



Escola Superior Agrária

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA

**Análise de Plantas
Potencialidades e limitações**

Manuel Ângelo Rosa Rodrigues

Departamento de Fitotecnia e Engenharia Rural

Escola Superior Agrária de Bragança

Série Seminários

Nº 5 / 1997

Resumo

A análise de plantas é uma técnica que pode ser utilizada no diagnóstico do estado nutritivo das culturas. Quando o diagnosticador é um técnico devidamente experimentado pode dar um contributo importante para o estabelecimento de programas de fertilização, apesar das dificuldades de interpretação dos resultados inerentes à natureza dinâmica dos tecidos vegetais e dos inúmeros factores que afectam a sua composição química.

Neste trabalho descreve-se, de uma forma muito sumária, o efeito de alguns dos principais factores na composição mineral das plantas e apresentam-se as técnicas de interpretação dos resultados mais generalizadas. Alerta-se também para as potencialidades particulares da utilização de testes rápidos aos tecidos vegetais no controlo da eficiência da fertilização azotada e, inclusivamente, para fazer recomendações de fertilização para as aplicações de cobertura.

Abstract

Plant analysis is a useful tool for assessing the nutrient status of crops. However, the task of the diagnostician is a complex exercise because the dynamic nature of plant tissue composition, which is affected by ageing processes, nutrient interactions and several environmental and agronomic factors which place severe limitations on the use of plant analysis for diagnostic purposes.

In this work we describe briefly the effects of the reported factors on the mineral nutrient content of plants and the most general diagnostic systems for interpreting the results.

Finally, we emphasize the particular potentialities of the rapid nitrate tests to monitor and appraise the nitrogen use efficiency as well as a tool for making fertilizer recommendations in sidedressing.

1 - Terminologia associada ao tipo de análises

A terminologia associada à análise de plantas deve ser devidamente definida de forma a que a dado conceito fique clara a metodologia que lhe está subjacente. Neste trabalho vão ser usados os seguintes termos: (i) *análise de tecidos vegetais*, para as determinações multi-elementos em que se utilizam técnicas laboratoriais precisas; (ii) *testes rápidos de tecidos*, para os métodos expeditos de análise, que incidem normalmente sobre apenas um elemento nutriente ou mesmo sobre uma sua fracção; e (iii) *análise de plantas*, que será entendida em sentido lato, englobando as duas primeiras designações.

O conceito *análise foliar*, apesar de ser de uso generalizado, não é aqui utilizado pelas imprecisões que acarreta, já que cada vez mais tecidos, que não as folhas, se usam para avaliar o estado nutritivo das plantas.

2 - Objectivos gerais da análise de plantas

As metodologias associadas à análise de plantas começaram a ser desenvolvidas ainda no século XIX. Os primeiros investigadores procuravam uma alternativa à análise de terras como técnica de diagnóstico à fertilidade dos solos e que fornecesse também informação sobre o estado nutritivo das plantas.

Inicialmente começou por haver alguma controvérsia sobre a importância relativa de cada metodologia, mas rapidamente os investigadores reconheceram que análise de terras e análise de plantas não deviam ser entendidas como alternativas, mas sim como complementares. Em cada situação concreta cada uma fornece informação que a outra não concede e vice-versa. Normalmente, considera-se que a análise de terras indica a disponibilidade potencial de um elemento para as plantas, enquanto a análise de plantas reflecte o seu estado nutritivo actual, que resulta do efeito integrado de todos os factores que afectam a disponibilidade de nutrientes e o desenvolvimento das plantas em dado condicionalismo ambiental.

A análise de plantas tem sido usada com um ou vários dos seguintes objectivos: (i) avaliar a adequação dos programas de fertilização; (ii) confirmar sintomas visíveis de deficiência e/ou toxicidade; (iii) detectar carências dissimuladas, permitindo efectuar correcções atempadas antes da ocorrência de perdas importantes na produção; (iv) contribuir para o esclarecimento da complexidade da nutrição das plantas, destacando-se o efeito da aplicação de fertilizantes; e (v) como base da recomendação da fertilização

A utilização da análise de plantas como base da recomendação da fertilização tem tido algum sucesso em culturas perenes como pomares e vinhas. Em culturas anuais a sua utilização com este objectivo é menos atractiva. As flutuações que ocorrem nos níveis de nutrientes com o tempo, associadas a taxas de crescimento elevadas e, sobretudo, a ciclos culturais de curta duração são limitações importantes.

Em culturas anuais a reduzida duração da estação de crescimento não permite que se diagnostique e intervenha corrigindo com eficiência, sendo os resultados desta técnica considerados apenas úteis para o ano seguinte. Contudo, para o azoto, como não existem técnicas de análise de terras calibradas e universalmente aceites e como pode ser aplicado com eficiência em cobertura, a utilização da análise de plantas como base de recomendação de fertilização é cada vez mais uma técnica corrente. Utilizam-se sobretudo testes rápidos de tecidos que podem fornecer informação *na hora* sobre o estado nutritivo das plantas e permitem tomar a decisão da necessidade de se aplicar azoto em cobertura.

3 - Factores que afectam a composição mineral das plantas

Uma das grandes limitações da análise de plantas, que tem dificultado a sua generalização como técnica de diagnóstico, diz respeito ao facto da variação na composição

das plantas depender de muitos outros factores que não o nível de nutrientes no meio em que se desenvolvem.

Até meados do séc. XX uma grande parte dos investigadores destas matérias sentiam-se impotentes e desmotivados para lidar com a variabilidade do teor de nutrientes nos tecidos das plantas, tal era a quantidade de factores de variação identificados. Contudo, a persistência de alguns, que sempre encontravam utilidade nos resultados obtidos, foi permitindo que a investigação progredisse. A subsequente escolha dos melhores tecidos da planta para amostrar, das melhores datas de amostragem e, pelo geral, do aumento do conhecimento de como esses factores influenciavam a composição mineral das plantas foi permitindo fazer progressos na interpretação dos resultados e validando esta importante técnica de diagnóstico.

Para se perceber um pouco a magnitude da questão são revistos, de forma muito sumária, alguns dos factores que mais influenciam a composição mineral das plantas.

3.1 - Estado fenológico das plantas e idade dos tecidos

A composição química de um tecido vegetal é um processo dinâmico que está sujeito a mudanças durante o processo de crescimento. A seguir ao efeito da aplicação de nutrientes, a idade fisiológica da planta é o factor que mais afecta a sua composição química e, consequentemente, mais interfere com a interpretação dos resultados da análise de plantas.

Os dados publicados demonstram que, para as culturas anuais, a concentração de uma parte importante dos elementos nutrientes decresce e a de outros permanece mais ou menos constante, podendo mesmo aumentar com a idade. Relativamente aos macronutrientes azoto, fósforo e potássio, as plantas jovens revelam frequentemente níveis mais elevados nos seus tecidos que as plantas mais velhas. Cálcio e magnésio são exemplos de elementos nutrientes cuja concentração normalmente não decresce com a idade, podendo mesmo aumentar. Nas culturas perenes ocorrem flutuações cíclicas anuais, associadas ao seu estado fenológico e actividade metabólica. Cada elemento apresenta uma variação própria ao longo do ano, podendo o sentido da variação ser diferente em função do tecido da planta considerado.

A variação na composição das plantas ao longo da estação de crescimento dificulta a interpretação dos resultados e obriga a que se façam colheitas em estados fenológicos bem definidos. A identificação adequada dos estados fenológicos não levanta problemas quando feita por investigadores. Contudo, na prática, os amostradores são, sobretudo, agricultores, que normalmente não estão devidamente preparados para identificarem os estados fenológicos nem reconhecem a importância de transmitir essa informação ao diagnosticador.

3.2 - Escolha do tecido e sua posição na planta

Para um determinado estado fenológico está bem documentada a variação na composição mineral das plantas entre as suas diferentes partes, órgãos ou tecidos.

Em culturas arbóreas, como oliveiras e laranjeiras, têm sido verificadas variações na composição das folhas em função da sua posição na copa. É frequente a ocorrência de variações das partes interiores para as partes exteriores, das partes mais baixas para as partes mais altas e mesmo de acordo com a orientação. Normalmente, especifica-se também se os ramos eleitos devem ou não ter frutos.

Para as culturas anuais, a posição física dos tecidos na planta é mais difícil de dissociar do efeito da idade fisiológica. Tecidos em posição diferente têm, necessariamente, idades fisiológicas diferentes. Por exemplo, a última folha expandida de uma planta de milho é aquela que assume uma posição mais alta na canópi, mas é também a folha mais jovem. Se as diferenças na composição entre esta folha e as demais se devem à sua posição na planta ou à sua idade é difícil de esclarecer.

Por vezes para a mesma planta recomenda-se a utilização de folhas ou tecidos diferentes, de acordo com o nutriente a avaliar. No caso dos crisântemos recomendam-se as folhas superiores para avaliar elementos como o azoto, cálcio, enxofre, ferro e boro, as folhas inferiores para o potássio, magnésio e zinco e as médias para avaliar o cobre. Para o fósforo e manganês considera-se ser indiferente utilizar folhas superiores ou inferiores.

Normalmente, as folhas são o órgão mais utilizado na análise de plantas (daí a generalização incorrecta do conceito análise foliar) por serem consideradas o laboratório químico da planta e porque grande parte dos elementos minerais se concentram nas folhas. A última folha madura é normalmente a folha eleita, caso não haja especificações em contrário. A folha não é, contudo, o tecido mais indicado para todas as espécies, nem revela sempre a maior sensibilidade para todos os elementos. Outros tecidos têm sido utilizados com resultados satisfatórios, como limbos, caules, raízes, tubérculos ou pecíolos. As fracções solúveis de elementos, como nitratos e fosfatos, determinam-se normalmente nos tecidos condutores como os pecíolos e caules. As raízes, por exemplo, são os órgãos considerados mais adequados para detectar níveis tóxicos de metais pesados.

3.3 - Interação entre nutrientes

As interações que se estabelecem entre elementos minerais são de natureza muito complexa e os seus efeitos reflectem-se na composição mineral das plantas. Frequentemente são referidos dois tipos de efeitos fundamentais de interação: os *efeitos interactivos* e os *efeitos não interactivos*.

Nos efeitos interactivos, por vezes também designados de interações verdadeiras, incluem-se os fenómenos correntemente designados de *antagonismo* e *sinergismo* iónico. Estes conceitos aparecem na bibliografia como a acção que dado nutriente pode exercer sobre outro(s). Quando um elemento reforça o efeito de outro(s) no crescimento e promove o aumento da sua concentração nos tecidos da planta o efeito é designado de sinergismo. Quando a aplicação de um nutriente restringe a absorção e/ou utilização de outro(s),

diminuindo o crescimento da planta e a sua concentração nos tecidos, designa-se de antagonismo.

Os efeitos não interactivos podem, por razões diversas, dar origem a *diluição* ou *concentração* de nutrientes. Por exemplo, o aumento da acumulação de matéria seca, que resulta da aplicação de um dado nutriente que estava em deficiência, origina uma diluição ou diminuição da concentração de outro(s). Outro exemplo clássico de diluição resulta do efeito da aplicação de um dado nutriente, quando em extrema deficiência, na concentração do próprio nutriente nos tecidos da planta. Ao contrário do que seria de esperar, a aplicação do nutriente deficiente pode originar uma diluição da sua própria concentração nos tecidos da planta, devido ao grande estímulo no crescimento. Este fenómeno pouco frequente, que tem sido registado para condições de extrema deficiência, é conhecido por efeito *Steenbjerg* ou *Piper-Steenbjerg* por terem sido estes investigadores que primeiro o observaram. O efeito de concentração é normalmente referido para situações ambientais extremas, como frio e secura intensos, que retardam o crescimento e podem levar ao efeito de concentração de certos nutrientes.

3.4 - Genótipo

Diversos aspectos da nutrição das plantas, como a absorção, translocação, utilização e armazenamento de nutrientes, são controlados geneticamente. Por isso, os diferentes *taxa* desde classes, famílias, géneros, espécies e genótipos dentro da mesma espécie apresentam certas semelhanças entre si. Por exemplo, as espécies da família das leguminosas normalmente possuem teores elevados de azoto nos seus tecidos, enquanto as crucíferas tendem a absorver enxofre em quantidades relativamente elevadas.

As características similares aumentam dos níveis hierárquicos superiores para os inferiores, à medida que se reduz a variabilidade genética. Facilmente se aceita que para as diferentes espécies cultivadas seja necessário o estabelecimento de normas padrão de interpretação de resultados individuais. Quando se trata de diferentes genótipos dentro da mesma espécie, embora seja legítimo admitir-se que há diferenças entre eles, e alguns resultados publicados confirmam-no, interessa esclarecer, para cada caso, se a magnitude das diferenças justifica o estabelecimento de normas individuais. A confirmar-se a necessidade de se estabelecerem normas individuais para cada híbrido ou cultivar, tal facto desestimularia o interesse pela análise de plantas, sobretudo para a maioria das culturas anuais, dada a facilidade com que aparecem novos híbridos e variedades no mercado e a facilidade com que outros(as) perdem interesse comercial.

Alguns investigadores têm obtido resultados com importantes diferenças entre híbridos e cultivares para culturas da importância do milho, da batata ou da soja. Contudo, o número de trabalhos publicados nesta área é reduzido não havendo, para já, resultados que possam

ser considerados definitivos. Considera-se ser ainda necessário acumular bastante mais informação sobre o assunto.

3.5 - Pragas, doenças e tratamentos fitossanitários

A incidência de pragas e doenças, bem como a aplicação de pesticidas para o seu combate, podem influenciar o resultado químico da análise de plantas e, consequentemente, o diagnóstico.

De uma maneira geral, as doenças, sobretudo as viroses, retardam o crescimento das plantas, embora pouco interfiram no processo de absorção de nutrientes. Consequentemente, ocorre a sua acumulação nos tecidos das plantas. Em Portugal, os resultados do único estudo que conhecemos sobre esta matéria referem que a presença de fumagina, importante doença do olival, não alterou o teor de vários nutrientes minerais.

A aplicação de pesticidas levanta também questões curiosas. Os pesticidas, sobretudo alguns fungicidas, têm efeitos imprevisíveis na microflora do solo afectando, indirectamente, a biodisponibilidade dos nutrientes e o desenvolvimento das plantas. A utilização de tecidos vegetais para análise, após a aplicação do pesticida, deve também ser rodeada de alguns cuidados, pois se algum dos constituintes do pesticida estiver incluído nos elementos a determinar a amostra fica contaminada. A lavagem dos tecidos também não é uma técnica pacífica porque pode originar a perda de elementos solúveis, como o potássio e o boro. A prática corrente em análise de plantas consiste em não lavar a amostra. Contudo, quando se prevêem contaminações com elementos como o ferro e o alumínio, sugere-se a lavagem com detergentes e o recurso a técnicas adequadas para minimizar a introdução de variabilidade na amostra.

3.6 - Factores ambientais

Os factores ambientais que influenciam a biodisponibilidade dos elementos nutrientes e o desenvolvimento das plantas, necessariamente influenciam a sua composição química. A sua acção pode levar a fenómenos de diluição e concentração de nutrientes e, normalmente, é apreciada factor a factor ou elemento a elemento, para isolar os efeitos individuais.

Não se apresenta aqui uma revisão do efeito dos factores ambientais nem do sentido do efeito no teor dos elementos nutrientes, devido à extensão do assunto. Contudo, refira-se que a luz, nas suas componentes intensidade e duração, e a temperatura, bem como a humidade, o arejamento e a reacção do solo encabeçam a lista dos factores ambientais que, em mais estudos, originaram variações significativas na composição das plantas.

4 - Indicadores do estado nutritivo

O conteúdo total em elementos nutrientes na matéria seca é o indicador mais utilizado para avaliar o estado nutritivo das plantas. Os resultados são expressos em percentagem ou

em g kg⁻¹ para os macronutrientes e em ppm ou mg kg⁻¹ para os micronutrientes. A utilização da fracção solúvel dos nutrientes (ou a fracção que se dissolve em ácidos ou agentes quelatizantes) bem como certos compostos intermédios do metabolismo, como aminoácidos e aminas, a actividade de certas enzimas e o teor de clorofila, também têm sido usados com sucesso como indicadores do estado nutritivo das plantas. No caso do trigo tem sido sugerido como melhor indicador do estado nutritivo sulfurado a razão entre o teor em sulfatos e o enxofre total.

O azoto é o exemplo em que mais frequentemente se utiliza uma sua fracção solúvel como indicador do estado nutritivo. A avaliação do teor de nitratos generalizou-se por ser fácil de determinar em testes rápidos e por ser uma forma não metabolizada e imóvel no floema. Se for escolhido um tecido jovem, o teor de nitratos reflete adequadamente a forma como está a ser absorvido pela planta.

Um bom indicador define-se pela qualidade da correlação dos seus valores com o resultado biológico e/ou económico da cultura. Os bons indicadores devem também ser selectivos e seguros e a sua determinação simples e rápida.

5 - Interpretação dos resultados

O sucesso da análise de plantas depende também da interpretação dos resultados e da forma como estes são relacionados com as condições de campo.

As propostas de interpretação dos resultados da análise plantas, com aceitação e utilização generalizada, dividem-se em três grupos principais: (i) comparação dos valores actuais da análise química com *concentrações críticas*; (ii) agrupamento dos resultados em *classes de suficiência*; e (iii) aplicação do *sistema integrado de diagnóstico e recomendação* (*the Diagnosis and Recommendation Integrated System, DRIS*).

5.1 - Concentração crítica

O conceito de concentração crítica, da forma em que é entendido actualmente, foi proposto por Macy já em 1937. Desde então cada investigador tem introduzido ligeiras modificações, consoante as suas perspectivas, mas o significado geral não tem sofrido alteração. Pode definir-se concentração crítica ou nível crítico como o valor limite de concentração de um nutriente, ou de uma sua fracção, abaixo do qual se considera existir uma elevada probabilidade de haver resposta positiva na produção quando se aplica um fertilizante que contenha esse nutriente. Acima do nível crítico a probabilidade de haver uma resposta positiva, por parte das plantas, à aplicação do nutriente é reduzida.

O ponto exacto, na curva que relaciona a concentração de um dado nutriente num tempo particular e a produção, no qual se define a concentração crítica varia de autor para autor. A maior parte dos autores utilizam, contudo, o valor de concentração que corresponde a 95 % da produção máxima (figura 1). Por este conceito definem-se na curva apenas duas

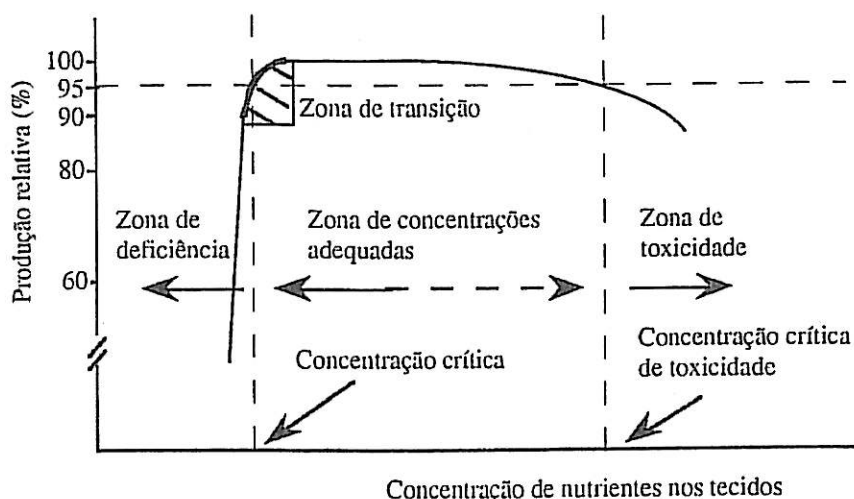


Figura 1 - Representação esquemática da relação entre o teor de nutrientes e a produção

zonas: a zona de deficiência; e a zona de concentrações adequadas. Por vezes define-se ainda uma concentração crítica de toxicidade associada, quase exclusivamente, a problemas com micronutrientes (figura 1).

Alguns autores consideram esta forma de definir a concentração crítica subjectiva e arbitrária e sugerem que se utilize a técnica *Cate-Nelson* para definir o nível crítico. Esta designação deve-se ao facto de serem estes investigadores que a desenvolveram para separar resultados da análise de terras.

A técnica *Cate-Nelson* é considerada uma forma estatisticamente mais robusta de definir a concentração crítica. Consiste na elaboração de um diagrama de quatro quadrantes sobre a nuvem de pontos (figura 2). As linhas vertical e horizontal que formam os quadrantes são colocadas de forma a que figure a maior quantidade possível de pontos nos quadrantes positivos (+) e a quantidade mínima nos quadrantes negativos (-). A linha vertical intercepta a abcissa no ponto correspondente à concentração crítica.

Esta técnica de definir a concentração crítica pode ser considerada menos exigente porque a linha horizontal, embora sem sentido real, acaba por interceptar a ordenada frequentemente abaixo do valor 90 % da produção máxima assumindo-se, assim, uma perda de produção maior.

Alguns autores, em vez de definirem um ponto como concentração crítica, consideram mais realista a definição de um *intervalo de concentração crítica*, correspondente à zona de transição da figura 1. Por este conceito, a concentração crítica é o estreito intervalo de concentração no qual a taxa de crescimento ou a produção começa a decrescer comparativamente às plantas com níveis adequados de nutriente. Na prática, considera-se uma perda de produção compreendida entre 0% e 10%. Este conceito surge devido à dificuldade em definir um ponto na curva que relaciona a concentração de um dado nutriente

e a produção, devido à quantidade de pontos colocados na zona de transição entre a região deficiente e adequada.

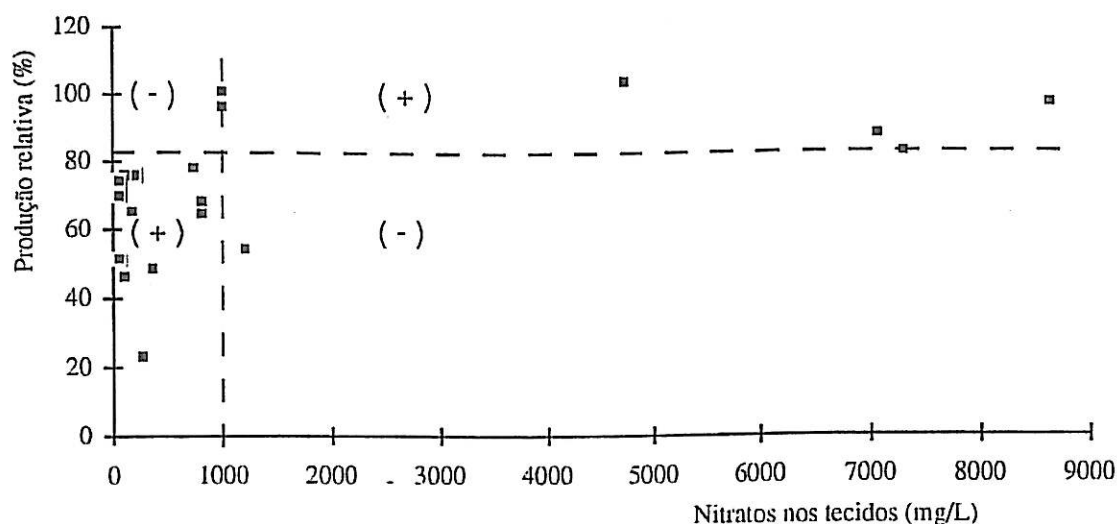


Figura 2 - Definição da concentração crítica pela técnica Cate-Nelson

Esta forma de apresentar os resultados tem tido poucos adeptos e a sua utilização não se tem generalizado porque acrescenta ainda mais dificuldades de interpretação. É curioso como os autores que utilizaram o conceito e optaram por esta representação se "esqueceram" sempre de referir como interpretar e o que fazer quando os resultados da análise de plantas cai no intervalo crítico. No fundo, este conceito já estava previsto por Macy quando, em 1937, atribui a esta zona da curva a designação de *zona de mau ajustamento*.

5.2 - Classes de suficiência

O conceito de intervalo de concentração crítica não deve ser confundido com a interpretação baseada na divisão da curva em intervalos, como normalmente se faz com os resultados da análise de terras. Por este critério, a curva de resposta é subdividida em três, quatro e, mais frequentemente, cinco regiões em função da concentração em nutrientes e da sua relação com a produção.

Para a análise de plantas, quando a divisão é feita em cinco regiões, é comum atribuir-lhe o seguinte significado fisiológico:

deficiente - Concentração para a qual normalmente aparecem sintomas visíveis de deficiência;

baixo - A produção pode estar a ser comprometida mas não aparecem sintomas visíveis de deficiência. É a zona das designadas carências dissimuladas;

suficiente - É considerada a região de concentrações adequadas. A aplicação de mais nutriente não origina aumentos de produção;

elevado - Os níveis do nutriente são mais elevados que o necessário à obtenção da produção ótima. Corresponde à situação conhecida como consumo de luxo; e

excesso - A produção pode ser inferior a 100% devido a um desequilíbrio no balanço entre nutrientes. Podem ocorrer sintomas de toxicidade visíveis.

Alguns autores sugerem que seja estabelecida uma relação quantitativa entre os intervalos de resposta e a produção relativa. Uma correspondência possível seria a apresentada no quadro 1.

Teoricamente, esta técnica dá mais informação que a concentração crítica porque, para além de mostrar se o nutriente está ou não em nível deficiente, sugere também o grau de deficiência ou o grau de desajustamento do programa de fertilização.

Quadro 1 - Relação quantitativa entre classes de suficiência e produção relativa

Classe de suficiência	Produção relativa (%)
deficiente	< 80
baixo	80-90
suficiente	90-100
elevado	100
excesso	>100

5.3 - Sistema integrado de diagnóstico e recomendação

A interpretação de resultados pela concentração crítica e classes de suficiência é proposta para elementos isolados ou para uma sua fracção. O sistema integrado de diagnóstico e recomendação, DRIS, desenvolvido por Beaufils na Universidade de Natal na África do Sul nos anos setenta, permite fazer uma análise simultânea a vários elementos.

O sistema baseia-se na comparação de razões, somas ou produtos dos elementos obtidos pela análise de plantas com normas previamente estabelecidas. Fornece um diagnóstico independente da idade da planta e tem em conta o balanço entre nutrientes, condição indispensável para se atingirem produções elevadas.

O sistema consiste em três etapas distintas: (i) estabelecimento de valores padrão ou normas ; (ii) cálculo dos índices DRIS; e (iii) interpretação dos resultados.

Estabelecimento das normas - Para o estabelecimento das normas DRIS utiliza-se uma grande quantidade de resultados que relacionem a análise de plantas com a produção. Teoricamente, deverão ser usados todos os resultados disponíveis. Os resultados são divididos em duas sub-populações associadas a altas e baixas produções. A sub-população de altas produções deve ficar com aproximadamente 10 % dos dados. Cada elemento a incluir no diagnóstico é expresso num número variado de formas (% N na matéria seca, N/K, N*P, N+P, etc.). É feito um teste X^2 para cada forma de expressão, para garantir que

a sua distribuição é normal. A média de cada expressão e a sua variância é calculada para cada uma das sub-populações. É escolhida a expressão que melhor discriminar entre as duas sub-populações, por comparação da razão entre variâncias, sendo a média da expressão a norma. Para um vasto número de culturas as normas que se utilizam para os macronutrientes principais são N/P, N/K e K/P.

Cálculo dos índices DRIS - O sistema integrado de diagnóstico e recomendação fornece um meio matemático de ordenar uma grande quantidade de razões e/ou produtos entre nutrientes, produzindo índices fáceis de interpretar. Para gerar os índices são utilizados o valor da norma, previamente estabelecida, e os resultados actuais da análise. O índice de cada nutriente fica dependente de todas as razões e/ou produtos em que o nutriente intervém.

Interpretação dos resultados - A técnica ordena os nutrientes por ordem de deficiência, tomando cada nutriente um valor negativo, nulo ou positivo. O facto do índice ter valores positivos ou negativos não significa, contudo, que o nutriente esteja, respectivamente, em excesso ou deficiência. A interpretação deve ser feita sempre em termos relativos. Um índice tipo 7 -22 15 (correspondente a N, P e K, respectivamente) indica apenas que, entre os três nutrientes, o elemento mais limitante é o fósforo, ou seja, aplicando fósforo é de esperar uma resposta positiva na produção. O valor do azoto, só por ser positivo, não deve ser entendido como estando em excesso. O resultado significa apenas que o azoto é o segundo elemento mais deficiente a seguir ao fósforo.

A soma de todos os índices, em valor absoluto, deve ser baixa (no limite igual a zero). A soma, em valor absoluto, está correlacionada com a produção. Existe uma elevada probabilidade de a um valor alto corresponderem produções baixas e vice-versa. Uma soma elevada indica um grande desequilíbrio entre os nutrientes.

Apesar das aparentes potencialidades desta técnica de interpretação de resultados não tem havido uma aderência elevada por parte dos técnicos dos laboratórios responsáveis pelo diagnóstico. A fraca aderência à técnica DRIS é atribuída a três razões principais: (i) pouca familiaridade dos técnicos dos laboratórios com o sistema; (ii) dificuldade em obter normas regionais ou mesmo nacionais (não há garantias de que as normas possam ser de utilização universal, nem que possam ser obtidas rapidamente com ensaios em ambientes controlados. As dificuldades são ainda maiores na implementação do sistema para os micronutrientes em que, para alguns casos, mesmo toda a informação disponível a nível mundial seria insuficiente para estabelecer normas adequadas); e (iii) falta de informação relativa ao sistema sobre a verificação de campo, calibração e recomendação.

6 - Recomendação da fertilização

A recomendação da fertilização com base nos resultados da análise de plantas, obtidos pelas técnicas laboratoriais clássicas, surge, para as culturas anuais, como uma técnica de diagnóstico *post-mortem*. Isto significa que os resultados são utilizados para aferir os

programas de fertilização, normalmente baseados em análises de terras, e com isso melhorar a recomendação para os anos seguintes, mas não são utilizados para sugerir intervenções para o próprio ano. As fases avançadas do ciclo em que normalmente se preconiza a colheita de amostras, associadas ao tempo que decorre desde a colheita até à obtenção de um diagnóstico e correspondente sugestão de intervenção, torna impraticável assentar o programa de fertilização na análise de plantas, já que desde o início do processo até ao fim decorrem, pelo menos, quinze dias.

Este panorama pode mudar de figura com a generalização dos testes rápidos de tecidos. Embora a utilização destes métodos expeditos não seja recente tem ganho muita importância nos últimos anos e dado nova dinâmica à utilização da análise de plantas como técnica de diagnóstico.

7. Testes rápidos de tecidos

Estes testes, para além da vantagem de serem muito expeditos, produzem resultados fáceis de interpretar e com recurso a equipamentos de baixo custo. Não é, contudo, seu objectivo substituir as técnicas laboratoriais, mas sim obter, em situações concretas, determinado tipo de informação que as técnicas laboratoriais não podem fornecer.

Os testes rápidos de utilização mais generalizada são, sem dúvida, os que se propõem avaliar o estado nutritivo azotado, devido às dificuldades em fazer recomendações deste nutriente e à eficiência com que pode ser utilizado pelas plantas quando aplicado em cobertura. De facto, existe ainda um grande empirismo na recomendação da fertilização azotada. Devido à dinâmica do nutriente, não existem testes calibrados de análise de terras universalmente aceites. Assim, a recomendação da fertilização azotada, para uma dada região agrícola, pode assentar em bases marcadamente diferentes, dependendo da sensibilidade do responsável do laboratório. Também as pressões ambientais a que a prática da fertilização está sujeita, que se devem em grande parte à adubação azotada, conduzem à necessidade urgente de se fazerem fertilizações mais racionais.

A filosofia da utilização dos testes rápidos consiste na aplicação de uma fracção reduzida do adubo azotado em fundo e fazer os ajustamentos necessários em cobertura, em função do resultado dos testes de tecidos. Os testes rápidos permitem que se diagnostique nas primeiras fases do ciclo cultural e que se obtenham resultados fiáveis rapidamente, permitindo uma intervenção atempada que permita ainda uma utilização eficiente dos nutrientes. A própria quantificação dos fertilizantes a aplicar passa a ser um problema menor, devido à facilidade com que os testes podem ser repetidos durante o ciclo cultural. Desta forma, só se utilizam as quantidades eminentemente necessárias, não se correndo riscos de se cometerem excessos ou de penalizar a cultura com aplicações insuficientes.

Para avaliar o estado nutritivo azotado das culturas os testes rápidos que mais se utilizam no momento consistem na determinação do teor de nitratos e na estimativa dos

teores de clorofila nos tecidos das plantas. Utilizam-se, respectivamente, os aparelhos portáteis designados *RQ flex®* e *SPAD-502®*. O primeiro é um reflectómetro, comercializado pela Merck. O segundo é um aparelho da Minolta, que vem substituir o antigo modelo *SPAD-501®*.

7.1 - Avaliação do teor de nitratos

Os nitratos são uma fracção não metabolizada do azoto. Escolhendo o tecido certo podem reflectir, em cada momento, a forma como a planta está a ser alimentada. Ao aumento da disponibilidade de azoto no solo as plantas respondem com um aumento da concentração de nitratos nos seus tecidos, podendo a variação na concentração de nitratos ser correlacionada com a produção.

Uma das formas de avaliar o teor de nitratos é utilizando *tiras de teste* que mudam de cor quando imersas numa solução obtida com extractos dos tecidos vegetais. A intensidade da cor é proporcional ao teor de nitratos na solução em que se inserem as tiras. Tradicionalmente usavam-se padrões de cores com os quais se comparava, à vista desarmada, a tonalidade desenvolvida pelas tiras. Por este processo obtinham-se resultados semi-quantitativos que normalmente se interpretavam organizado-os em cinco classes: muito baixo; baixo; médio; alto; e muito alto.

Actualmente usam-se reflectómetros que medem a quantidade de luz reflectida pela tira de teste e fazem a conversão da reflectância em concentração na solução, fornecendo um resultado quantitativo. A interpretação dos resultados dos testes rápidos faz-se normalmente por comparação com as concentrações críticas ou níveis críticos do nutriente (figura 1 e 2). Quando, em dada região, não existe informação disponível podem utilizar-se valores críticos tabelados obtidos para outras regiões. No entanto, o ideal é ir constituindo uma base de dados regionais por cultivar ao longo dos anos. Podem utilizar-se os resultados de ensaios experimentais ou de campos dos agricultores.

Os factores associados à variação da composição química das plantas obrigam a um seguimento rigoroso das normas relativas aos processos de colheita, preparação das amostras e na interpretação dos resultados, de forma a minimizar a sua importância.

7.2 - Avaliação do teor de clorofila

Os pigmentos fotossintéticos, responsáveis pela cor verde das plantas, não existem isolados nos cloroplastos. Estão associados a proteínas, com as quais formam estruturas complexas, onde se encontra a maior parte do azoto das células. Assim, o teor de clorofila pode ser um bom indicador do estado nutritivo azotado das plantas. As correlações que têm sido encontradas entre o teor de clorofila e o azoto total das folhas, bem como entre o teor de clorofila e a concentração de nitratos, são, efectivamente, muito boas.

A curva de resposta do teor de clorofila ao azoto aplicado é idêntica à curva de resposta da produção (fig. 3). A resposta ao azoto forma um patamar acima do qual o teor de clorofila não aumenta. Diz-se, por isso, que os teores de clorofila, tal como a produção, não respondem ao consumo de luxo. Por essa razão, a correlação dos teores de clorofila com a produção é, também, muito boa (fig. 3).

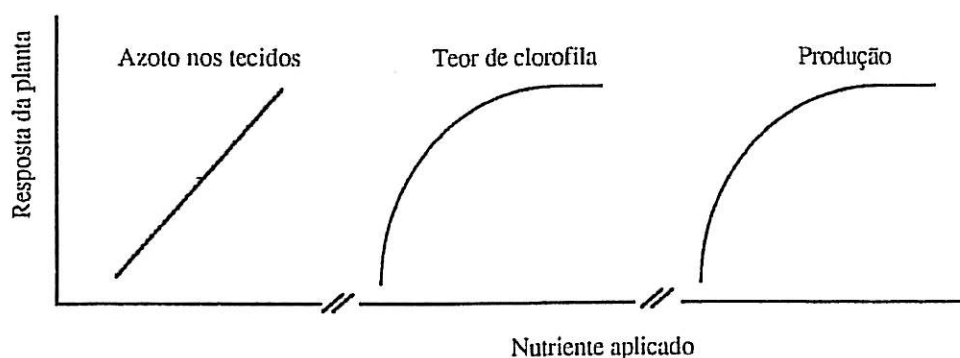


Figura 3 - Resposta teórica da planta à aplicação de azoto

Os medidores SPAD-502 estimam o teor de clorofila medindo a transmitância da folha em dois comprimentos de onda, aproximadamente 430 nm e 750 nm. Os valores obtidos com o aparelho estão bem correlacionados com os teores de clorofila obtidos por processos laboratoriais.

A interpretação dos resultados obtidos com o SPAD-502 pode fazer-se pela concentração crítica. As limitações e os cuidados na interpretação dos resultados são idênticos, uma vez que a intensidade da cor verde das plantas está sujeito aos mesmos factores de variação referidos para os elementos nutrientes.

Os utilizadores do SPAD-502 encontraram, contudo, uma forma bastante mais simples de ultrapassar a variabilidade associada ao verdor das plantas. A técnica consiste no cálculo de um *índice de suficiência* (IS) obtido pela expressão:

$$IS = \frac{\text{valores da amostra da parcela principal}}{\text{valores da faixa de referência}}$$

Para o cálculo do índice de suficiência utilizam-se os valores dos campos normais de produção e os valores obtidos numa pequena faixa de referência. A faixa de referência é uma micro-parcela dentro de um campo de cultura onde, propositadamente, foram aplicadas quantidades abundantes ou mesmo excessivas de azoto. Os resultados são expressos não em

valor absoluto mas relativamente à faixa de referência, que representa a saturação, ou seja 100 %. Esta metodologia é apoiada no facto do teor de clorofila não responder ao consumo de luxo.

Obrigatoriamente todos os anos deve ser criada uma faixa de referência, por cultivar, em cada parcela ou em cada região de produção em condições agronómicas e ambientais homogéneas. Para criar a faixa de referência basta, numa zona representativa da parcela ou da região homogénea, aplicar uma quantidade de azoto garantidamente excessiva.

Por este processo, a interpretação fica facilitada porque alguns autores sugerem que se use como nível crítico um índice de suficiência de 95%. Abaixo deste valores recomenda-se a aplicação de azoto em cobertura. Contudo, será conveniente ir ganhando informação ao longo dos anos e confrontar os dois tipos de interpretação. Deve, inclusivamente, testar-se a validade estatística do valor de 95 % para o índice de suficiência

O SPAD-502 é a última grande aplicação de campo em métodos expeditos, com as vantagens de ser, de entre todos, o de utilização mais simples e rápida e de fazer leituras por um processo não destrutivo. Uma das críticas que se fazem aos medidores SPAD-502 é que não prevêem adequadamente as situações em que foram aplicadas quantidades de azoto excessivas, uma vez que a clorofila não responde ao consumo de luxo. Contudo, na estratégia de fertilização que aqui se sugere, a aplicações de quantidades excessivas de azoto nunca está prevista.

8 - Conclusões

A análise de plantas é uma técnica com reconhecidas potencialidades e larga utilização em vários países, apesar de se continuar a considerar que o sucesso da interpretação dos resultados depende muito do diagnosticador e do uso que faz da informação disponível. Em Portugal vai-se generalizando, a muito custo, o hábito de se fazerem análises de terras, enquanto que a análise de plantas está praticamente excluída dos programas de fertilização.

Num país em que a utilização da análise de tecidos vegetais como técnica de diagnóstico da nutrição das culturas não tem expressão, as perspectivas de se generalizar a utilização de métodos expeditos de análise não serão as melhores. Contudo, estas técnicas, pela sua simplicidade, são já muito utilizadas noutros países, designadamente nos Estados Unidos. São metodologias com grandes potencialidades que poderiam ser implementadas ao nível de cooperativas, associações de agricultores e mesmo a título individual. Os aparelhos não são caros e podem ser usados em praticamente todas as culturas da exploração.

Os reflectómetros trabalham ainda com uma gama variada de tiras, podendo ser utilizados em análises a extractos de terras, de tecidos vegetais e a águas de rega ou de consumo doméstico com objectivos diversos. No total, estão disponíveis no mercado aproximadamente trinta tiras diferentes, que permitem determinar, para além dos nitratos, vários parâmetros com interesse agronómico como fosfatos, sulfatos, ião amónio, potássio,

cálcio, magnésio, pH e quase todos os micronutrientes. Assim, são várias as possibilidades de se rentabilizar o investimento neste tipo de equipamentos.

Referências bibliográficas

- Brito, F. M. V., 1974-76. Diagnostique foliaire de l'olivier. Contribution pour un mode d'échantillonnage adapté aux oliverais du Portugal. *Rev. Ciênc. Agrár.*, **1**: 123-133.
- Carter, J. N., S. M. Bosma, 1974. Effect of fertilizer and irrigation on nitrate-nitrogen and total nitrogen in potato tubers. *Agron. J.*, **66**: 263-266.
- Fox, R. H., W. P. Piekielek and K. M. Macneal, 1994. Using a chlorophyll meter to predict nitrogen fertilizer needs of winter wheat. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **25** (3&4): 171-181.
- Freney, J. R., K. Spencer and M. B. Jones, 1978. The diagnosis of sulphur deficiency in wheat. *Aust. J. Agric. Res.*, **29**: 727-738.
- Jeminson J M and R. H. Fox, 1988. A quick-test procedure for soil and plant tissue nitrates using test strips and a hand-held reflectometer. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **19** (14): 1569-1582.
- Lopez-Cantero, I., F. A. Lorente and L. Romero, 1994. Are chlorophylls good indicators of nitrogen and phosphorus levels. *J. Plant Nutr.*, **17**(6): 979-990.
- Mills, H. A. and J. B. Jones, 1996. Plant Analysis Handbook II. A practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. Micro Macro Publishing, Inc. Athens, Georgia.
- Minotti, P. L., D. E. Halseth and J. B. Sieczka, 1994. Field chlorophyll measurements to assess the nitrogen status of potato varieties. *HortScience*, **29**(12): 1497-1500.
- Munson, R. D. and W. L. Nelson, 1990. Principles and practices in plant analysis. p. 359-387. In R. L. Westerman (ed.). Soil Testing and Plant Analysis. 3^a ed. SSSA Book Series nº 3. SSSA, Madison, Wis.
- Nelson, L. A. and R. L. Anderson, 1984. Partitioning of soil test - crop response probability. p. 19-39. In: T. R. Peck, J. T. Cope and D. A. Whitney (eds). Correlation and Interpretation the Analytical Results. ASA. Special Publication nº 23. Madison.
- Peterson, T. A., T. M. Blackmer, D. D. Francis and J. S. Schepers (1993). Nebguide: Using a chlorophyll meter to improve N management. Cooperative Extension. Inst. of Agric. and Nat. Res. Published by University of Nebraska-Lincoln.
- Piekielek, W. P., and R. H. Fox, 1992. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. *Agron. J.*, **84**: 59-65.
- Rodrigues, M. A. R e J. Coutinho. Eficiência de utilização do azoto pelas plantas. Série Estudos, IPB (em publicação).

- Rodrigues, M. A. R. e J. Coutinho, 1996. Efficiency of uptake and utilization of N from mineral and organic sources by potato crop. p. 368-369. In M. K. van Ittersum, G. E. Venner, S. C. van de Geijn, e T. H. Jetten (eds). *Fourth Congress of the European Society for Agronomy*. ESA, Veldhoven-Wageningen, The Netherlands.
- Santos, J. Q., 1991. Fertilização - Fundamentos da Utilização dos Adubos e Correctivos. Publicações Europa-América, Mem Martins, 442 P.
- Schaefer, N. L., 1986. Evaluation of a hand reflectometer for rapid quantitative determination of nitrate. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **17**(9): 937-951.
- Schepers, J. S., D. D. Francis, M. Vigil, and F. E. Below, 1992. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **23**(17-20): 2173-2187.
- Smith, P. F., 1962. Mineral analysis of plant tissues. *Annual Review of Plant Physiology*, **13**: 81-108.
- Vos, J. and M. Bom, 1993. Hand-held chlorophyll meter: a promising tool to assess the nitrogen status of potato foliage. *Potato Research*, **36**: 301-308.
- Walworth, J. L. and M. E. Sumner, 1987. The diagnosis and recommendation integrated System (DRIS). *Advances in Soil Science*, **6**: 150 - 188.
- Westcott, M. P., V. R. Stewart, and R. E. Lund, 1991. Critical petiole nitrate levels in potato. *Agron. J.*, **83**: 844-850.
- Westcott, M. P. and J. M. Wraith, 1995. Correlations of leaf chlorophyll readings and stem nitrate concentrations in peppermint. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **26** (9&10): 1481-1490.