.2602–2621, 2009.
- BASF. Um planeta faminto e a agricultura brasileira 2. 2014. Disponível em>: <http://www.youtube.com/watch?v=Is08NEtLvQ> Acesso em 17 de Janeiro de 2014.

- BATAGLIA, O.C. **Nutrição mineral de plantas: a contribuição brasileira.** O Agrônomo, Campinas, v.55, n.1, p.40-43, 2003.
- BBC (2014) **Quantas pessoas podem viver no planeta terra?** Documentário disponível em 6 partes <http://www.youtube.com/watch?v=ipTRmCkDPP4&list=PL65CF2CEF3F4FDB91&index=1> Acesso em 16 de Dezembro de 2013.
- BOARETTO, A.E. Histórico e desafios da nutrição de plantas. In: PRADO, R.M. *et al.* **Nutrição de plantas:** diagnose em grandes culturas. Jaboticabal: FCAV, CAPES/Fundunesp, 19-34p.2008a
- BOARETTO, A.E. Histórico da nutrição de plantas na fruticultura. In: NATALE, W. *et al.* **Cultura da goiabeira:** do plantio à comercialização. Jaboticabal: FCAV, CAPES, CNPq, FAPESP, FUNDUNESP, SBF, 284 p: Il, Vol I.2008b.
- BOARETTO, A.E. A evolução da população mundial, da oferta de alimentos e das ciências agrárias. **Revista Ceres**, v.56, p.513-526, 2009.
- BOARETTO, A.E. ; LAVRES JR, J. Avanços e desafios da nutrição mineral de fruteiras. In: PRADO, R. M. (Ed.). **Nutrição de plantas:** diagnose foliar em frutíferas. Jaboticabal: FCAV, CAPES, FAPESP, CNPq, 35-74p. 2012.
- BOARETTO, A.E.; MORAES, M.F. Contribuição da nutrição adequada para qualidade dos alimentos. In: PRADO, R. M. *et al.* (Eds.). **Nutrição de plantas:** diagnose foliar em hortaliças. Jaboticabal: FCAV, CAPES, FAPESP, CNPq, 9-44p. 2010.
- BRASIL. Instrução Normativa SDA/MAPA nº 27, de 5 de junho de 2006. **Diário Oficial da União**, Brasília, 9 de Junho de 2006.2006a
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006. **Diário Oficial da União**, Brasília, 30 de Agosto de 2006.2006b
- BRASIL. Instrução Normativa SDA/MAPA Nº nº 25, de 23 de julho de 2009. **Diário Oficial da União**, Brasília, 28 de julho de 2009. 2009.
- BRASIL. Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Diário Oficial da União**, Brasília, 3 de agosto de 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm
- BROADLEY, M.R.; WHITE, P.J. **Plant Nutritional Genomics.** Oxford, Blackwell Publishing Ltd, 321p., 2005.
- BRUULSEMA, T.W; HEFFER, P.; WELCH, R. M.; CAKMAK, I.; MORAN, K. **Fertilizing Crops to Improve Human Health: a Scientific Review.** Volume 2: Functional Foods. IPNI, Norcross, GA, USA; IFA, Paris, France, 214p., 2012. Disponível em http://www.fertilizer.org/ifacontent/download/90302/1324791/version/1/file/2012_ipni_ifa_fchh_final.pdf ou <http://www.fertilizer.org/ifa/HomePage/LIBRARY/Publication-database.html/Fertilizing-Crops-to-Improve-Human-Health-A-Scientific-Review.html> Acesso em 30 de Dezembro de 2013.
- CHARDIN, P.T. **O fenômeno humano.** São Paulo, Editora Cultrix. 392p.1955.
- CONWAY, G. **One Billion Hungry: Can we feed the world.** Cornell University Press, Ithaca, 439p.2012.
- DANGOUR, A.D.; DODHIA, S.K.; HAYTER, A.; ALLEN, E.; LOCK, K.; UAUY, R. Nutritional quality of organic foods: a systematic review. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.90, p.680-685, 2009.

- DESPOMMIER, D. (2010) **The vertical farm: feeding the world in the 21st century**. New York, Thomas Dunne Books, 305p.
- DIACONO, M.; MONTEMURRO, F. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v.30, p. 401-422, 2010.
- DYER, G. (2014) How long can the world feed itself. Disponível em: <http://gwynnedyer.com/2006/feeding-the-world/> Acesso em 16 de Janeiro de 2014.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípio e perspectivas**. Londrina, Editora Planta. 403p. 2006.
- ERISMAN, J. W.; SUTTON, M. A.; GALLOWAY, J.; KLIMONT, Z.; WINIWARTER, W. How a century of ammonia synthesis changed the world. **Nature Geoscience**, v.1, p.636-639, 2008.
- FAO. FAO Cereal Supply and Demand Brief. 2013. Disponível em: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/> Acesso em 16 de Novembro de 2013.
- FAO Statistical Yearbook. World food and agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2013, 289p. Disponível em <http://issuu.com/faooftheun/docs/syb2013issuu#> Acesso em 16 de Janeiro de 2014.
- FAO, IFAD, WFP. The state of food insecurity in the world: The multiple dimensions of food security. Rome, FAO. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/018/i3434e/i3434e.pdf> Acesso em 14 de Janeiro de 2014.
- FAN, M.; SHEN, J.; YUAN, L.; JIANG, R.; CHEN, X.; DAVIES, W.J.; ZHANG, F. Improving crop productivity and resource use efficiency to ensure food security and environmental quality in China. **Journal of Experimental Botany**, v.63, p.13–24, 2012.
- FAPESP. O que você não quer ser quando crescer? Pesquisa FAPESP, São Paulo, 192: 82-84, 2012.
- FAUST, M. Evolution of fruit nutrition during the 20th century. **Hortscience**, v.14, p.321-325, 1979.
- FIESP. Outlook FIESP, Projeções para o Agronegócio brasileiro. 2013. Disponível em: <http://hotsite.fiesp.com.br/outlookbrasil/2023/default.asp> Acesso em 16 de Dezembro de 2013.
- FRANCO, A.; ABREU JUNIOR, C.H.; PERECIN, D.; OLIVEIRA, F.C.; GRANJA, A.C.R.; BRAGA, V.S. Sewage sludge as nitrogen and phosphorus source for cane-plant and first ratoon crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.553-561, 2010.
- HENDER, M.R. Suitability of Martian environmental conditions for crop growth on Mars. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.193, p.366-372, 2007.
- HORST, W.J. The multifaceted challenges of plant nutrition In: XVII International Plant Nutrition Colloquium and Boron Satellite Meeting Proceedings Book, p. 3 - 4, Sabanci University, Istanbul. Disponível em <http://www.plantnutrition.org/en/default.asp> Acesso em 28 de Dezembro de 2013.
- GALLOWAY, J.N.; TOWNSEND, A. R.; ERISMAN, J. W.; Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions and potential solutions. **Science**, v.320, p.889–892, 2008.
- IFA. **International Fertilizer Industry Association. Fertilizer Use and the Environment**. Isherwood, K.F. (Ed). Paris, IFA & UNEP, 51p. 2000.
- IPNC. XVII International Plant Nutrition Colloquium and Boron Satellite Meeting Proceedings Book (2013). Sabanci University, Istanbul. Disponível em

- <http://www.plantnutrition.org/en/2013ipnc--b--proceedings.html> Acesso em 18 de Dezembro de 2013.
- IYFF. Ano Internacional da Agricultura Familiar. <http://www.fao.org/family-farming-2014/press-room/in-the-media/en/> Acesso em 16 de Janeiro de 2014.
- KAARSTAD, O. **Fertilizer's significance for cereal production and cereal yields from 1950 to 1995.** In: Laegreid, M.; Bockman, O. C.; Kaarstad, O. (Eds.) *Agriculture, fertilizers and the environment*. New York, CABI Publishing/Norsk Hydro/ASA. 204p., 1997.
- MALAVOLTA, E. Nutrição de plantas, fertilidade do solo e adubos e adubação no Brasil – passado, presente e futuro. In: XX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, Piracicaba, **Anais**, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 1-40.1992.
- MAZOYER, M.; ROUDART, L. **A historia das agriculturas do mundo: do neolítico à crise contemporânea.** Tradução de C. F. F. B. Ferreira. São Paulo, Editora UNESP; Brasília, DF: NEAD, 2010, 568p. Disponível em: http://www.iica.int/Esp/regiones/sur/brasil/Lists/Publicacoes/Attachments/48/Historia_da_s_agriculturas.pdf Acesso em: 29 de Dezembro de 2013.
- MORAES, F.P.; COLLA, L.M. **Alimentos funcionais e nutracêuticos:** Definições, legislação e benefícios à saúde. *Revista Eletrônica de Farmácia*, 3:109-122.2008. Disponível em <http://revistas.ufg.br/index.php/REF/article/viewFile/2082/2024> Acesso em 30 de Dezembro de 2013.
- NEILSEN, G.H.; NEILSEN, D.; PEREYEA, F.J.; FALLAHI, E. Tomorrow's challenges in fruit nutrition research: *Quo vadis?* *Faro, Acta Horticulturae*, v.868, p.27-39, 2010.
- NUTRIÇÃO DE PLANTAS. Nutrição de plantas: a chave para alta produção com qualidade. Disponível em <http://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/index.php> Acesso em: 16 de Janeiro de 2014.
- OLSON, S. **A história da humanidade.** Rio de Janeiro, Editora Campus. 312 p., 2003.
- OHKAMA-OHTSU, N.; WASAKI, J. Recent progress in plant nutrition research: cross-talk between nutrients, plant physiology and soil microorganisms. **Plant and Cell Physiology**, v.51, p.1255-1264, 2010.
- PERECIN, M.T.G. **Os passos do saber: A Escola Agrícola Prática Luiz de Queiroz.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 390 p.2004.
- PIMM, S. **Terras da terra: o que sabemos sobre o nosso planeta.** Londrina, Editora Planta. 310p.2005.
- PLOEG, R. R.; BÖHM, W.; KIRKHAM, M. B. On the origin of the theory of mineral nutrition of plants and the law of the minimum. **Soil Science Society American Journal**, v.63, p.1055-1062, 1999.
- POLITO, C. **Los estudiantes y la ciencia** - Encuesta a jóvenes iberoamericanos.1a ed. - Buenos Aires: Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2011. 286 p. Disponível em <http://www.oei.es/cienciayuniversidad/spip.php?article2627> Acesso em 23 de Dezembro de 2013.
- ROTHAMSTED RESEARCH. Rothamsted Research's Classical Experiments. 2014. Disponível em: <http://www.rothamsted.ac.uk/sample-archive/guide-classical-and-other-long-term-experiments-datasets-and-sample-archive> Acesso em 15 de Janeiro de 2014.
- SAGAN, C. Pálido planeta azul. 2014. Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=Sauvo7EivSM>. Acesso em: 10 de Janeiro de 2014.

- SALT, D. E. Update on plant ionomics. **Plant Physiology**, v.136, p.2451–2456, 2004.
- SAINT-CLAIR, S.B.; LYNCH, J.P. The opening of Pandora's Box: climate change impacts on soil fertility and crop nutrition in developing countries. **Plant and Soil**, v.335, p.101-115, 2010.
- SERVAN-SCHREIBER, D. **Anticâncer: Prevenir e vencer usando nossas defesas naturais**. Tradução Rejane Janowitz. Rio de Janeiro, Editora Objetiva Ltda, 284p.2007.
- SILVA, F.C.; RODRIGUES, M.S.; BARREIRA, L.P.; PIRES, A.M.M. **Gestão Pública de Resíduo Sólido Urbano: Compostagem e Interface Agrícola**. Botucatu: FEPAF – Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais. 204 p.2009.
- SORREANO, M.C.M. **Avaliação da exigência nutricional na fase inicial do crescimento de espécies florestais nativas**. Tese (Doutorado em Ecologia de Agroecossistemas) - Ecologia de Agroecossistemas, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006. Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/91/91131/tde-05022007-152214/> Acesso em 13 de Janeiro de 2014.
- SUTTON M.A. et al. Our Nutrient World: The challenge to produce more food and energy with less pollution. **Global Overview of Nutrient Management**. Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh on behalf of the Global Partnership on Nutrient Management and the International Nitrogen Initiative. 116p., 2013. Disponível em <http://www.scopenvironment.org/Latest%20News/ONW.pdf> Acesso em 13 de Janeiro de 2014.
- SIZER, F.S.; WHITNEY, E.M. **Nutrição, conceitos e controvérsias**. 8 ed. (trad. Nelson Gomes de Oliveira et al.) Barueri, Manole. 567p.2003.
- THANET EARTH. 2014. Disponível em <http://www.thanetearth.com/about-us.html> Acesso em 9 de Janeiro de 2014.
- TOSELI, M. Nutritional implications of organic management in fruit tree production. In: PESTANA, M.; CORREIA, P.J. **Acta Horticulturae**, v.868, p.41-48, 2013.
- UNEP. Guidelines for waste management strategies: moving from challenges to opportunities. 110p. 2014. Disponível em: <http://www.unep.org/ietc/Portals/136/Publications/Waste%20Management/UNEP%20NWS%20English.pdf> Acesso em 13 de Janeiro de 2014.
- WORLD. World life expectancy – life longer life better. 2014. Disponível em: <http://www.worldlifeexpectancy.com/> Acesso em 13 de Janeiro de 2014.
- WIREN, N. Grand challenges in plant nutrition. **Frontiers in Plant Science**, v.2, p.1-3, 2011. doi: 10.3389/fpls.2011.00004 Disponível em <http://www.frontiersin.org/Journal/10.3389/fpls.2011.00004/full> Acesso em 13 de Janeiro de 2014.
- YPARD. Young Professional's Platform for Agricultural Research for Development. 2014. Disponível em <http://ypard.net/> Acesso em 13 de Janeiro de 2014.