

Maria José P. M. de Almeida
Odisséa Boaventura de Oliveira
Suzani Cassiani de Souza

LEITURA E ESCRITA EM
AULAS DE CIÊNCIAS

Luz, calor e fotossíntese nas mediações escolares

Copyright © 2007, by Maria José P. M. de Almeida, Odisséa Boaventura de Oliveira e Suzani Cassiani de Souza

Capa e projeto gráfico

Studio S • Diagramação & Arte Visual

Revisão

A. R. Lima

Editoração e preparação de originais

Estúdio Letras Contemporâneas

Conselho editorial

Abel Silva

Fábio Brüggemann

Maria de Fátima Sabino

Péricles Prade

Sérgio Cezário dos Santos

ISBN: 9785-7662-

Nenhuma parte deste livro pode ser reproduzida, no todo ou em parte, por quaisquer meios, sem a autorização expressa dos editores.

Todos os direitos desta edição reservados a

LETRAS CONTEMPORÂNEAS - OFICINA EDITORIAL LTDA.

Rua Hermann Blumenau, 134/05

Florianópolis, SC - 88.020-020

www.letrascontemporaneas.com.br

SUMÁRIO

Considerações iniciais	5
A estrutura do texto	8

PRIMEIRA PARTE

Algumas noções de apoio.....	11
Considerações sobre leitura e escrita.....	27

SEGUNDA PARTE - Mediações escolares

Considerações sobre escrita e leitura na escola	33
Para pensar a escrita e a leitura nas ciências.....	35
Episódios de ensino	44
Ênfase na escrita: produções dos estudantes	47
Mediações na leitura	67

TERCEIRA PARTE - Fotossíntese e luz

Algumas atividades.....	77
Fotossíntese: a história da construção de um conhecimento	99

Bibliografia	141
Autoras	143

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Com este livro, pretendemos compartilhar com professores de Ciências e disciplinas afins, e também com formadores desses professores nas universidades, algumas experiências vividas como professoras e pesquisadoras na área de Educação em Ciências. Ao escrevê-lo, buscamos repartir com nossos leitores acontecimentos e reflexões que consideramos significativos no ensino escolar dessa área. São muitas as histórias pessoais e coletivas que possibilitaram a construção dos textos que aqui formulamos, visando sua circulação, como suporte de atividades escolares semelhantes às aqui narradas, ou como inspiração para registro e divulgação de outras relações de ensino em sala de aula.

Para redigir os textos nos apoiamos mais diretamente em alguns trabalhos já concluídos: destacamos especialmente nossa convivência no desenvolvimento de um projeto de ensino¹, na redação do relatório final desse projeto, além da elaboração por duas das autoras, orientadas pela outra, de uma dissertação de mestrado² e de uma tese de doutorado³. Na formulação dos textos aqui apresentados, fazemos releituras atualizadas por vivências e ponderações posteriores a esses trabalhos mencionados.

-
- 1 Projeto: Conhecimento nas Ciências Naturais: Ações Culturais, um dos sub-projetos do Projeto apoiado pela FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo): Parceria Universidade Escola Pública. Parte das atividades deste sub-projeto foram organizadas a partir de sugestões incorporadas do projeto: Linguagem Comum e Linguagem Formal no Ensino do Conteúdo Físico, apoiado pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico)
 - 2 OLIVEIRA, Odisséia B. de. *Possibilidades da escrita no avanço do senso comum para o saber científico na 8ª série do ensino fundamental*. 2001. 157p. (mestrado em Educação) Faculdade de Educação, Unicamp, Campinas, SP.
 - 3 SOUZA, Suzani C. de. *Leitura e fotossíntese: Proposta de Ensino Numa Abordagem Cultural*. 2000.241p. (doutorado em Educação) Faculdade de Educação, Unicamp, Campinas, SP.

Salientamos que, o foco temático principal, mas não único, das atividades escolares cujo funcionamento é aqui analisado é a noção de “Energia”, pensada enquanto conteúdo de ensino propício à constituição de saberes escolares pertinentes às Ciências, a partir de aspectos do saber produzido em diferentes campos científicos, como na Biologia, na Física, na Química e em tecnologias associadas a essas disciplinas. Citamos elementos da óptica física e geométrica e a fotossíntese como exemplos desses aspectos. E também apontamos algumas das relações de natureza social implicadas nesses saberes.

Por outro lado, pensamos em atividades que envolvem a organização de situações favoráveis ao diálogo em sala de aula, ao trabalho prático, à leitura e à escrita, sendo que estas últimas, a “leitura” e a “escrita”, são especialmente discutidas, numa perspectiva cultural na qual ensinar a ler e escrever não é privilégio ou dever apenas do professor de Língua Portuguesa, mas também de outras disciplinas, e entre elas, as Ciências.

Muitas das atividades relatadas já haviam sido, ou foram posteriormente, por nós trabalhadas em outras situações e níveis de ensino, com finalidades e conseqüências semelhantes ou consideravelmente diferentes das aqui expostas. No entanto, neste livro fazemos essencialmente releituras do trabalho com oitavas séries do nível fundamental em escolas públicas. Mas, insistimos que, como já fizemos com várias delas, é possível adaptá-las, ou mesmo reproduzi-las em outras séries/níveis e em outros tipos de escolas. Ao colocá-las em funcionamento não nos prendemos aos conteúdos usualmente trabalhados na oitava série. Pelo contrário, queríamos evidenciar possibilidades de transformação curricular e não dividir os conteúdos de maneira rígida de acordo com divisões disciplinares que estabelecem conteúdos considerados de Biologia, de Física, e de Química, em séries específicas. Tampouco queríamos trabalhar isoladamente disciplinas que também constituem as chamadas Ciências da Natureza, como as Geociências. Por outro lado, não era nossa intenção eliminar as peculiaridades próprias da construção do conhecimento em cada disciplina. Procuramos selecionar conteúdos que usualmente são trabalhados em diferentes aspectos conforme a disciplina que os está abordando. Entre outros exemplos, esse é o caso da Energia. Também procuramos não negligenciar as características disciplinares em nome de uma suposta

interdisciplinaridade. Como foco principal, procuramos evidenciar o funcionamento da linguagem no ensino escolar de determinados conteúdos, tendo em conta uma perspectiva discursiva na qual a não transparência da linguagem e as condições de produção dos sentidos pelos estudantes, foram os pontos de partida para o trabalho e para sua análise.

Sabemos que qualquer acontecimento está associado às suas condições de produção, condições que são as imediatas, como aquelas que colocamos em prática quando organizamos uma aula, e condições sócio-históricas, tais como as histórias de vida dos estudantes e do próprio professor. Sabemos também que, em condições de produção diferentes provavelmente seriam obtidos resultados diferentes. Por isso, em nossas narrativas procuramos ressaltar as condições que julgamos mais relevantes, sem, pretendemos ser exaustivas quanto a essas condições. Por outro lado, sabemos que, no ensino escolar, além de condições de produção imediatas, e de condições sócio-históricas dos estudantes, estão presentes pressupostos e saberes teóricos que subentendem a seleção e organização das atividades.

Já no que concerne à natureza dessas atividades, privilegiamos a análise do funcionamento da leitura e da escrita, o que não significou trabalhar isoladamente com essas atividades.

A ESTRUTURA DO TEXTO

No seu conjunto, o livro é fruto de olhares críticos para experiências de ensino escolar que vivenciamos. Ou seja, nele, relatamos acontecimentos envolvendo pelo menos uma de nós como professora, algumas vezes como professora da classe, e, em outras, apenas atuando como pesquisadora-professora com o aval da professora da classe, também presente, além dos estudantes. Em síntese, apresentamos atividades que funcionaram na prática, em condições determinadas e cujo funcionamento já foi objeto de análise.

Dividimos o livro em três partes: na primeira falamos de pressupostos e saberes teóricos que permeiam o conjunto das atividades e sua análise, que relatamos na segunda parte, e na terceira apresentamos alguns subsídios das atividades anteriormente analisadas. Por outro lado, embora haja uma seqüência que consideramos ser a adequada para leitura do livro, procuramos fazer também com que a leitura de cada atividade não ficasse atrelada às demais atividades, ou mesmo à leitura dos pressupostos e saberes teóricos apresentados da primeira parte do livro.

Também optamos por apontar as referências bibliográficas e eventuais comentários em notas de rodapé, com o intuito de não provocarmos interrupções na leitura do texto, deixando para o leitor a decisão de consultar ou não essas notas, de acordo com o que considerar conveniente.

PRIMEIRA PARTE

ALGUMAS NOÇÕES DE APOIO

Uma criança de hoje tem muito mais interesse e acesso a informações do que há quarenta anos. Agora você aprende em diferentes fontes: pela televisão, nas ruas ou pelo computador. É um estímulo enorme para a humanidade, e isso só pode reverter em atividade imaginativa. (Carlos Rubia, prêmio Nobel de Física).

Se for verdade o que diz Carlos Rubia nesta epígrafe, como pensar a contribuição das Ciências no ensino escolar? Que ações de natureza cultural, relativas a conteúdos da Ciência, podemos provocar em aula e como refletir sobre o seu funcionamento? Foi a busca de respostas a questões como essas que nos movemos na realização das atividades que descrevemos neste livro.

No entanto, a nossa história como educadoras não se iniciou ao realizarmos essas atividades. Muitos foram os apoios teóricos e noções construídas, a partir desses apoios, nos quais nos sustentamos para procurar compreender questões relacionadas à escola e ao ensino que ali se processam. E entre esses apoios, que contribuíram para o próprio planejamento das atividades, destacamos alguns aos quais vamos nos referir a seguir de maneira sucinta. Posteriormente, nos deteremos com maior detalhe naqueles que constituíram propriamente o nosso dispositivo analítico.

Consideramos inicialmente a contribuição de alguns autores da área de currículo, por nos propiciarem a reflexão sobre questões que, embora relacionadas aos conteúdos de ensino, vão além desses conteúdos na medida em que provocam a necessidade de avaliarmos a sua relevância. Esse autor alerta, inclusive, para a possibilidade de selecionarmos conteúdos diferenciados dos usuais. Assim, noções como “currículo oculto” e

“tradição seletiva dos conteúdos”, como são trabalhadas por Michael Apple⁴ evidenciam a necessidade de planejarmos o ensino não nos restringindo ao que de imediato nos parece o óbvio a ser feito. Ele adverte para o fato de que os conteúdos escolares usuais foram selecionados entre muitos outros possíveis e outros foram simplesmente silenciados. Conseqüentemente, os conteúdos do ensino podem ser modificados com base em critérios plausíveis de natureza política, filosófica ou pedagógica.

Por outro lado, o trabalho de Michael Apple ao confrontar situações de consenso e de conflito, também contribuiu para que pensássemos nessa oposição como um par dialético “consenso/conflito”. Par dialético no sentido de que um só existe por oposição ao outro, o que nos faz refletir sobre a relevância de, mediarmos o conflito em situações de ensino e, inclusive, procurarmos instaurar em sala de aula situações favoráveis ao debate de idéias.

Um outro par dialético que contribuiu significativamente para a organização das atividades que aqui descrevemos foi pensado a partir do trabalho epistemológico de Thomas Khun⁵. Esse autor mostra, referindo-se ao ensino superior, como no ensino da Ciência os resultados científicos têm tido lugar preponderante, uma vez que se pretende ensinar os paradigmas aceitos pela comunidade científica. Para tal, aos estudantes é solicitado que façam grande quantidade de exercícios semelhantes. Dessa ênfase, evidentemente, decorre a não prioridade em se ensinar os procedimentos de construção da Ciência, ou seja, seus processos, suas histórias, seus equívocos, seus conflitos, muitas vezes produzindo uma visão de ciência neutra. No entanto, é aparentemente dessa maneira que, os futuros cientistas apreendem os paradigmas a partir dos quais tentarão avançar na construção da Ciência. Mas, e no ensino básico? O objetivo do ensino de ciências é apenas formar cientistas?

Dado que não é difícil notarmos a grande quantidade de exercícios que são solicitados também a estudantes do ensino básico, em disciplinas

4 APPLE, Michael W. *Ideologia e currículo*. Trad. por Carlos Eduardo F. de Carvalho, São Paulo: Brasiliense, 1982. 246p.

_____. *Educação e poder*. Trad. por Maria Cristina Monteiro. Porto Alegre: Artes Médicas, 1989. 201p.

5 KUHN, Thomas S. A função do dogma na investigação científica. In: DEUS, Jorge Dias de (Org.) *A crítica da ciência*. Rio de Janeiro: Zhaar editores, 1974, p.51-80.

como a Física, torna-se necessário constatar que, também no ensino fundamental e médio se tem valorizado os processos de construção científica muito menos do que os resultados da Ciência. Dessa forma, julgamos pertinente a reflexão sobre o par dialético “processo/produto” daquilo que vamos ensinar da Ciência. Ou seja, qual a proporção em que devemos trabalhar os resultados obtidos pela Ciência e seus modos de produção?

Queremos ainda lembrar a contribuição de um outro filósofo da ciência, Gaston Bachelard⁶, para pensarmos a organização de atividades para o ensino de ciências. Em especial, as noções de “continuidade” e “ruptura”, como são abordadas por esse autor; ou, como preferimos explicitar, o par dialético “continuidade/ruptura”, que foi bastante relevante no planejamento das atividades, por ter sido a partir dele que melhor pudemos compreender que, na construção da Ciência, o conhecimento elaborado, de maior abstração, supõe o conhecimento inicial, mais empírico, o qual será superado nos processos de produção dos conhecimentos científicos. A superação, no entanto, não é um simples processo de negação ou apagamento, mas sim uma efetiva transformação, cuja origem se situa na reflexão continuada sobre o anteriormente conhecido.

Já no que concerne à focalização nos processos pelos quais passa cada estudante em situações de ensino, julgamos de grande interesse pensar o processo de “internalização”, ou reconstrução interna a partir da “mediação social”, externa. A estas noções, discutidas por Lev Vygotsky⁷, juntamos a noção de “zona de desenvolvimento proximal”, com a qual esse autor evidencia que no ensino é preciso considerar as capacidades potenciais, não explicitadas pelo estudante, ajudando-o em tarefas que, posteriormente, poderá realizar sozinho. E, além dessas noções, a obra desse autor foi bastante significativa para a compreensão das possibilidades de contribuirmos para a construção de conceitos pelos estudantes, através da mediação externa. E, aparentemente, na produção de significados essa mediação torna-se mais e mais relevante se

6 BACHELARD, Gaston. *A formação do espírito científico*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996. 314p.
_____. *A filosofia do não: filosofia do novo espírito científico*. Tradução por Joaquim José Moura Ramos. Lisboa: Editorial Presença, 1987.136p

7 VYGOTSKY, Lev S. *Pensamento e linguagem*. Trad. por Jéferson L. Camargo. São Paulo: Martins Fontes, 1987. 135p.

admitirmos que, no processo de ensino, qualquer que ele seja, os resultados nunca serão imediatos. Trata-se sempre de um processo gradual.

Todas essas noções contribuíram de alguma maneira tanto para a elaboração de atividades de ensino quanto para a análise do seu funcionamento. No entanto, admitimos que a principal sustentação teórica dos textos aqui apresentados foi a análise do discurso, a partir de obras publicadas no Brasil principalmente por Eni Orlandi.

Dessa vertente, lembramos primeiro o fato de que a linguagem não pode ser pensada como se fosse transparente. Ou seja, a produção de sentidos entre interlocutores não é idêntica. E, entre as noções de apoio, destacamos as “condições de produção”, fazendo-nos pensar na importância da constante consideração tanto das condições imediatas quanto das sócio-históricas na análise dos processos de produção de sentidos.

Comentários sobre as noções até aqui apresentadas podem ser encontrados em um texto que analisa a compreensão do fazer pedagógico⁸ a partir dessas noções e no qual os autores admitem sua possível utilidade na análise de outras situações de mediação escolar, desde que se compreenda a importância dos processos que as expectativas mútuas entre professor e alunos podem desencadear.

Discurso Científico e Discurso Escolar: Algumas Interfaces Possíveis

Apontamos algumas interfaces possíveis entre o discurso próprio da ciência e aquele que nela está focalizado em situações de ensino, a partir da caracterização das noções de discurso científico e discurso escolar, no âmbito de concepções de linguagem que valorizam as suas condições de produção e descartam a possibilidade de transparência na interpretação de qualquer texto, seja ele, oral, escrito ou imagético. Nosso propósito com essas caracterizações e com a determinação de possíveis interfaces entre os dois discursos é o de contribuir para que aqueles que pretendem ensinar aspectos do conhecimento científico na escola tenham em conta a vida cotidiana de quem vão ensinar.

8 ALMEIDA, Maria José P.M.; SILVA, Henrique C. Noções auxiliares na compreensão do fazer pedagógico. *Educação & Sociedade*, Campinas, AnoXV, 97-105, 1994.

Fomos buscar em Agnes Heller⁹ elementos para situar a noção de vida cotidiana. A autora afirma que “A Vida Cotidiana é a vida de ‘todo’ o homem.” (p.17) Ele já nasce inserido na sua cotidianidade, e ninguém consegue desligar-se inteiramente dela, bem como não há ninguém que viva apenas na cotidianidade. Também é fato que, a manipulação das coisas, mesmo a mais elementar, está associada à assimilação de relações sociais, enquanto que, segundo Heller, as formas de elevação acima da vida cotidiana que produzem “objetivações” duradouras são: a “arte e a ciência”. Já a característica dominante da vida cotidiana é a “espontaneidade”. A autora também comenta que na vida cotidiana não é possível calcular com segurança científica a consequência possível de uma ação. E ainda com respeito à cotidianidade, sustentando-nos na mesma autora, apontamos a alienação como aquilo que ocorre quando as características da cotidianidade não deixam ao indivíduo a possibilidade de explicação, de movimento, ou seja, quando ocorre um abismo entre o desenvolvimento humano geral e o desenvolvimento dos indivíduos humanos que, então, se tornam alienados.

Consideramos que a escola é, certamente, uma instituição com potencial para trabalhar a superação da alienação, o que, no entanto, não ocorre pelo simples fato dos indivíduos a ela comparecerem, sendo de fundamental interesse a análise das possibilidades de efetivação desse potencial. E a aprendizagem de conhecimentos de natureza científica e tecnológica, é, sem dúvida, um elemento de superação da alienação em relação às influências mútuas entre ciência e sociedade e aos limites e possibilidades da ciência no que ela pode contribuir para a construção da cidadania. A partir dessa consideração, procuraremos evidenciar a relevância da seleção adequada de interfaces entre o discurso próprio da ciência e aquele que nela está focalizado em situações de ensino.

A Noção de Discurso e Alguns Aportes da Análise de Discurso

Sobre a noção de discurso, para situá-la recorreremos inicialmente a Michel Foucault¹⁰. O autor, referindo-se ao discurso em sua realidade

9 HELLER, Agnes. O cotidiano e a história. 2.ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1985.121p.

10 FOUCAULT, Michel. *A Ordem do discurso*. Tradução por Laura F. de A. Sampaio 4.ed. São Paulo: Edições Loyola, 1998.

material de coisa pronunciada ou escrita, manifesta inquietação com a sua existência transitória, que ele considera destinada a se apagar, e com uma duração que não nos pertence. Para Foucault, os discursos certamente são feitos de signos; mas o que eles fazem é mais do que utilizar esses signos para designar coisas. É a esse “mais” que ele atribui o fato de serem irredutíveis à língua e ao ato da fala. É esse mais que é preciso fazer aparecer e que é preciso descrever.

Quanto ao autor do discurso, segundo Foucault, ele não é entendido “(...) como o indivíduo falante que pronunciou ou escreveu um texto, mas o autor como princípio de agrupamento do discurso, como unidade e origem de suas significações, como foco de sua coerência.”(p.26)

Para refletirmos sobre os discursos científico e escolar, nos apoiamos mais diretamente na análise de discurso iniciada na França com trabalhos de Michel Pêcheux, linha de pensamento que no Brasil tem inúmeros trabalhos traduzidos e elaborados. Nos apoiamos principalmente nos trabalhos de Eni Orlandi.

Nessa vertente, a “linguagem”, além de suporte do pensamento e instrumento de comunicação de informações, é pensada como produto do trabalho na sociedade, ou seja, efeito de um processo histórico. E, assim considerada, dela não se pode esperar a transparência. Ou seja, não se pode assumir que haja uma relação direta entre palavras e coisas.

Já o discurso, efeito de sentidos entre locutores, é pensado simultaneamente como estrutura e como acontecimento; um processo social cuja especificidade está em que a sua materialidade é lingüística. Nele, pode-se apreender a relação entre linguagem e ideologia com a noção de sujeito como mediadora.

Quanto à “ideologia”, cabe dizer que esta é o que torna possível a relação entre palavras e coisas, ou seja, ela viabiliza a relação entre pensamento, linguagem e mundo. E assim pensada, a ideologia não é ilusão, nem falsidade, nem ocultamento, nem dissimulação do real, e tampouco visão de mundo. Segundo Orlandi¹¹, um dos pontos fortes da análise de discurso é ter re-significado a noção de ideologia, numa definição discursiva a partir da consideração da linguagem. Para a autora:

11 ORLANDI, Eni P. *Análise de discurso: princípios & procedimentos*. Campinas: Pontes, 1999. 100p.

O fato mesmo da interpretação, ou melhor, o fato de que não há sentido sem interpretação, atesta a presença da ideologia. Não há sentido sem interpretação e, além disso, diante de qualquer objeto simbólico o homem é levado a interpretar, colocando-se diante da questão: o que isto quer dizer? Nesse movimento da interpretação o sentido aparece-nos como evidência, como se ele estivesse já sempre lá. Interpreta-se e ao mesmo tempo nega-se a interpretação, colocando-a no grau zero. Naturaliza-se o que é produzido na relação do histórico e do simbólico. Por esse mecanismo – ideológico – de apagamento da interpretação, há transposição de formas materiais em outras, construindo-se transparências – como se a linguagem e a história não tivessem sua espessura, sua opacidade – para serem interpretadas por determinações históricas que se apresentam como imutáveis, naturalizadas. Este é o trabalho da ideologia: produzir evidências, colocando o homem na relação imaginária com suas condições materiais de existência. (p.45-46)

A relação apontada por Orlandi entre ideologia e interpretação vai dar margem à explicitação pela autora das noções de autoria, repetição, aprendizagem e mediação. E tendo em vista subsidiar essas noções, remetemos para a caracterização do que é considerada uma formação discursiva.

Quando se pensa as condições de produção de um discurso, estas incluem mecanismos materiais, institucionais e imaginários. E, nas relações discursivas, os mecanismos imaginários implicam em diferentes posições associadas a imagens relativas tanto aos sujeitos quanto aos objetos do discurso. Já as posições dadas em determinadas conjunturas sócio-históricas estão associadas às chamadas formações ideológicas. Do que decorre que, segundo Orlandi (1999), uma “formação discursiva” é definida como aquilo que, em dada formação ideológica, determina o que pode e deve ser dito. A autora admite que “o discurso se constitui em seus sentidos porque aquilo que o sujeito diz se inscreve em uma formação discursiva e não outra para ter um sentido e não outro.” (p.43)

Com essa noção de formação discursiva, compreende-se que, Orlandi¹² afirme que “(...) uma mesma palavra, na mesma língua, signifique diferentemente, dependendo da posição do sujeito em uma ou outra formação discursiva.”(p.12) E também que ela afirme a associação entre

12 ORLANDI, Eni P. *Paráfrase e polissemia*. A fluidez nos limites do simbólico. Rua, Campinas, n.4, p.9-19, 1998.

autoria e repetição. Pois, como a interpretação é intrínseca à linguagem, o autor, instância de formulação do discurso, interpreta necessariamente ao formulá-lo. E essa interpretação está associada à memória discursiva, ou seja, a outros discursos, os quais, por sua vez, podem estar associados a diferentes formações discursivas. Nessa linha de pensamento, a autora se refere à “repetição” com possibilidades diferentes: a “empírica”, ou simples exercício mnemônico; a “formal” associada a técnicas de formação de frases; e a “histórica”, na qual são produzidos outros dizeres, ou seja, deslizamentos em relação ao já dito.

Como conseqüência, referindo-se à escola, ela aponta uma possibilidade para a mediação escolar, supondo o que seria o “ideal” de aprendizagem; “(...) levar o aluno da repetição empírica à histórica, com passagem obrigatória pela formal já que para que haja sentido é preciso que a língua se inscreva na história.” (p.14) Dessa forma, cabe à escola interferir na relação do estudante com o repetível, criando condições para que ele trabalhe sua relação com suas filiações de sentido, com sua memória.

Em síntese, para Orlandi a aprendizagem ocorre associada à formulação do discurso, segundo o “princípio de autoria”, no qual o autor se liga à história de formulações possíveis, sem poder evitar a repetição enquanto simples exercício mnemônico, associada às técnicas de produção de frases e também com o real trabalho da memória, quando produz deslizamentos em relação ao já dito.

Partindo dessas noções, o foco das preocupações de um analista de discurso não se localiza na questão “O que isto quer dizer?” Centrado nas condições de produção do discurso, ele fará interrogações como: “De onde fala o autor?”, “Em que condições tal discurso foi produzido?”.

Tomando como base esse conjunto de noções sobre a análise de discurso, nos itens seguintes procuramos compreender os discursos científico e escolar e buscamos possíveis interfaces entre esses discursos.

O Discurso Científico

A seguinte fala de Pêcheux¹³: (...) não há “discurso da ciência” (nem mesmo, a rigor, “discurso de uma ciência”) porque todo discurso

13 PÊCHEUX, Michel. *Semântica e discurso: uma crítica à afirmação do óbvio*. Tradução por Eni P. Orlandi et al. Campinas: Editora da Unicamp, 1988.

é discurso de um sujeito (...) (p.198) parece colocar em suspensão a temática deste item. Mas apenas se não se levar em conta que o autor não está se referindo a um indivíduo concreto. Para ele, todo o discurso funciona com relação ao que chama de forma-sujeito, ao passo que o processo de conhecimento é um “processo sem sujeito.”(p.198)

E Pêcheux vai resumir suas idéias a respeito desse assunto com três pontos:

- o processo de produção dos conhecimentos é um processo sem sujeito, isto é, um processo do qual todo sujeito, como tal está ausente;
- o processo de produção dos conhecimentos se opera através das tomadas de posição (“demarcações” etc.) “pela” objetividade científica;
- o processo de produção dos conhecimentos é um “corte continuado”; ele é, como tal, co-extensivo às ideologias teóricas, das quais ele “não cessa de se separar”, de modo que é absolutamente impossível encontrar um puro “discurso científico” sem ligação com alguma ideologia. (p.198)

Esses pontos, cuja co-existência pode parecer paradoxal, tomados como base de uma posição em relação ao discurso científico, são compatíveis com a argumentação de Orlandi¹⁴ quando afirma que os fatos são sujeitos à interpretação e que a língua, na medida em que é constituída pela falha, pelo deslize, pela ambigüidade, faz lugar para a interpretação. A autora também considera que, embora nunca se deixe de tentar fazê-lo, não há como regulamentar o uso dos sentidos, e propõe que se aceite essa impossibilidade ao mesmo tempo em que se reconhece a necessidade do controle. Também admite nesse mesmo trabalho que isso não descaracteriza a especificidade do discurso científico.

Especificidade essa que Possenti¹⁵ atribui às regras de produção dos enunciados desse discurso. O autor procura argumentar contra a idéia de que o discurso científico se caracteriza por ser um discurso verdadeiro. E pensando na ciência como disciplina, sustenta-se principalmente em Foucault para dizer que os critérios de julgamento do discurso científico são diferentes dos critérios de julgamento de discursos não científicos. E diz também que, no trabalho científico ocorre a pro-

14 ORLANDI, Eni P. Leitura e discurso científico. *Cadernos Cedes: Ensino da ciência leitura e literatura*, Campinas, n.41, p.25-34, 1997.

15 POSSENTI, Sírio. Notas sobre linguagem científica e linguagem comum. *Cadernos Cedes: Ensino da ciência leitura e literatura*, Campinas, n.41, p.9-24, 1997.

gressiva eliminação do vivido pela estruturação da linguagem. Ou, em outros termos, o sistema de produção de enunciados científicos procura eliminar a subjetividade. Ou ainda, a eliminação do individual na linguagem da ciência implica a estruturação e não a objetividade absoluta.

Já Foucault¹⁶, numa discussão sobre procedimentos de controle e de delimitação do discurso, quando se refere ao autor de um discurso como princípio de agrupamento desse discurso, faz notar que existem muitos discursos que circulam sem autor. E com relação ao discurso científico, ele lembra que "... a atribuição a um autor, era na Idade Média, indispensável, pois era um indicador de verdade."(p.27) Ou seja, nesse período, uma proposição recebia seu valor científico do autor. Mas, ainda segundo Foucault: "...desde o século XVII, esta função não cessou de se enfraquecer, no discurso científico o autor só funciona para dar um nome a um teorema, um efeito, um exemplo, uma síndrome."(p.27) E ele também faz notar que essa não tem sido a tendência de todos os discursos. Citando o discurso literário, observa que com esse discurso ocorreu exatamente o oposto, ou seja:

... a partir da mesma época, a função do autor não cessou de se reforçar: todas as narrativas, todos os poemas, todos os dramas ou comédias que se deixava circular na Idade Média no anonimato ao menos relativo, eis que, agora, se lhes pergunta (e exigem que respondam) de onde vêm, quem os escreveu; ... (p.27)

As referências sobre o discurso científico, que acabamos de citar, além de evidenciarem o caráter histórico dos discursos, ou seja, suas variações com a sociedade em que são produzidos, também mostram que os produtores do discurso científico têm procurado, ao constituí-lo, eliminar a subjetividade, os sinais de quem o formula.

No item seguinte, voltamos para o discurso escolar, para em seguida refletir sobre a interface entre os discursos científico e escolar.

Discurso Escolar

Iniciamos este item a partir da obra já citada, Foucault. Com relação à educação, o autor comenta:

16 Op. Cit.

Sabe-se que a educação, embora seja, de direito, o instrumento graças ao qual todo indivíduo, em uma sociedade como a nossa, pode ter acesso a qualquer tipo de discurso, segue, em sua distribuição, no que permite e no que impede, as linhas que estão marcadas pela distância, pelas oposições e lutas sociais. Todo sistema de educação é uma maneira política de manter ou de modificar a apropriação dos discursos, com os saberes e os poderes que eles trazem consigo. (p.43-44)

Diante dessa possibilidade, de que todo o sistema de educação é uma maneira política de manter ou de modificar a apropriação dos discursos, não nos parece haver dúvida quanto ao caminho a ser tomado por um educador: a busca dos procedimentos que podem contribuir com a possibilidade de transformação, ou seja, contribuir para que cada um seja capaz, a partir de sua memória de outros discursos, de modificar aquilo que interpretou quando ouviu/leu o que lhe ensinam. Ou ainda, que o ensino propicie o que Eni Orlandi chama de mediar a passagem da repetição empírica para a histórica.

E é nessa perspectiva que nos apropriamos das noções de discurso autoritário e discurso polêmico em Orlandi¹⁷, o primeiro sendo aquele que não permite a reversibilidade e o segundo como o discurso no qual, embora controlada, a polissemia dá lugar às diferentes argumentações dos interlocutores. Sem que, para tal, haja intercambialidade, ou seja, sem que um assuma a posição do outro.

Ao falar de leituras escolares, a autora lembra que está se referindo a posições simbólicas, as posições significativas no discurso e não a posições empíricas, e afirma:

O que deve ser evitado é justamente o que eu chamo de “pretensão” intercambialidade entre aluno e professor, ou seja, o aluno não deve falar da posição-professor e o professor não pode pretender fazê-lo da posição-aluno. Limite imposto pelo jogo da alteridade: não se pode falar do lugar do outro. (p.17)

A posição simbólica, a que Orlandi se refere, é, sem dúvida, um dos múltiplos aspectos intervenientes nos discursos em circulação na escola.

17 Op. Cit. 1998.

Uma outra autora, Alice Lopes¹⁸, ao pensar no conhecimento escolar, lembra que este passa por uma seleção cultural de caráter ideológico e arbitrário, a partir de uma cultura social mais ampla, passando por processos de mediação e disciplinarização. Cultura que ela assume como: “... todo e qualquer processo de “produção de símbolos, de representações, de significados” e, ao mesmo tempo, como prática constituinte e constituída do/pelo tecido social ...” (p.68), e sendo “... essencialmente cultivo humano, que distingue o ser humano da natureza ...” (p.68)

E Lopes, ainda com respeito ao conhecimento escolar, ao mesmo tempo em que evidencia a especificidade desse conhecimento, também faz notar que ele é produzido no embate com outros conhecimentos e que a mediação, que ela chama de “mediação didática”, ocorre num “... processo de constituição de uma realidade a partir de mediações contraditórias, de relações complexas, não imediatas.

Já em Apple¹⁹, o autor se refere à esfera cultural dizendo que esta “... é mediada pelas atividades, contradições e relações específicas entre homens e mulheres concretos, como nós mesmos – à medida que se ocupam com sua vida diária nas instituições que organizam essa vida.”(p.13) Às escolas, pensadas entre essas instituições, ele associa o controle da seguinte maneira:

O controle das escolas, do conhecimento e da vida diária pode ser, e é mais sutil, pois compreende até mesmo circunstâncias aparentemente inconseqüentes. O controle é investido nos princípios constitutivos, códigos e, especialmente, na consciência e nas práticas do senso comum subjacentes a nossa vida, assim como pela divisão e manipulação econômica direta. (p.13-14)

E no desenvolvimento de suas idéias, o autor gera uma reflexão sobre o conhecimento que é efetivamente trabalhado na escola, sobre quem selecionou esse conhecimento, sobre a possibilidade de ser outro e não esse o conhecimento selecionado, sobre o que justifica sua organização de uma e não de outra maneira, sobre o grupo social a que o conhecimento é dirigido, sobre o que é e o que não é tornado acessível

18 LOPES, Alice Casemiro. L. *Conhecimento escolar: ciência e cotidiano*. Rio de Janeiro: Editora da UERJ, 1999. 236p.

19 Op.Cit., 1982.

aos estudantes. Apple lembra também que, valores sociais e econômicos já estão embutidos no projeto das instituições em que trabalhamos, no “... ‘corpus formal do conhecimento escolar’ que preservamos em nossos currículos, nas nossas maneiras de ensinar, e em nossos princípios, padrões e formas de avaliação”. (p.19) E em decorrência, para esse autor: “... uma vez que esses valores agora agem através de nós quase sempre inconscientemente, a questão não está em como se manter acima da escolha. Está, antes, em quais são os valores que se devem, fundamentalmente escolher.” (p.19) E para concluir nosso recorte de algumas idéias de Michael Apple, introduzimos aqui a afirmação que esse autor atribui a Raymond Williams: “A educação não é um produto como pão ou papel, mas sim deve ser vista como uma seleção e organização de todo conhecimento social disponível em uma determinada época.” (p.30) Seleção e organização essas que acarretam opções sociais e ideológicas conscientes e inconscientes.

Em síntese, para fechar este item, gostaríamos de assinalar que, o conjunto de comentários aqui registrados sobre o discurso escolar teve a finalidade de caracterizar a abrangência, especificidade e caráter político dos discursos formulados a partir dela e, ou, em circulação na escola.

No item seguinte, para pensarmos o discurso escolar relativo à ciência, procuraremos ter em conta estas características dos discursos escolares e também a síntese anterior sobre o discurso científico.

Discurso Escolar Relativo à Ciência

Com os subsídios dos itens anteriores, relativos ao discurso científico e ao discurso escolar, voltamos-nos agora para um discurso específico, aquele que, em situações escolarizadas, é relativo à ciência. Para tal, assumimos a noção de cultura citada no item anterior, numa perspectiva de “mediação cultural”, noção que aqui particularizamos para as práticas de sala de aula.

No entanto, o título deste item exige que se faça uma retificação: a de que, na verdade, não se pode falar genericamente da ciência; sendo que cada ciência particular possui as suas características próprias e os seus modos de produção. O que não impede que diferentes ciências sejam semelhantes em alguns aspectos, e que sejam pensados objetivos a serem alcançados como consequência do ensino escolar relativo a esses aspectos.

Assim, neste texto, admitimos que o ensino, das diferentes ciências, pode ser pensado com objetivos bastante variados, tais como, contribuir para que os estudantes: internalizem conceitos e leis previamente selecionados; adquiram modos de raciocinar, habilidades e atitudes pertinentes aos procedimentos de produção da ciência cujos conteúdos estão sendo ensinados; reconheçam as condições sociais em que determinadas leis e conceitos foram produzidos; compreendam modos de produção da ciência em questão; sejam críticos em relação a aplicações e implicações sociais dos produtos que as diferentes ciências propiciam; se sintam cada vez mais incluídos no seu tempo e melhorem a própria auto-estima pela inserção no mundo que o conhecimento propicia. E esses objetivos não são mutuamente excludentes, sendo que, cada um deles pode estar mais ou menos associado ao ensino desta ou daquela ciência, ou tópico dentro dela.

Por outro lado, se é fato que a mediação cultural relativa às diferentes ciências não se restringe às práticas escolares, a escola é indubitavelmente a instituição que melhor se presta à organização de mediações culturais sistemáticas, caso se queira pensar na maioria da população. Daí a pertinência de se buscar interfaces possíveis entre os discursos científico e escolar, o que aqui chamamos de discurso escolar relativo à ciência.

Com o propósito de encontrar interfaces, buscamos a contribuição de Gaston Bachelard²⁰. Referindo-se aos conhecimentos científico e comum, o autor diz que o mesmo fato não tem o mesmo valor epistemológico nos dois conhecimentos, pois, para ele, a ruptura entre o conhecimento comum e o científico é tão nítida que eles não poderiam ter a mesma filosofia. Segundo Bachelard:

(...) O empirismo é a filosofia que convém ao conhecimento comum. O empirismo encontra aí as suas raízes, as suas provas, o seu desenvolvimento. Pelo contrário, o conhecimento científico é solidário do racionalismo e, quer se queira quer não, o racionalismo está ligado à ciência, o racionalismo conhece uma atividade dialética que impõe uma extensão constante dos métodos. (p.260)

20 BACHELARD, Gaston. *O materialismo racional*. Trad. por João Gama. Lisboa: Edições 70, 1990. 261p.

Já, referindo-se ao ensino, Bachelard²¹ diz que “... o ‘ato de ensinar’ não se destaca tão facilmente quanto se crê, da ‘consciência’ de saber ...” (p.19), e, na mesma obra, com relação ao formalismo, tão comumente usado no ensino das chamadas ciências da natureza, às quais ele dedica essencialmente sua obra, o autor aponta que: “O hábito da razão pode converter-se em obstáculo da razão. O formalismo pode, por exemplo, degenerar num automatismo do racional, e a razão tornar-se como que ausente de sua organização” (p.21)

Já, entre os vários autores que buscaram a epistemologia de Gaston Bachelard para pensar o ensino escolar, George Snyders²² (1978) é um dos que, aparentemente, mais se deteve no par dialético continuidade-ruptura, par este coerente com a epistemologia bachelardiana. E o fez para explicitar um processo em que uma ruptura na continuidade com o saber cotidiano possibilita o salto do empírico para o abstrato. Referindo-se a Bachelard, o autor afirma que:

(...) desde que se considere um daqueles exemplos simples que o autor gosta de evocar, percebe-se que essas rupturas encontram, finalmente, uma continuidade mais profunda com a experiência do aluno. (...) Por isso mesmo, para descrever a função do professor e depois de ter consagrado tantas páginas à necessidade das rupturas, Bachelard depara, várias vezes, com termos como ‘discutir...retificar... por em ordem’, que são precisamente as expressões de uma continuidade reencontrada. (p.355-356)

A articulação das noções explicitadas nos itens anteriores, tendo em vista diferenciar os discursos científico e escolar e o apoio nas idéias de Gaston Bachelard possibilita encontrar interfaces entre esses dois discursos, como afirma Almeida²³ ao dizer que:

(...) se, por um lado, há uma ruptura entre os conhecimentos cotidiano e científico, para que esta ocorra não se pode dispensar um processo de continuidade. Caso contrário, se apagado o racionalismo docente em nome do racionalismo científico, quebra-se a

21 BACHELARD, Gaston. *O racionalismo aplicado*. Trad. por Nathanael C. Caixeiro. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1977. 244p.

22 SNYDERS, Georges. *Para onde vão as pedagogias não diretivas?* Trad por Ruth Delgado. 2ª ed. Lisboa: Moraes Editores, 1978. 374p.

23 ALMEIDA, Maria José P. M.. *Discursos da ciência e da escola: ideologia e leituras possíveis*. Campinas: Mercado de Letras, 2004. 127p.

possibilidade de mediação apoiada na intersubjetividade, ou seja, embora a ruptura com o cotidiano seja uma necessidade na apropriação do conhecimento científico, esta não pode ocorrer precipitadamente, num processo no qual, efetivamente, os mecanismos da racionalidade não sejam ativados, ou sejam apenas colocados pelos estudantes em funcionamento de maneira insignificante. (p.61)

Acrescentamos aqui que, colocadas em funcionamento as racionalidades dos estudantes e do professor, na mediação que este procura fazer do conhecimento científico, os discursos assim constituídos já não remetem exclusivamente ao conhecimento científico, pois neste conhecimento, ao menos no que concerne às ciências da natureza, como comentamos anteriormente, a tendência é de se evitar a subjetividade.

Assim, as subjetividades manifestadas pelos interlocutores em aula, com a mediação de conhecimento pelo professor, faz com que, necessariamente, ocorra uma diferenciação entre o conhecimento científico e o que estamos chamando de conhecimento escolar relativo à ciência. Este último mantendo interfaces com o primeiro, inclusive na busca de rompimento com aspectos do saber cotidiano num processo de continuidade que visa chegar à ruptura através da mediação docente, possibilitando aos estudantes alcançarem objetivos como os que enunciávamos no item anterior.

CONSIDERAÇÕES SOBRE LEITURA E ESCRITA

Para nós é extremamente difícil pensar objetivamente em letramento ou em seu oposto, a comunicação oral apenas por palavra falada, a “oralidade”. Na sociedade ocidental moderna, o analfabetismo é de fato uma severa deficiência. O mundo moderno é inconcebível sem a palavra escrita, o analfabeto é excluído. Analfabetismo, numa cultura tão dependente da sabedoria acumulada em livros, equivale a atraso e barbárie. Para a maioria das pessoas que lêem com toda a facilidade, a aplicação e os usos da escrita parecem óbvios e inevitáveis, de modo que é difícil imaginar um mundo onde não sejam centrais. (Rosalind Thomas)

Com o olhar de quem se propõe a compreender a oralidade e o letramento na Grécia antiga a autora²⁴ dessa epígrafe nos alerta para o fato de que, se considerarmos letramento como a capacidade de ler e escrever, fica a pergunta: ler e escrever o quê? Os exemplos da autora incluem passagens curtas de textos escritos ou preencher formulários, ou ainda compreender livros. E aqui cabe a pergunta: que livros? Certamente não se lê ou escreve tudo da mesma maneira, ou seja, existem muitos graus de habilidades e contextos de leitura e de escrita. É preciso considerar o que está sendo lido ou escrito, além de se ter em conta que a própria valorização social do letramento tem sido diferenciada em diferentes sociedades. A autora, inclusive, se refere ao fato de que ler e escrever são processos distintos.

Alguns trechos da literatura de ficção também evidenciam a relevância que a nossa cultura dá à escrita e à leitura e podem nos ajudar

²⁴ THOMAS, Rosalind. *Letramento e oralidade na grécia antiga*. Trad. por Raul Fiker. São Paulo: Odysseus, 2005, 274p.

a compreender suas dimensões. Vejamos, por exemplo, como Jorge Luis Borges²⁵ iniciou uma aula para a qual havia sido convidado na Universidade de Belgrado:

Dos diversos instrumentos utilizados pelo homem, o mais espetacular é, sem dúvida, o livro. Os demais são extensões de seu corpo. O microscópio, o telescópio são extensões de sua visão; o telefone é a extensão de sua voz; em seguida temos o arado e a espada, extensões de seu braço. O livro, porém, é outra coisa: o livro é uma extensão da memória e da imaginação. (p.13)

O autor não só enaltece o livro dessa maneira, como, no prefácio desse mesmo livro no qual escreveu o texto citado, afirma não poder imaginar a sua vida sem esse instrumento – o livro.

Já o prêmio Nobel de literatura, José Saramago, manifesta uma posição bastante interessante sobre escrita e oralidade através da fala de um de seus personagens²⁶:

Escrevo a mesma coisa de duas maneiras diferentes, para ver se numa delas acerto melhor: está dito, e, contudo, não basta. Não é exato, porém, que não tenhamos falado muito. Mas escrever (ai está o que eu já aprendi) é uma escolha, tal como pintar. Escolhem-se palavras, frases, partes de diálogos, como se escolhem cores ou se determina a extensão e a direção das linhas. O contorno desenhado de um rosto pode ser interrompido sem que o rosto deixe de o ser: não há perigo de que a matéria contida nesse limite arbitrário se esvaia pela abertura. Pela mesma razão, ao escrever, se abandona o que à escrita não serve, ainda que as palavras tenham cumprido, na ocasião de serem ditas, o seu primeiro dever de utilidade: o essencial fica preservado nessa outra linha interrompida que é escrever. (p.264)

Se tivermos em conta a posição contida nessa fala, fica bem presente a diferenciação entre a escrita e a oralidade nos significados do que se diz/escreve. E, num outro livro²⁷, também através da fala de seus personagens, no caso, dois dialogando, Saramago introduz a questão da interpretação diferencial de pessoa para pessoa.

25 BORGES, Jorge L. *Cinco visões pessoais*. Trad. por Maria Rosinda R da Silva. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 4 ed., 2002. 73p.

26 SARAMAGO, José. *Manual de pintura e caligrafia*. São Paulo: Companhia das Letras, 1992. 277p.

27 SARAMAGO, José. *A caverna*. São Paulo: Companhia das Letras, 2000. 350p.

Vivi, olhei, li, senti, Que faz aí o ler, Lendo, fica-se a saber quase tudo, Eu também leio, Algo portanto saberás, Agora já não estou tão certa, terás então de ler doutra maneira, Como, Não serve a mesma para todos, cada um inventa a sua, a que lhe for própria, há quem leve a vida inteira a ler sem nunca ter conseguido ir mais além da leitura, ficam pegados à página, não percebem que as palavras são apenas pedras postas a atravessar a corrente de um rio, se estão ali é para que possamos chegar à outra margem, a outra margem é que importa, A não ser, quê, A não ser que esses tais rios não tenham duas margens, mas muitas, que cada pessoa que lê seja, ela, a sua própria margem, e que seja sua e apenas sua, a margem a que terá de chegar, (p.77)

E é com o historiador Roger Chartier²⁸, citando Michel de Certeau que de maneira sintética julgamos poder colocar a questão da diferenciação das leituras, e também da escrita.

A leitura é sempre apropriação, invenção, produção de significados. Segundo a bela imagem de Michel de Certeau, o leitor é um caçador que percorre terras alheias. Apreendido pela leitura, o texto não tem de modo algum – ou ao menos totalmente – o sentido que lhe atribui seu autor, seu editor ou seus comentadores. Toda história da leitura supõe, em seu princípio, esta liberdade do leitor que desloca e subverte aquilo que o livro lhe pretende impor. Mas esta liberdade leitora não é jamais absoluta. Ela é cercada por limitações derivadas das capacidades, convenções e hábitos que caracterizam, em suas diferenças, as práticas de leitura. Os gestos mudam segundo os tempos e lugares, os objetos lidos e as razões de ler. Novas atitudes são inventadas, outras se extinguem. Do rolo antigo ao códex medieval, do livro impresso ao texto eletrônico, várias rupturas maiores dividem a longa história das maneiras de ler. Elas colocam em jogo a relação entre o corpo e o livro, os possíveis usos da escrita e as categorias intelectuais que asseguram sua compreensão. (p.77)

28 CHARTIER, Roger. *A aventura do livro* do leitor ao navegador. Trad. por Reginaldo C. C. de Moraes. São Paulo: Editora da UNESP e Imprensa Oficial, 1998. 159p.

SEGUNDA PARTE
MEDIAÇÕES ESCOLARES

CONSIDERAÇÕES SOBRE ESCRITA E LEITURA NA ESCOLA

Entre as possibilidades da escrita, citamos algumas: a comunicação, a expressão de sentimentos, o relato de fatos históricos, a transcrição e reflexão de vivências cotidianas, a produção de conhecimentos em diferentes áreas. Narrativas, poesias, contos, romances, crônicas, críticas, biografias, cartas e bilhetes, são apenas alguns dos gêneros possíveis.

Como justificar que alguém não tenha acesso a esse universo de possibilidades? Como se forma um escritor? A quem cabe estimular essa habilidade? E de que forma? Qual é o papel da escola nessa formação?

No ensino escolar as atividades que envolvem a escrita algumas vezes envolvem apenas o exercício mecânico de reprodução de idéias sem que ocorra propriamente elaboração e reflexão pelos estudantes. Isso ocorre, entre outras situações, quando eles: respondem perguntas de um questionário que exigem apenas a mera transcrição de um texto base; preenchem lacunas em exercícios propostos para reforçar o conteúdo; copiam da lousa sínteses colocadas pelo professor. Quanto à elaboração associada à escrita, quase sempre são pedidas apenas redações, pelo professor de língua portuguesa.

Já os Parâmetros Curriculares Nacionais PCNs²⁹ das ciências naturais do ensino fundamental nos 3º e 4º ciclos mencionam que a aprendizagem da escrita, não se restringe apenas à área de língua portuguesa

29 BRASIL, Secretaria de Educação Fundamental. Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Fundamental/Ciências Naturais. Brasília, MEC/SEF, 1998, 138p. Em 31/08/2007, <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>

e dão sugestões de várias atividades ao longo do documento, inclusive nas questões relacionadas à leitura. Essa atenção também é dada no 1º e 2º ciclos, quanto à organização e registro de informações por intermédio de desenhos, quadros, esquemas, listas e pequenos textos. E também os parâmetros para o ensino médio referentes às ciências da natureza, matemática e suas tecnologias dão bastante ênfase a questões de linguagem. Assim, no que se refere a recomendações incluídas nos parâmetros, as várias instâncias reconhecem a importância da leitura e da escrita. No entanto os PCNs são apenas sugestões, de caráter bastante genérico.

PARA PENSAR A ESCRITA E A LEITURA NAS CIÊNCIAS

Pensamos na escrita visando compreender seu funcionamento no ensino da ciência, tendo em vista a possibilidade de propô-la como uma atividade que pudesse contribuir para a constituição e expressão de pensamentos no ensino escolar. Não pretendíamos formar escritores em aulas de ciências, mas acreditávamos que ao estimular a escrita podíamos estar caminhando na direção do prazer e da valorização do ato de escrever, envolvendo nesses objetivos: intenções relacionadas à autoria e autonomia dos estudantes.

Para Olson³⁰:

... a escrita é uma forma particular de representação e, como princípio geral, uma representação nunca equivale à coisa representada. Se é assim, pensar nas representações escritas como transparentes ou neutras é um erro grave. (p.78-79)

Outro ponto de interesse levantado por Olson em sua obra refere-se à história da leitura. Para ele, a escrita não determina completamente a leitura, porque num determinado enunciado, apesar das palavras serem as mesmas, cada um lê de maneira diferente, isto é, à sua própria maneira. Com isso, pode-se concluir que a escrita representa parte do sentido, seria ilusão pensá-la como modelo da fala, pois uma frase falada em tom irônico é escrita da mesma forma que a frase dita num tom sério. A forma gráfica, portanto, não determina completamente a interpretação.

30 OLSON, David. O mundo no papel: as implicações sociais e cognitivas da leitura e da escrita. São Paulo: Ática, 1997.

Nesse sentido, buscamos algo diferente que pudesse proporcionar ao aluno maior satisfação ao escrever, principalmente por não haver a necessidade de reproduzir fielmente as palavras corretas e únicas do professor ou do material didático, mas permitindo a manifestação mais livre do pensamento. Esperamos com isso, contribuir para a demarcação de uma outra maneira de encarar o papel da escrita na escola e principalmente no ensino das ciências.

Para fugirmos dos trabalhos intuitivos e aleatórios envolvendo a escrita, julgamos necessário um dispositivo analítico coerente com nossas preocupações e para isso recorreremos à Análise de Discurso a partir de aportes encontrados principalmente em textos de Eni Orlandi. Tendo em conta que nesta vertente a escrita não é apenas um instrumento, mas lugar de constituição de relações sociais, no planejamento que organizamos para trabalhar com os estudantes, concebemos a escrita como uma atividade que pode criar condições para a re-significação dos sujeitos, neste caso do estudante.

Nos estudos realizados, apesar do foco ser o ensino, não nos limitamos às metodologias de trabalho, pois julgamos que tal confinamento pode expressar a idéia de que os problemas do ensino e da aprendizagem se limitam a questões metodológicas. Nossa opção valoriza aspectos como as condições de produção, que permeiam a elaboração da escrita e sua análise no trabalho com determinados conteúdos.

Nas aulas ministradas, foram requisitadas produções de textos escritos durante ou ao final das unidades estudadas. Parte desse material foi analisado, com o objetivo de identificarmos princípios de autoria na escrita. Procuramos identificar deslocamentos no processo de pensamento dos estudantes e notar as contribuições do fato de lhes ter sido solicitado que escrevessem de maneira mais livre do que as respostas cobradas quando eles realizam provas na escola.

Como subsídio para elaboração e análise das atividades, recorreremos a um texto de Eni Orlandi em que a autora trabalha a idéia de autoria, a sua obra *Interpretação*³¹. Nesse sentido, buscamos indícios da passagem da “repetição empírica”, quando o estudante exercita a

31 ORLANDI, Eni. *Interpretação; autoria, leitura e efeitos do trabalho simbólico*. Petrópolis: Vozes, 1996. 150p.

memória para dizer apenas aquilo que o professor ou o livro já havia dito (num mero exercício mnemônico), para a “repetição histórica”, ou seja, quando há incorporação de sentido próprio do aluno à memória constitutiva, isto é, o aluno passa a assumir o discurso como seu, a autoria. Entre essas duas repetições há uma intermediária, a “repetição formal”, na qual o estudante explicita as mesmas idéias vistas nas aulas, mas com uma outra roupagem, ou seja, repete o que foi dito com outras palavras. Este último tipo de repetição, segunda a autora, é a mais comum em situações escolares.

Associado à noção de repetição usamos na análise dos textos escritos pelos estudantes o duplo conceito de continuidade e ruptura, baseado no trabalho de Gaston Bachelard e comentado na primeira parte deste livro. Essa noção nos possibilita admitir, na continuidade, um certo movimento do pensamento duma representação anterior, rumo à superação de um obstáculo, quando o estudante rompe com aquela representação e se apropria de uma nova concepção.

Num outro texto de Orlandi³², buscamos argumentos favoráveis ao uso da escrita. Para essa autora, na cultura ocidental praticamente não existe oralidade; às vezes pensamos estar na oralidade, como no caso de uma missa, do jornal de televisão, de uma aula expositiva, mas na verdade são casos de “oralização” da escrita. E segundo Orlandi:

A escrita, numa sociedade de escrita, não é só instrumento, ela é estruturante. Isso significa que ela é lugar de constituição de relações sociais, isto é, de relações que dão uma configuração específica à formação social e aos seus membros. A forma da sociedade está assim diretamente relacionada com a existência ou a ausência da escrita. (p.7-8)

Sendo a análise do discurso inscrita num quadro em que se articula o lingüístico com o social, mobilizando questões referentes à constituição do sujeito e do sentido e também tendo em vista que estão em jogo de maneira ampla as condições de produção dos enunciados, levamos em consideração essas condições para adentrar nas categorias

32 ORLANDI, Eni Reflexões sobre a escrita, educação indígena e sociedade. Escritos. Campinas: LABEURB, n.5, 1999, p.7-22.

que permeiam os textos produzidos. A repetição ou paráfrase, e a multiplicidade dos sentidos ou polissemia, constituem o eixo estruturante do funcionamento da linguagem.

A proposta da análise do discurso é considerar a relação da linguagem com a exterioridade, as condições de produção, isto é, o falante, o ouvinte, o contexto da enunciação, e o contexto histórico-social, o ideológico. Assim, ocorre o deslocamento das noções de social e de ideologia, sendo o social representado por relações imaginárias que funcionam no discurso, ou seja, a imagem que se faz de um professor, de um aluno, de uma mãe etc. Já a ideologia está representada no interdiscurso que são os discursos já produzidos que o sujeito tem na memória, mas que estão esquecidos dando a ilusão de que o sujeito é origem de seu discurso. O efeito ideológico aparece na atividade interpretativa, pois quando o sujeito fala, para ele é como se os sentidos estivessem nas palavras, apagam-se nesse momento as condições de produção e a exterioridade que as constituem. No texto citado de 1996, Orlandi afirma que “..., na ideologia não há ocultação de sentidos (conteúdos), mas apagamento do processo de sua constituição.”(p.66) Devido à dimensão imaginária existe a ilusão de que linguagem, pensamento, e mundo relacionam-se termo a termo, o que produz o efeito ilusório de que a linguagem e os sentidos são transparentes, dando a impressão de que atravessando as palavras se chega aos seus conteúdos, ignorando os deslizamentos e equivocidades próprias à linguagem humana.

Assim, para a análise do discurso, a língua não é abstrata, ou seja, ideologicamente neutra, nem apenas um código; ela não é transparente e nem totalmente autônoma. Deste modo trabalhando com a relação sujeito-linguagem-história essa disciplina admite que a língua tem sua materialidade - a história e o corpo simbólico. Assim também a história não é transparente, pois os fatos reclamam sentido, sendo este também um produto do deslizamento daqueles. Muito menos o sujeito é transparente, pois é afetado pelo inconsciente. Portanto a tarefa da análise do discurso é compreender como o simbólico faz sentido, como ocorre seu funcionamento numa dada situação.

Assim, o sentido não é dado “a priori”, mas constituído no discurso e considerado em relação a..., pois, as palavras mudam de sentido confor-

me a posição de quem as emprega, isto é, tomam sentido em referência às formações ideológicas. Por exemplo, um operário dizendo do lugar de empregado é diferente de um operário que fala da posição do patrão. As posições assumidas no discurso, e não o lugar social, determinam a interpretação. E, a interpretação acontece, mesmo sem que se perceba, já que a linguagem não é transparente. Em outras palavras, dizer um fato não é o próprio fato, pois se fosse, significaria apagar o espaço da interpretação. A linguagem é opaca e incompleta, não havendo sentido em si, naquilo que foi dito, pois a interpretação desloca sentidos, desconstruindo os efeitos do já dito em direção a uma outra significação.

Ainda remetendo à mesma obra de Orlandi, o dizer é aberto, não tem começo nem fim, pois, o sentido está em curso, embora os sentidos pareçam se fechar e serem evidentes. E mesmo a reflexão sobre o silêncio permite compreender a incompletude, como algo que não se fecha, e que também é constitutiva da linguagem. Ou ainda: “é pelo discurso que melhor se compreende a relação entre linguagem/pensamento/mundo, porque o discurso é uma das instâncias materiais (concretas) dessa relação.”(p.12) Orlandi também coloca a autoria como algo que a escola deve procurar desenvolver. Para ela a posição-autor se faz na constituição da interpretação, pois o autor não pode dizer coisas que não tenham sentido, o que mostra sua relação com o interdiscurso. E, além de fazer sentido, este deve ser para um interlocutor determinado, que faz parte de suas formações imaginárias.

Assim, ao procurarmos explicitar os mecanismos de funcionamento do discurso, estamos atentando para a construção de significados próprios dentro de uma trama de outros textos, falas, conceitos e definições.

De um texto de outro autor, Maingueneau³³, registramos o aspecto do lugar de onde se fala e, portanto, de onde se escreve, o que determina a identidade de cada indivíduo, sendo que este também ao enunciar garante sua autoridade institucional. Esta posição de onde fala o sujeito seria o lugar encenado no discurso, sendo a encenação uma das formas do real o qual só é acessado através do discurso.

33 MAINGUENEAU, Dominique. *Novas tendências em análise de discurso*. Tradução por Freda Indursky. Campinas: Pontes, 1989, p. 29-51.

Outra idéia discutida por esse autor é a do gênero do discurso, ou seja, diálogo, editorial, científico, manifesto, diário, carta, panfleto etc., que relacionado ao lugar e época da enunciação, implica em pensar nas condições da enunciação e no estatuto assumido pelo enunciador. Desta forma o gênero é mais um elemento que legitima o lugar enunciativo.

Segundo esse autor, os enunciados estão associados a certos gêneros de discurso, que implicam em condições de diferentes ordens, que para a análise do discurso constituem coerções, e:

... os gêneros encaixam-se freqüentemente uns nos outros. ... se há gênero a partir do momento que vários textos se submetem a um conjunto de coerções comuns e que os gêneros variam segundo os lugares e as épocas, compreender-se-á facilmente que a lista dos gêneros, seja por definição, indeterminada. (p.35)

Ainda segundo Maingueneau, para a análise do discurso, as formações imaginárias, ou seja, as imagens projetadas no discurso, são perceptíveis ao se levar em conta que a escolha de um gênero para desenvolver a escrita está relacionada ao lugar enunciativo, à época de enunciação e às condições de comunicação.

Nas atividades realizadas com os estudantes valorizamos a escolha por parte do aluno de um dos seguintes gêneros: carta, diário, pequenas histórias ou relato. E, ao trazermos as colocações de Maingueneau para interpretar os discursos presentes no ensino tornam-se presentes elementos como a posição do enunciador, espaço e tempo do discurso, a voz, o tom e o gênero deste, que possibilitam entender aspectos que permeiam ações e discurso dos estudantes e dos professores. Por exemplo, notamos a importância de estar dando voz ao aluno através das mais variadas formas participativas, ou seja, em avaliações diferenciadas, debates, seminários, trabalhos em grupos, problematizações, entre outras.

E continuando com aportes teóricos que nos auxiliam a pensar a escrita e a leitura nas ciências, nos referimos agora a Alan Chalmers³⁴ numa análise epistemológica sobre a produção da ciência, enfoca “o ato de ver”:

34 CHALMERS, Alan F, *O que é a ciência afinal?* Tradução por Raul Fiker. São Paulo: Brasiliense, 1993. 225p.

Dois observadores normais vendo o mesmo objeto do mesmo lugar sob as mesmas circunstâncias físicas não têm necessariamente experiências visuais idênticas, mesmo considerando-se que as imagens em suas respectivas retinas possam ser virtualmente idênticas. (p.48)

Em outras palavras, quando pensamos no observador, apesar dos estímulos físicos serem os mesmos, o contato perceptivo não o é, pois depende da história de vida, do conhecimento atual e das expectativas de cada um, que certamente não são as mesmas. Portanto o que vemos não depende só dos órgãos da visão, é constituído em nossas mentes, dependendo da interpretação de cada um. É como se o presente, o passado e o futuro se fundissem em cada indivíduo, que, apesar de construído socialmente, é único e, por isso, suas interpretações podem ser diferenciadas.

Mesmo numa dada cultura e num dado momento histórico-cultural, a leitura de um poema, a observação de um quadro ou ouvir uma música podem ser interpretados de formas diferenciadas. Isso não quer dizer que nossas interpretações nada têm a ver com o que vivenciamos. Se assim fosse, a comunicação entre as pessoas seria impossível. Há, portanto, o fato dos sentidos terem sua história, havendo, dessa forma, uma sedimentação desses sentidos, que depende das condições de produção da linguagem, sem que esses sentidos sejam totalmente estáveis, conforme explicita Eni Orlandi³⁵

Essas condições de produção da linguagem estão no cerne da construção dos sentidos. A criança nasce num mundo formado pelos adultos, e ela vai aprendendo a se apropriar da cultura. Essa apropriação não é mecânica, o sujeito atua e interage com o meio. Segundo Vigotsky³⁶:

Os significados das palavras evoluem... a palavra é primeiramente uma generalização do tipo mais primitivo; à medida que o intelecto se desenvolve, é substituída por generalizações de um tipo cada vez mais elevado... (p. 71)

O fato parece ser bastante óbvio quando pensamos em palavras como “manga”, que tanto pode se referir à manga de uma camisa e/ou

35 ORLANDI, Eni P. *Discurso e leitura*. Campinas: Cortez, 1988. 118p.

36 VYGOTSKY, Lev S. *Pensamento e Linguagem*. São Paulo: Editora Martins Fontes, 1987. 135p.

a uma fruta. O que gostaríamos de ressaltar é que essa ambigüidade da palavra “manga” é um exemplo de equívoco³⁷, que é próprio e constitutivo da língua, passível de existir em todas as palavras. Dessa forma, podemos afirmar que todos os textos estão sujeitos a esses equívocos, a gestos de interpretação dos sujeitos, e é isso que produz o sentido.

Michel Pêcheux³⁸ nos remete aos equívocos, não como “enganos”, mas sim como possibilidades de “deslocamentos” de sentidos que as palavras proporcionam por ser próprio da natureza da linguagem a construção de diferentes sentidos, isto é, a “polissemia”.

Desse ponto de vista, é necessário dizer da inevitabilidade da existência das metáforas, pois elas fazem parte do jogo da língua. Sendo assim, por causa delas é que a polissemia existe. E nos diferenciamos uns dos outros quando nos filiamos a redes de sentidos em nossa “memória discursiva”.

Nesse caminho, dependendo do contexto, esses sentidos podem funcionar de forma diferenciada, pois dependem dessas interações com o meio. Diferentemente de um dicionário, com o significado lexical da palavra, os sentidos podem ser construídos pelas pessoas com incursões em outros contextos. Portanto, a interpretação de um texto (oral, escrito, imagético, corporal, entre outros), depende das interações das pessoas com esse texto.

Em síntese, na perspectiva da análise de discurso, o “discurso é efeito” de sentidos entre interlocutores, e toda leitura constitui-se como interpretação e não somente decodificação. Ou seja, diferentes leituras de um mesmo texto podem ter sentidos diferentes. Ou ainda, os sentidos não estão dados, para serem apenas decodificados, mas são construídos no ato do discurso.

Uma outra noção de grande relevância para se pensar a escrita e a leitura é a de retórica. E no que se refere a essa noção, interessa-nos a contribuição do que ocorre em sala de aula nas manifestações dos estudantes, e acreditamos que essa contribuição é

37 Equívoco no sentido de Pêcheux, não como um engano, mas sim com as possibilidades de deslocamento de sentidos.

38 PÊCHEUX, Michel. *O discurso: estrutura ou acontecimento*. Trad. por Eni P. Orlandi. Campinas: Pontes, 1993. 68p.

explicitada por Isabel Martins³⁹ quando a autora nos remete para a seguinte noção de retórica:

Retórica significa a articulação de diferentes modos de comunicação como linguagem, imagens, gestos, etc, de forma a produzir relatos que objetivam instigar o interlocutor a considerar uma nova visão de mundo. Esta noção de retórica inclui, portanto, análises do papel da argumentação e de processos através dos quais o conhecimento é comunicado, ensinado e legitimado. (p.24)

39 MARTINS, Isabel. Retórica, ciência e ensino de ciências. In ALMEIDA, Maria José P.M. e SILVA, Henrique C. (orgs.) *Textos de palestras e sessões temáticas III encontro linguagens, leituras e ensino da ciência*. FE/UNICAMP. 2000, p.23-30.

EPISÓDIOS DE ENSINO

Todos os episódios de ensino que apresentamos a seguir ocorreram em classes de oitava série do ensino fundamental em escolas públicas.

Mostramos neste item algumas situações, ocorridas em sala de aula, que evidenciam mediações da professora. Acreditamos que mediações desse tipo contribuem para os deslocamentos que podem ocorrer com os estudantes em situações de ensino. Algumas aulas foram filmadas e isso nos possibilitou a extração dos episódios que aqui comentamos, nos quais nos referimos à professora como “P” e aos alunos como “A”.

Episódios I - A professora busca incentivar a participação dos alunos durante a explicação dos conteúdos ou correção de exercícios.

P: “A planta trabalha com a faixa de luz visível. Ela vai usar essa faixa para fazer a transformação. Cada cor que forma a luz branca tem um comprimento de onda diferente. O que é mesmo comprimento de onda?”

A: “É a medida de uma onda que faz assim (aluno faz movimentos ondulatórios)”

.....

P: “Eu quero saber em que condições eu posso ver uma camisa vermelha?”.

A1: “Dona, na claridade, tem que ter uma camisa vermelha (gesticula apontando para um aluno que está de blusa vermelha)”

A2: “Luz vermelha e camisa branca”

P: “Então se tivermos uma luz vermelha que cor tem que ser a camisa?”

A1: “Branca”

A2: “Vermelha”.

Vários alunos confirmam que, nos dois casos a camisa será vermelha.

Episódio II - A professora dá ênfase às falas dos alunos, repetindo-as para que todos possam ouvi-las e vai avançando na formulação de questões:

- P: “Quando colocamos esterco no solo o que acontece com ele?”
A: “Decomposição”
P: “Veja, o Hugo disse que ele vai se decompor. E o que é isso?”
A: “Vai atacar fungo e bactérias e desmanchar”
P: “Tá, fungos e bactérias vão atacar e devolver os componentes para o solo. E quais são eles?”
A: “Hidrogênio, nitrogênio”
P: “Então essa transformação de fezes em hidrogênio e nitrogênio é (fenômeno) físico ou químico?”

Episódios III - Professora manifesta preocupação com a adequação da linguagem utilizada pelos alunos em suas falas:

- A: “A lente convergente pode concentrar toda a luz solar”
P: “Toda a luz solar?”
A: “Bem, toda não aquela que passar pela lente”
.....
P: “Vocês disseram que a luz se afasta da normal. E o que isso significa para alguém que não sabe nada sobre física?”
A: “É difícil né?! Fica melhor dizer que a luz se espalha”
.....
P: “O que vai acontecer com a semente depois de enterrada?”
A: “Vai crescer”.
P: “Se a semente crescer, ficará uma semente desse tamanho (gesticula fazendo um círculo com os braços). Qual o termo mais adequado?”
A: “Vai germinar”

Episódio IV - Professora retoma nas explicações trechos dos vídeos assistidos ou dos textos lidos pelos estudantes:

- P: “Bem, para responder essa questão (O que aconteceria se a luz emitida pelo sol fosse verde? E os alunos responderam que enxergariam todos os objetos da cor verde) vamos lembrar um pouco do que já estudamos. Por que a gente consegue ver todas as cores, então? Ele de camisa azul, ela de vermelho, ele de verde”
A: “Por causa da luz, ela está refletindo e as cores vem.”
P: “O que acontece com essas cores que vem? O que o vídeo mostrou sobre isso?”
A: “Elas se juntam, se tornam branca.”

- P: “Tá e no vídeo quais eram as cores de cartão que o menino do vídeo segurava?”
- A: “Vermelha, azul e verde”
- P: “E quando a luz branca incidia no cartão vermelho que cor o menino ficava?”
- A: “Vermelho”. Professora repete a pergunta com as outras cores e alunos respondem.
- P: “Então agora vamos pensar nas folhas das plantas, como vocês leram no texto. As cores estão chegando na folha, ela absorve todas as cores menos o verde. E se a luz do sol fosse verde, elas fariam fotossíntese? Tudo seria verde como vocês disseram, mas o que aconteceria às plantas?”
- A1: “As plantas iriam morrer, porque elas não teriam luz para fazer a fotossíntese”.
- A2: “Não, a cor da luz não altera em nada a planta”
- P: “Quem concorda com o Hugo? E com o Eduardo?”

ÊNFASE NA ESCRITA: PRODUÇÕES DOS ESTUDANTES⁴⁰

As análises apresentadas neste item referem-se a respostas escritas fornecidas por estudantes de oitava série do ensino fundamental e tomam por base um questionário inicial no qual lhes foi perguntado o que era a “luz”. Nessas análises procuramos elementos que relacionassem “a escrita” com deslocamentos nos enunciados dos alunos. E para isso, apoiamo-nos: na possibilidade de autoria, entendida como repetição empírica, formal ou histórica; no duplo conceito continuidade-ruptura e em noções sobre gênero e retórica, conforme já nos referimos a essas noções.

Entre as atividades desenvolvidas ao longo de um ano, destacamos quatro solicitações aos estudantes, as quais serão aqui focalizadas seqüencialmente. A primeira delas foi a resposta a uma questão formulada em situação de avaliação do tipo prova (I). As produções escritas pelos estudantes constaram de respostas a uma questão formulada em situação de prova dois meses após o início das aulas. A questão pedia que os estudantes montassem um pequeno texto referente à luz usando as noções de reflexão, refração, onda, partícula, lentes, espelhos e instrumentos ópticos.

A segunda produção refere-se a uma situação problemática, e as outras duas contemplaram exposições de conhecimentos solicitadas após o trabalho com determinados sub-temas estudados. Quanto ao

⁴⁰ Exemplos pensados principalmente a partir do estudo citado na nota 2.

gênero das solicitações, além da prova que constituiu a primeira solicitação, nas outras três foi pedido aos estudantes que escrevessem na forma de carta, ou diário, ou relato ou conto.

O segundo texto (II) foi de trabalho realizado dois meses após o primeiro. Os alunos produziram o texto a partir da seguinte situação:

Imagine que você é um dos últimos sobreviventes do planeta e precisa procurar outro lugar para viver, pois devido às inúmeras explosões atômicas durante a 3ª Guerra Mundial, o mundo se tornou inabitável. O cenário é caótico e desolador, pois o planeta está arrasado. Apesar disso, você está embarcando numa espaçonave, indo para um pequeno planeta que pode ser repovoado, pois encontra algumas condições parecidas com o nosso ex-planeta Terra, tais como temperatura e água líquida (metade de sua superfície é recoberta por água).

Além dessas características, o “novo” planeta não possui nenhum tipo de ser vivo. Devido à presença de gases em sua atmosfera, a luz do sol chega como se tivesse atravessado um prisma que decompõe a luz branca, refratando os diferentes comprimentos de onda em diferentes regiões da superfície. Desses gases presentes na atmosfera não há a presença do oxigênio.

O problema é que você precisa decidir qual a bagagem necessária, pois há um limite de peso e espaço para a carga da espaçonave (1 tonelada ou 1000 quilogramas).

A sua responsabilidade é muito grande porque dependem de você o futuro da espécie humana, já que a decisão do que é preciso levar é importantíssima!!!!!! Além de seus objetos pessoais você deve levar coisas que possam colaborar para o repovoamento de um planeta.

Diante deste cenário imaginário, escreva um texto num estilo que você vai escolher levando em conta seus conhecimentos. Você deverá utilizar sua imaginação e criatividade e poderá contar sua história de diferentes formas escrevendo: uma carta a um amigo ou um artigo de jornal ou um diário de bordo ou um relato de sua aventura ou ainda uma pequena estória (conto).

No terceiro texto (III), elaborado já no segundo semestre do ano letivo, três meses após o segundo, foram solicitadas noções a respeito de luz. Foi solicitado que os estudantes utilizassem conceitos revisados em aula, redigindo uma carta, ou um diário, ou um conto,

ou um artigo de jornal, ou um relato ou ainda outro gênero que eles preferissem, a critério de cada um.

O texto (IV) foi produzido pelos estudantes dois meses depois, com características semelhantes ao texto III, mas sobre o conteúdo “Energia Térmica”.

A análise das produções dos estudantes mostrou que ao longo do ano elas foram tornando-se cada vez mais longas, e puderam ser identificados alguns deslocamentos qualitativos nas manifestações sobre aspectos dos conteúdos de ciências trabalhados em aula.

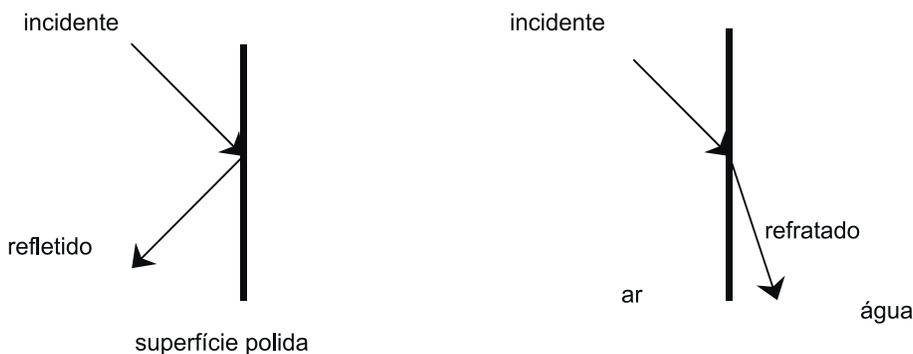
No início as produções eram bastante restritas, mas com a realização de vários textos os estudantes aparentemente foram ganhando segurança e ficando mais à vontade para expressarem seus conhecimentos. Alguns alunos criaram pequenas histórias muito interessantes e a maioria optou pela carta. Talvez devido ao fato da professora ter apresentado um exemplo quando pediu o texto II. Também é possível que fosse o gênero mais conhecido dos alunos.

Uma aluna que aqui será chamada de Fabiana chamou a atenção da professora pela criatividade e pelos deslocamentos nos conceitos estudados. No primeiro texto produzido por essa aluna numa situação de avaliação tipo prova, foram expostos três conceitos (reflexão, refração, teoria sobre onda), sendo que apesar de estarem em um único parágrafo, ela não estabeleceu ligação entre eles. Definiu reflexão e refração da forma como havia visualizado na aula com atividades práticas, escrevendo:

reflexão pode ser feita assim: um feixe de luz bate em um espelho e volta para o lugar onde o espelho está apontando refletindo uma imagem. Refração: o feixe de luz passa por um vidro ou água, mudando a sua direção. Onda é um feixe de luz que viaja pelos espaços.

A nosso ver, aqui, já ocorreu uma repetição formal, já que ela exercita a memória para dizer aquilo que havia visualizado, não há deslizamento de sentidos, no entanto elabora uma definição bastante própria em sua linguagem. Podemos observar a influência exercida pelas imagens observadas no manuseio com um dispositivo simples, a que chamamos

de projetor de fendas⁴¹, com o qual os estudantes puderam incidir feixes de luz em diferentes tipos de lentes, espelhos e prisma, podendo observar a reflexão e a refração dos feixes luminosos. Também se apóia nos esquemas gráficos representados na lousa pela professora, como os seguintes:



No terceiro e quarto textos, a aluna apresentou uma notável superação de seu estágio anterior, operando todos os conceitos propostos além de articulá-los coerentemente. Somou-se a isto a forma literária de exposição de seus conhecimentos sobre energia luminosa e energia térmica. Apesar de ser possível reconhecermos certa repetição empírica no que escreveu, podemos notar também a repetição histórica, pois ela produziu nestes textos deslizamentos de sentidos e situações, aparentemente com efeitos metafóricos em sua apropriação do saber científico. Repetição histórica que pode ser reconhecida quando notamos que Fabiana incorpora sentido próprio à memória constitutiva, isto é, ela conseguiu esquecer quem disse e passou a assumir o discurso como seu.

Exemplificando: quando escreve “Estou meio confusa sobre o que sou, as pessoas me definem como onda ou partícula, não sei o que está certo”, há um posicionamento próprio da aluna sobre a ambigüidade do que havia sido trabalhado sobre a luz; também quando usa a definição contida num texto lido “Luz é comunicação com o resto do universo; sinais luminosos que viajam no vácuo em linha reta com velocidade de 300.000 km/s”. Essa é mais uma de minhas definições”, mostra o acréscimo do entendimento de mais uma forma para se caracterizar a luz in-

⁴¹ Uma caixa de alumínio com formato de caixa de sapato, com uma lâmpada de filamento reto dentro e uma fenda de tamanho variável para saída da luz.

cluindo sua velocidade; há assim o reconhecimento da potencialidade de desdobramentos dos conceitos. Dessa forma, Fabiana sugere em seu texto ter passado por uma ruptura com relação à noção de luz, uma vez que inicialmente estava presa apenas aos conceitos de reflexão e refração.

Tais deslizamentos podem ser observados na medida em que ela se integra ao que está contando, quando, por exemplo, se refere a ela mesma como se fosse a luz e o calor. No terceiro texto se autodenomina Luz da Silva, que tem dúvida sobre sua identidade, onda ou partícula, sobre o que pode acontecer a ela, “Eu posso ser refletida” ou “Também pode ocorrer comigo um tipo de refração”. No caso do conceito de calor, no quarto texto, ela se assume como Calor Roberto, escrevendo em seu diário que está furioso porque o confundem com sua amiga temperatura, “Querido diário, estou muito bravo com as pessoas. Por que todo mundo pensa que eu e a minha amiga temperatura somos iguais?” e também ao se diferenciar do calor sensível: “Calor Sensível, aquele meu primo chato, que é o calor que provoca aumento de temperatura em um corpo”.

Cabe destacar que não comentamos sobre “calor sensível” nas aulas. É possível que a aluna tenha se sentido estimulada a buscar informações em outras fontes para articular sua estória. Vemos o apoio (texto, vídeo ou pessoa) como um instrumento que por mais que influencie no sentido de levar o aluno à simples cópia acaba funcionando como um recurso para que ocorra efetiva aprendizagem. Cabe-nos também reconhecer que a cópia pode ser estimulada pelo modo e pelo tipo de cobrança que se faz do que foi lido. Se os estudantes acreditarem que o que se espera deles é uma reprodução bem próxima de um texto lido, provavelmente irão copiar o texto.

Por outro lado, é fato que textos como os escritos por Fabiana, e que consideramos como repetição histórica, podem aparentar proximidade com o obstáculo animista, apontado por Bachelard, uma vez que descreve fenômenos físicos foram antropomorfizados, isto é, caracterizados por sentimentos, atitudes, preocupações próprias do humano. No entanto, ao mesmo tempo, a aluna demonstra conhecimento suficiente para articular conceitos científicos no interior de uma trama subjetiva. Sua escrita não deixa dúvida sobre um suposto animismo ingênuo, pois demonstra uma clara e intencional utilização da antropomorfização da

natureza com objetivos claros de funcionar como suporte da exposição de sua compreensão dos conceitos científicos. Estamos diante de um caso evidente de promoção de deslizamento de sentido, para a qual o gênero de escrita solicitado certamente contribuiu.

Conforme afirma Maingueneau (1989), a escolha de um gênero para desenvolver a escrita está relacionado ao lugar enunciativo, à época de enunciação e às condições de comunicação. No caso de Fabiana, a carta ou diário constituíram-se em uma proposta bastante positiva para que ela expusesse seus conhecimentos, possibilitando-lhe assumir-se como autora. Ao enunciar-se como a luz ou como o calor a aluna assume uma posição em que ela se auto-define, podendo portanto, referir-se como o “sujeito” em questão, uma vez que nos dois textos diz “minha pessoa”. O que não tinha acontecido na questão da prova em seu primeiro texto, no qual ela foi cobrada a falar sobre a luz, apenas um referente estudado anteriormente. Ainda com relação a esse assunto, em entrevista posterior Fabiana afirmou que os gêneros mais comumente trabalhados pela escola, do tipo redação e dissertação, não a estimulavam, dada a seriedade e o formalismo de sua estrutura. Sentia que sua criatividade era refreada, levando-a ao julgamento de que não seria capaz de fazer algo de boa qualidade. A escolha dos gêneros carta, diário e estória, parece ter “desbloqueado”, segundo suas palavras, seu interesse e habilidade, possibilitando-lhe escrever livremente, o que, aparentemente lhe proporcionou a facilidade de expor os conteúdos estudados durante o curso, inclusive englobando diferentes gêneros, ao embutir o diálogo numa carta ou diário.

Estes dois últimos textos, vistos pela ótica do teatro, como apontado por Maingueneau assemelham-se mais à representação de um papel, o que possibilita deslizar mais livremente pelas palavras e até remeter a aspectos poéticos como por exemplo, “Luz é comunicação com o resto do universo”, ou quando descontraidamente diz que se “desmancha toda ao atravessar um prisma”.

Acreditamos que a grande diferença entre os textos I, III e IV deva-se, em parte, à consideração do destinatário. Enquanto no texto I ela escreve para a professora que espera a resposta certa, repetida da mesma maneira como foi ensinada, nos textos III e IV ela joga com um

destinatário genérico, tanto que a carta III ela inicia com “Aos meus novos amigos”, que no caso poderiam ser os próprios alunos, seus colegas, para quem ela procurará se apresentar e se definir. Já no texto IV ela escreve para ela mesma, uma vez que se trata de um diário em que o sujeito-calor está expondo sua ira, dada a confusão que as pessoas fazem entre ele e sua amiga temperatura.

Entretanto, apesar de seus textos serem de bastante criativos, não podemos descartar a importância dela também se adaptar à escrita com linguagem mais formal, e pelo que notamos nos textos aqui apresentados, não está descartada uma possível tendência dessa aluna cristalizar sua produção de textos, na maneira de envolver os conceitos estudados, colocando-os como sujeitos da trama traçada. O reconhecimento do mérito dos textos pela professora também é um fator que poderia contribuir para essa cristalização.

No entanto, é bastante relevante notarmos os avanços de Fabiana na explicitação conceitual. Isso ficou bem marcante ao compararmos seus textos III e IV com o II, este sobre fotossíntese, no qual desenvolveu um diário apontando para sua dúvida quanto ao que levar para repovoar o novo planeta que não teria oxigênio. Nesse texto decidiu acertadamente por levar pessoas para reproduzirem, plantas que serviriam de alimento e de produtoras desse gás, e minhoca para fertilizar o solo, além de água potável.

Sem dúvida, ela reproduziu as noções estudadas em classe para uma situação hipotética. Entretanto, apesar de dizer o que seria fundamental para garantir a vida num local dessa natureza, Fabiana não dá explicações conceituais, o que é possível observar nestas frases: “levaria algumas espécies de plantas que iriam purificar o ar para nós seres humanos conseguirmos sobreviver. Só que essas plantas seriam plantas que dessem para nós comermos. E algumas coisas já industrializadas”. Seu discurso apresenta pouco distanciamento em relação ao que seria uma repetição empírica, o que não acontece nos textos posteriores, podendo estes ser considerados um sensível avanço.

Sem dúvida, haveria ainda o que trabalhar com Fabiana, mas também há o conforto da afirmação de Bachelard de que a superação total dos obstáculos nunca é definitiva, eles estão sempre presentes e exigem constante

trabalho no sentido de superá-los. Afinal, a linguagem comum já traz consigo obstáculos inconscientes, mas como superá-los se não nos servirmos dessa linguagem num processo de continuidade rumo à superação?

Pensando nas condições de produção do discurso, mais especificamente no contexto socio-histórico-ideológico, lembramos que Fabiana morava num bairro de periferia, e possivelmente isso contribuía para que em seu imaginário se visse com dificuldade em expor suas idéias, característica que pudemos confirmar em entrevista quando ela afirmou que não imaginava que a professora, pudesse gostar tanto e divulgar seu trabalho para os colegas e inclusive num congresso⁴². Sua pouca auto-estima ficou patente quando disse que não se considerava capaz de fazer algo de tal nível.

Vale ainda acrescentar que, na entrevista, foi a própria aluna quem expôs as possíveis causas de seu sucesso, ou seja, a escolha acertada do gênero que permitiu seu desbloqueio. O mais importante é a possibilidade de transformação de simples repetições empíricas em repetições históricas, aparentemente facilitada pela liberdade em escolher o gênero de escrita. E é fato que, os deslocamentos nos textos de Fabiana evidenciaram sensível avanço rumo ao saber científico, já que ela conseguiu articular vários conceitos, como ao reconhecer os impasses nos modelos a respeito da luz e na diferenciação entre calor e temperatura.

Ainda procurando evidências quanto à manifestação de obstáculos, que essa aluna visivelmente demonstrou senão superação, avanços em direção ao pensamento científico, pois inicialmente no questionário inicial, aplicado para levantamento de conhecimentos prévios dos estudantes, Fabiana comentou que a luz acontece quando a energia elétrica permite iluminar os ambientes ao acender as lâmpadas em nossas casas. Estamos diante de uma concepção pragmática dos fenômenos, uma vez que a preocupação em definir permanece no âmbito de sua utilidade pelos seres humanos. No questionário final ela escreveu: “Luz, sinal luminoso que viaja pelo espaço através de ondas ou partículas”. Se ainda há inadequação, ela é de outra natureza, conclusão a que chegamos não tanto por esta última formulação, mas por toda a produção da estudante.

⁴² A professora-pesquisadora contou à aluna nessa entrevista que tinha incluído suas falas no trabalho apresentado num Encontro de Pesquisa em Ensino de Física.

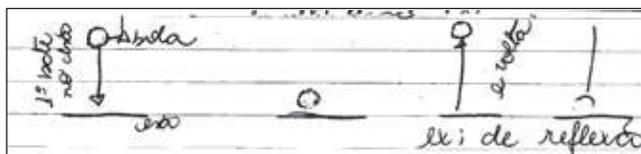
Uma outra aluna, Nádia, apresentou um outro percurso que apresentamos a seguir. Seu texto II relativo à fotossíntese é uma carta e tem como destinatário seu neto. Nela descreve a luta pela sobrevivência em um novo planeta, Marte, na cidade Araóxido, no ano 2040. Ela comenta que levou animais e vegetais para a alimentação, sendo os últimos necessários também para resolver o problema da ausência de oxigênio. Em sua bagagem havia inclusive minhocas para a fertilização do solo. É interessante que Nádia lembrou-se de pousar na região iluminada pelas cores azul e vermelha para que as plantas pudessem realizar com mais facilidade a fotossíntese. Notamos, assim que, apesar de não se estender em maiores explicações, esta aluna demonstrou a internalização de conhecimentos científicos na situação fictícia.

Também na mesma carta, evidenciou sua posição de autora ao escrever: “E como a história é minha...”, deixou também transparecer uma representação de ciência como algo positivo e a crença no cientista como solucionador dos problemas enfrentados, tendo a expectativa de que ele desenvolvesse as tecnologias em uso atualmente. Notamos isso na frase: “dentre os 4 passageiros um era cientista e ele descobriria o petróleo, a clonagem, etc.”. Por outro lado, nada indica que para ela a ciência tivesse relação com a situação de guerra pensada para o exercício proposto.

Por outro lado no Texto I, que havia sido solicitado em uma das questões da prova, ela não apresentou conexão entre frases referentes a diferentes fenômenos. Nádia apresentou seu entendimento a respeito de reflexão, refração, ondas, partículas, espelhos e lentes, em noções como: “reflexão é quando a luz bate num ponto e volta ao lugar que foi incidida”; “refração é quando a luz bate em um meio diferente e sofre um desvio”. Essas frases evidenciam a reprodução dos esquemas que haviam sido apresentados pela professora em aula. Trata-se de uma repetição formal, pois a aluna apenas representou com suas palavras os esquemas visualizados. Pode também tratar-se apenas de uma repetição empírica, uma vez que certamente a professora enunciou definições dos fenômenos quando fez os esquemas na lousa, e a aluna pode ter anotado e memorizado.

Já no texto III referente ao mesmo conteúdo, mas podendo ser escrito em forma de carta, diário, etc., ela optou pelo gênero relatório,

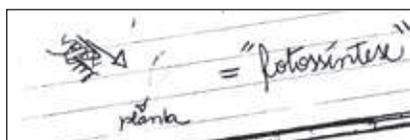
intitulando-o de “Luz: O fenômeno contraditório e esplêndido”. É possível que ao se referir à luz como fenômeno contraditório Nádía estivesse pensando no que havia sido apresentado sobre a luz enquanto onda e partícula. Além disso, ela procurou explicar a reflexão pelo modelo corpuscular ao relacionar as partículas com bolas de tênis e também procurou explicar o que é uma onda por meio de movimento na água. Nessas explicações notamos a possível interdiscursividade com um vídeo que havia sido apresentado em aula e no qual é mostrado o movimento de uma bola de tênis e uma bacia de água que o locutor associa à luz.



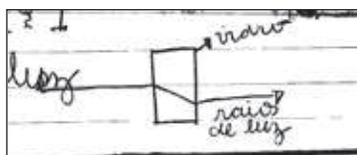
Nádía também utilizou um desenho, para complementar suas palavras. Consideramos aqui a ocorrência de repetição formal, já que ela expressou uma imagem visual muito próxima ao que havia visualizado.

No texto de Nádía também pudemos notar um deslizamento de sentido no uso do termo “forma”. Inicialmente ela disse: “a luz pode ter forma de partículas ou ondas”, para referir-se aos modelos ondulatório e corpuscular. Depois comentou: “ela também recebe ‘nomes’ específicos em relação a sua ‘forma’”. É interessante notarmos o uso das aspas nas palavras “nomes” e “forma”, que evidencia uma possível insegurança quanto à adequação do termo em expressar suas idéias. Entretanto, essas terminologias alternativas, que utilizou, indicam que ela não se limitou a uma simples repetição empírica, mas expressou uma abordagem com as próprias palavras, uma repetição formal.

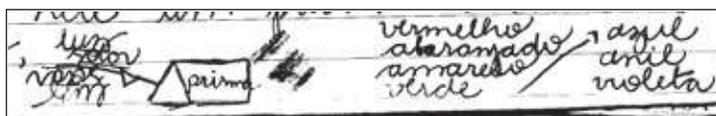
Para comentar sobre as cores, utilizou um modelo que leva em conta as propriedades de absorção e reflexão, ao citar o exemplo de uma cartolina amarela iluminada por luz branca que absorverá todas as cores menos o amarelo que será refletido. Procurou também explicar a fotossíntese por meio do comportamento dos corpos em relação à luz, dizendo que: “absorvedores transformam uma energia luminosa em outro tipo de energia, exemplo seria as plantas.”



Ao se referir à refração, nesse texto, Nádia evidenciou um outro saber, pois procurou explicar o desvio relacionando-o à “mudança de velocidade”. Refere-se às lentes convergentes e divergentes da mesma maneira que no texto I, e podemos notar certa interdiscursividade, ou seja, a incorporação de outros discursos já produzidos, acrescentando desenhos esquemáticos à noção exposta.

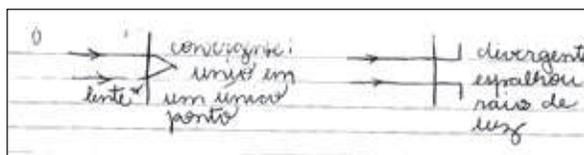


Para explicar a relação das cores com a luz, Nádia disse: “outro lado importante da luz é enxergarmos as cores. Se temos um feixe de luz e colocamos nele um prisma veremos as outras cores.” E acrescenta o seguinte desenho:



Ao comentar sobre as lentes disse: “Outro ponto da luz são as lentes que podem concentrar ou espalhar os raios de luz em pontos.”, e mais uma vez recorreu às representações esquemáticas:

Esses esquemas nos evidenciam a ocorrência de uma historicização dos significados, na medida em que a aluna relacionou saberes que haviam sido trabalhados em aula, e recorreu a uma forma de expressão própria para expressar seu entendimento, demonstrando que o conhecimento fez sentido em sua memória.

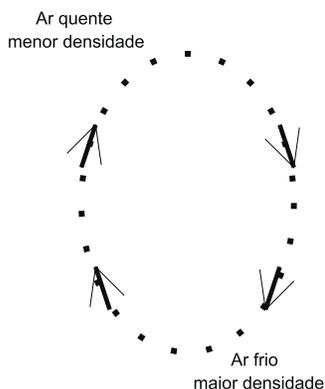


Nádia conclui seu relatório assim: “Enfim a luz possui muito em relação a prática e teoria e não há como observá-la por inteiro, ou explicá-la é preciso imaginar a luz como uma fonte de vida que ultraja e interroga; fascina e embeleza; o real e o irreal”. Em que pesem alguns equívocos em seu percurso, julgamos que a aluna evidenciou o entendimento de que o conhecimento não é definitivo, e de que não é possível abarcá-lo por completo, além de ter se dado a liberdade para expressar esse entendimento de forma poética.

No texto IV, relativo à energia térmica, escolheu o gênero diário, em que comentou entre outros conteúdos, as diferenças entre calor e temperatura. Definiu esses conceitos fazendo paráfrases, ou, mais propriamente uma colagem; isto é, repetiu sem, aparentemente, incluir idéias próprias, dando um sentido único para os conceitos que haviam sido definidos pela professora.

Iniciou seu texto dizendo: “Hoje na aula de Ciências eu aprendi muitas coisas. “Coisas” que eu percebi agora que influenciam em quase tudo, um pouco nos corpos, alimentos etc. Enfim a física está presente no nosso dia-a-dia.” Nesta frase parece estar refletindo sobre o seu processo de aprendizagem, mas não apresentou indícios dessa aprendizagem em seu texto.

Ao referir-se às formas de transmissão do calor, explica a convecção baseando-se no esquema que a professora havia feito no quadro (vide abaixo), no entanto ao estabelecer relação com a densidade, inverte o que havia sido dito: “maior densidade fica quente e sobe e menor densidade, fica frio e desce”.



Para chegar a esse esquema fizemos a seguinte demonstração:

1 tubo de ensaio com água e pó de serra foi aquecido até entrar em ebulição o que possibilitou observar uma corrente de convecção.

Para expressar o que entendeu por condução, diz “o calor é transferido de uma molécula para outra usando algum condutor por exemplo (prata, alumínio, cobre, etc)”. Talvez esteja querendo dizer aqui que a condução do calor ocorra principalmente nos metais, mas faz a passagem do mundo macro ao microscópico como se fossem dois objetos macroscópicos.

Por outro lado, procurou explicar o aquecimento da água no chuveiro da seguinte maneira: “transfere energia elétrica para a energia existente na água fazendo com que as partículas se movimentem resultando em calor”. Estabelecendo uma relação entre essa frase e a aula ministrada, notamos que Nádia procurou expressar sua compreensão de calor em termos de agitação das moléculas. Dessa forma, entendemos que para a estudante, a energia da resistência do chuveiro foi transferida para as moléculas de água que já estavam em movimento, mas que ao receberem calor entraram em maior agitação.

Ao relacionar o forno de microondas com o forno convencional, a aluna comentou que: “os alimentos feitos no fogão a gás ficam melhores porque conseguem penetrar nas proteínas desse alimento alcançando uma temperatura acima de 100º e o microondas só chega a 100º e não consegue mudar nem a cor nem o sabor desses alimentos”. Tal ênfase possivelmente se deva ao fato de termos levado às aulas bolos assados em ambos os fornos para os alunos observarem e saborearem as diferenças, e em seguida a explicação por meio de leitura de texto e questionamento da professora.

É interessante por que esta aluna foi a única que procurou no texto produzido relacionar a temperatura atingida nos dois fornos como fator diferenciador entre eles, alguns estudantes lembraram-se das diferenças de cor e sabor entre os bolos, mas não se preocuparam em manifestar uma explicação. Apesar disso, não podemos afirmar que eles não sabiam ou que não aprenderam, pois não perguntamos abertamente qual era essa diferença, ao contrário solicitamos que escrevessem um texto envolvendo as noções que tinham a respeito de energia térmica.

Nádia também procurou relacionar as mudanças de estados físicos ao calor específico de cada substância, como é possível observar no parágrafo abaixo:

O calor também pode causar algumas mudanças, sólido, líquido ou gasoso, e é bom lembrar que estas mudanças dependem do material e da temperatura usada. E esta temperatura também pode variar de acordo com o objeto usado e o seu número de massa, ou seja, para um cubo de gelo passar do estado sólido para o líquido vai depender da temperatura que elevamos este gelo e da quantidade de volume de água que este possui.

Nossa suposição é que, com esse texto procurou dar significado a uma atividade desenvolvida em aula, atividade na qual o gelo foi aquecido até seu total derretimento e posterior ebulição da água, com medidas da temperatura feitas a cada minuto. Depois disso, foi construído um gráfico (temperatura x tempo) e questionado se ele seria o mesmo caso tivéssemos maior quantidade de gelo, ou se tivéssemos outra substância. Então Nádia expressou seu entendimento afirmando que para uma substância mudar de estado dependerá da temperatura a que ela foi submetida e de sua massa. O discurso desta estudante pode ser considerado um exemplo de repetição histórica, que está representada nas manifestações próprias que ela utiliza, como os termos “objeto”, “número de massa” e “quantidade de volume”, e se diferencia muito das comuns repetições de definições memorizadas mecanicamente de um livro texto.

Ao finalizar suas anotações, a aluna fez o seguinte comentário: “Mas é claro que para descobrir tudo isso foi preciso muito estudo e experiências que levaram séculos e séculos e que talvez futuramente essas idéias venham a mudar e formarem novas teorias”. Nessa frase notamos a influência da história da ciência vislumbrada nos textos lidos pelos alunos, perceptível na referência ao tempo para que as teorias sejam aceitas e na concepção de conhecimento científico como algo provisório.

Nádia representa um caso interessante para a observação de rupturas na manifestação de seu conhecimento, há em seus textos momentos em que rompe com o pensamento concreto expressando idéias bastante abstratas como algumas citadas. Quanto à autoria, inicialmente no texto I (resposta à questão da prova), cita definições pautadas na repetição empírica e formal, procurando utilizar-se de alguns termos bastante próprios, conforme visto em suas noções sobre reflexão e refração. Depois, nos textos II (sobre fotossíntese), III (noções a respeito da luz) e IV (sobre energia térmica), ocorre a repetição for-

mal, mas com muitos traços de historicização do dizer na medida em que manifesta seus conhecimentos por meio de esquemas, explicita sua visão de ciência, sua concepção de elaboração dos conhecimentos científicos e também ao incorporar em sua estória os conceitos, articulando-os ainda que discretamente.

Já nos questionários, no inicial Nádia responde que “luz é uma derivação da energia. Podemos ter luz solar ou elétrica” e no final do ano escreve “luz é uma onda ou partícula que se propaga de diversas maneiras. Fazendo com que consigamos enxergar outros corpos. A luz pode se desintegrar dando origem às cores, etc.” Sua primeira noção se restringe à idéia, bastante comum entre os alunos, de iluminação através do sol ou lâmpada o que parece representar uma concepção do tipo conhecimento geral (luz = luz elétrica) que se não for estimulado pode estacionar. Mas não foi o caso, pois passa ao final do curso para algo bem mais elaborado; certamente como resultado da influência dos textos, vídeos e mediações da professora.

Num terceiro exemplo, uma aluna que aqui chamaremos de Graça no primeiro texto, sobre luz, que era uma questão da prova, define os conceitos solicitados, aparentemente, de maneira vaga, mas indicando sua compreensão. Por exemplo, diz que: “lentes: que se vê melhor”; ela havia visto nas aulas que as lentes corrigem os problemas da visão ou são utilizadas nos instrumentos para a melhor observação dos objetos. Também confunde refração com reflexão, pois afirma: “refração: quando a gente olha e se reflete (espelha)”.

Já no texto III, também sobre luz, mas podendo ser em forma de carta, diário, conto ou relato, ela escreve uma carta para uma amiga contando seu entendimento sobre os conceitos e define reflexão e refração utilizando termos bastante próprios, mostrando sua compreensão, ainda que não consiga expressá-la coerentemente. Por exemplo, numa parte do que escreveu, disse: “A reflexão é quando a luz é incidida em um certo ponto e retorna no mesmo ângulo parando no mesmo ponto”. É possível observar aqui a influência do esquema da aula ministrada, da experiência realizada com o projetor de fendas ou do vídeo assistido em que se destacou a igualdade dos ângulos, em relação a normal, dos raios incidente e refletido. Mas segundo a aluna,

coincidiriam no mesmo ponto, e sabemos que isso somente acontece quando o ângulo de incidência for 90°.

Prosseguindo diz, “no caso de refração, entendi que quando a luz for incidida em um certo ponto, ela se desvia devido à mudança da velocidade nos diferentes pontos”. É possível que tenha trocado a palavra “meios” pelo termo “pontos”, tendo, no entanto, compreendido o fenômeno em si. O mesmo ocorre quando afirmou que: “sem a luz, não poderíamos encher, porém a retina de nossos olhos precisa que a luz reflita sobre ela devolvendo a imagem ao cérebro”. Apesar da dificuldade de expressão, ela parece ter compreendido os fenômenos.

No texto II, a respeito do povoamento do novo planeta, Graça fez um relato em que se preocupou com a reprodução humana envolvendo um rapaz bonito que veio buscá-la numa espaçonave; eles se casaram posteriormente e tiveram filhos. Junto levaram mais um casal e um bebê, que imploravam por socorro, a família dela e o cachorro.

Como nesse, foram bastante comuns nos textos dos alunos os aspectos emotivos como o salvamento do animal de estimação, dos pais e dos irmãos e neste caso de um bebê. A liberdade de escreverem em diferentes gêneros, e para quem eles achassem conveniente, fez com que vários estudantes manifestassem suas emoções.

Graça também citou que no novo planeta tudo era maravilhoso: água limpa, animais soltos, pássaros voando, as pessoas reproduzindo, ar puro. Esqueceu-se, inclusive, que, segundo o enunciado em que o texto foi proposto não havia oxigênio no local. Possivelmente, tal esquecimento pode ter se dado, para facilitar a composição de seu mundo encantado.

Ela também manifestou uma visão linear da história, pois escreve: “Tudo um dia se acaba, foram sendo construídas as indústrias que causam poluição e o ar e a água estavam poluídos”. Demonstrou também uma visão negativa da ciência ao afirmar: “transformou meu planeta em um campo de pesquisas” o que causaria “guerras, fome, solidão e morte”. Então, para finalizar, questionou: “Será mais uma vez o fim do meu planeta?”

Já no texto IV, a respeito do tema calor, escreveu uma carta para a professora, na qual fez um desabafo importante, apesar de já ser no final do ano letivo, que parece expressar certo grau de segurança e envolvimento pessoal com a figura da professora: “Às vezes tenho dúvida

a respeito da matéria, mas me sinto envergonhada em fazer perguntas”. Em seguida enuncia os conceitos adequadamente e consegue aparentemente realizar o que Orlandi chama de repetição formal, ao criar alguns termos, por exemplo, substituiu a palavra “corpo” falada em aula por “ser” ou “objeto”, como se observa nas seguintes definições: “temperatura é o grau de agitação das moléculas de um ser ou de um objeto” e também, “a troca de calor no meu entendimento ocorre quando um ser ou objeto está em temperatura diferente (...)”.

Dessa forma, apesar de estar bastante próxima ao comentado em sala de aula, há certos deslizamentos de sentido. Aparentemente, a palavra corpo para a maioria dos alunos está relacionada ao corpo humano, e possivelmente por isso Graça prefere utilizar “ser” e “objeto”, talvez para indicar aquilo que tem vida e o que não a tem.

Continuando, ela conseguiu sintetizar muito bem os efeitos da troca de calor e o importante é que selecionou os conceitos segundo critérios próprios, dizendo: “Nossa professora! Ainda tem itens que não entendi e outros que não considero muito importantes. Esse bimestre teve bastante conteúdo”. Esta frase revela a possibilidade que o texto livre oferece, já que ela colocou as noções daquilo que julgou fundamental. E termina expondo seus sentimentos: “Lembrando: Gosto muito de suas aulas, te admiro muito. Beijos e mais beijos”.

Vale ressaltar aqui as possibilidades que os gêneros escritos carta, relato, diário ou conto oferecem aos alunos, pois é perceptível a abertura da possibilidade de se expressarem da maneira que julgam melhor, emotivamente ou não, pois há um destinatário presente, concreto escolhido por eles e também há o professor, que eles sabem que lerá o texto, e que no papel de destinatário “superior”, presente no imaginário de cada estudante, acaba guiando em parte a redação.

Numa entrevista posterior, Graça afirmou algo muito interessante: “Escrever cartas ajudou, porque ao escrever estava desenvolvendo meus pensamentos. Na prova a gente decora mais do que entende, para escrever a gente aprende”.

Essa aluna conseguiu pensar na forma como ela aprende. Possivelmente, o fato de gostar de ler e escrever e ter dito fazer isso constantemente possa ter facilitado sua reflexão sobre sua aprendizagem.

Já para outros alunos, a escrita com certo grau de liberdade nas aulas de ciências, escrita diferente daquela que ocorre quando apenas respondem questões numa prova, pode ter, inclusive, contribuído para criarem gosto pela escrita.

Retomando a questão da autoria, foi possível observar que a escrita da Graça desde o início já se apresentou como repetição formal, na medida em que criou expressões próprias, ainda que não tenha enunciado noções totalmente adequadas, como nos textos I e III, principalmente. Vejamos suas próprias palavras na resposta da questão da prova (Texto I) em que escreveu sinteticamente: “Onda: movimento. Partícula: pequenos fragmento (luz)” ou quando no texto III trocou a palavra “meio” por “ponto”, como dissemos anteriormente ou ainda quando comenta, “os espelhos são usados no processo de reflexão e refração”, evidenciando certa fragilidade na compreensão dessas noções.

No que se refere à autoria, em condições de produção semelhantes às que aqui apresentamos, num nível ideal todos os estudantes numa situação de ensino atingiriam a autoria histórica. No entanto, em situações reais isso não ocorre, sem que isto represente um demérito. O mais provável é que alguns estudantes fiquem basicamente na repetição empírica, outros na formal e muitos apresentem as três repetições distribuídas diferentemente conforme o conteúdo do ensino e a solicitação feita a eles ao final de cada atividade. Mesmo assim, acreditamos que o ato de escrever nas aulas de Ciências é em si um exemplo a ser seguido nessa e em outras disciplinas escolares, mostrando que a escola muito ainda pode fazer para atingir um dos objetivos primordiais: “a compreensão mais profunda da construção do enunciado, da produção de textos, da constituição da independência e da autoria na linguagem escrita”, segundo as palavras de Garcez⁴³ (1998, p.155)

É fato que, muitos escritos produzidos em situações de ensino apresentam apego à memorização mecânica, já que o aluno tenta repetir fielmente aquilo que foi discutido em sala de aula, o que dá a impressão equivocada de coerência racional. Corremos o risco de considerar que essa repetição representa a eficiência no ensino. Trata-se,

43 GARCEZ, Lucilia H. C. *A escrita e o outro*. Brasília: UNB, 1998

no entanto, de algo preocupante, a ser analisado. No entanto, há que se reconhecer que mesmo por meio da repetição de um trecho lido aqui, outro ali e ouvido outro acolá, a montagem dessa colcha de retalhos acaba ficando por conta do aluno.

Julgamos ter apresentado um quadro bastante favorável à utilização da escrita em aulas de ciências, na medida em que evidenciamos a possibilidade de conduzir o aluno à construção de manifestações próprias, ancoradas nos conteúdos mediados em aula, mas utilizando-se de uma linguagem mais próxima ao seu dia-a-dia, que acaba por promover a produção de significados relativos ao conteúdo trabalhado. Esse percurso não ocorre em linha reta e ininterrupta, mas é ascendente. E em processos de continuidade com os conhecimentos iniciais dos estudantes podemos notar algumas rupturas rumo ao conhecimento científico.

O limite que percebemos em relação à escrita é que para visualizar essas contribuições, faz-se necessário atentar para todos os sentidos expressos nos diferentes gêneros. Trata-se de interpretar fenômenos verbalizados, refletir sobre a linguagem e por meio da linguagem. Para tal, desconsideramos alguns pré-conceitos didáticos, e valorizamos atuações que divergem do que usualmente é considerado o caminho mais curto rumo a se conseguir que o aluno reproduza o que é considerado certo do ponto de vista da ciência.

Julgamos que, alunos que vivenciaram um trabalho escolar como o que aqui apresentamos, mesmo se no início se expressarem com frases do tipo: “luz é vida”, “energia é força”, “calor é algo quente”, podem passar a comentar no final do ano: “Luz é uma forma de energia que se propaga por ondas ou partículas”; “Energia é a capacidade de produzir trabalho”; “Energia nuclear está relacionada ao movimento dos nêutrons do átomo, pode ser usada para fazer bomba ou para tratar o câncer e também acontece no sol”; “Calor é uma energia relacionada à agitação das moléculas que é transferida de um corpo a outro quando há diferença de temperatura entre eles”.

E para finalizar estes comentários nos quais demos tanta ênfase à escrita, citamos um trecho de João Cabral de Melo Neto em “Rios sem discurso”, no qual relaciona a água no rio com as palavras no discurso:

Quando um rio corta, corta-se de vez o discurso-rio de água que ele fazia; cortado a água se quebra em pedaços, em poços de água, em água parálitica. Em situação de poço, a água equivale a uma palavra em situação dicionária: isolada, estanque no poço dela mesma, e porque assim estanque, estancada; e mais; porque assim estancada, muda e muda porque com nenhuma comunica, porque cortou-se a sintaxe desse rio, o fio de água por que ele discorria. O curso de um rio, seu discurso-rio, chega raramente a se reatar de vez; um rio precisa de muito fio de água para refazer o fio antigo que fez. Salvo a grandiloquência de uma cheia lhe impondo interina outra linguagem, um rio precisa de muita água em fios para que todos os poços se enfrasem: se reatando, de um para o outro poço, em frases curtas, então frase e frase, até a sentença-rio do discurso único em que se tem voz a seca ele combate.

Histórias de Leituras

Em situações escolares, quando os estudantes lêem livros didáticos ou outros textos é comum que as interpretações dos estudantes sejam diferentes das previstas em respostas algumas vezes incluídas nos recursos didáticos, e nesse caso, são comuns os seguintes comentários: “os alunos não sabem ler”; “os alunos não entendem as perguntas”, etc. Também é comum a crença de que ensinar a ler é tarefa das aulas de Língua Portuguesa, e foge aos objetivos do ensino de ciências.

Essa maneira de pensar pode se modificar se refletirmos sobre como são construídos os significados na leitura de um texto?

Com base em Orlandi (1984 e 1988)⁴⁵ entendemos a leitura como produção de sentidos. Segundo essa autora, toda leitura tem sua história (em épocas diferentes lemos de formas diversas um mesmo texto) e todo leitor tem sua história de leitura (as leituras já feitas determinam o nível de compreensão do leitor durante a leitura de um texto). Com esse entendimento, concluímos pela necessidade de, no ensino escolar, contribuímos para a construção da história de leitura dos estudantes, estabelecendo relações intertextuais e resgatando a história dos sentidos do texto.

Na construção dessa história, os tipos de cobranças referentes à leitura de um texto são fundamentais. Conforme Almeida & Ricon⁴⁶ (1993), a leitura de tipos diferenciados de textos não deve ocorrer como:

44 Exemplos pensados principalmente a partir do estudo citado na nota 3.

45 ORLANDI, E. *Discurso e leitura*. Campinas: Cortez, 1988.

_____ As Histórias das Leituras. Revista Leitura: Teoria e Prática. São Paulo: FE-Unicamp, 1984.

46 ALMEIDA, M. J. P. M. & RICON, A. E. Divulgação científica e texto literário: uma perspectiva cultural em aulas de física. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 10, n.1, 1993, p. 7-13.

(...) rotina semelhante ao trabalho usual com manuais didáticos. Na contramão do incentivo a leituras relativas à ciência, encontram-se: o destaque e valorização apenas de algumas das informações contidas num texto sem se considerar as interpretações do estudante, as avaliações calcadas na memorização de informações obtidas da leitura e, principalmente, a expectativa de resultados imediatos. (p. 13)

Dependendo de como trabalhamos no ensino do conhecimento das ciências, mesmo com textos que fogem ao livro didático, podemos aumentar a aversão provocada pelas “leituras obrigatórias”. Com isso, poderá haver um decréscimo no gosto por qualquer leitura, e podemos, inclusive, contribuir para o desinteresse pela ciência. Por outro lado, partimos do pressuposto que, mesmo no ensino fundamental, pode ser valorizada a leitura de textos originais de cientistas, e de textos de divulgação científica. Alguns destes últimos são muito bem escritos e tratam a ciência com bastante profundidade, apresentando-a numa linguagem o mais próximo possível da comum. Além disso, podem ser encontrados sobre assuntos variados, envolvendo partes da programação dos currículos escolares e outros temas, comumente de grande interesse para os alunos, como energia nuclear, laser, etc., ou seja, assuntos ligados à ciência e as tecnologias atuais, propiciando acesso à cultura científica e a informações relevantes para a vida do indivíduo dentro e fora do ambiente escolar.

Certamente aprendemos a ler durante toda nossa vida. O fato da leitura rotineiramente ser trabalhada em aulas de ciências, sem um trabalho apropriado na formação inicial ou continuada dos professores e sem uma reflexão mais aprofundada, muitas vezes ocorre o uso de um modelo de leitura que é baseado naquilo que eles vivenciaram enquanto estudantes. Isso pode significar um espaço restrito para outras interpretações, priorizando apenas um sentido sobre o conteúdo científico, silenciando-se, por exemplo, as interpretações equivocadas que encontramos na história da ciência, na busca de explicações sobre os fenômenos. Ou seja, os conteúdos são “limpos” dessas interpretações diferenciadas, errôneas do ponto de vista atual e que na época faziam sentido, sendo vistas como corretas.

Um exemplo clássico foi a contraposição de Galileu Galilei à leitura da Bíblia na Idade Média, na qual se pensava ser a Terra o centro do

universo e não um planeta que girava em torno do sol (heliocentrismo). A razão da proibição da Igreja ao heliocentrismo era que sobre a interpretação do Salmo 104:5 do Antigo Testamento da Bíblia está escrito: “Deus colocou a Terra em suas fundações, para que nunca se mova.” Houve polêmica sobre a afirmação de Galileu e suas declarações foram consideradas pela igreja católica, heréticas, teologicamente erradas, sofrendo retaliações pela Inquisição.

Trazendo esses conflitos apagados do ensino de ciências, o ato de ensinar passa a ser a imposição de apenas uma forma de ler um texto. Permeados por essas expectativas, os alunos podem buscar somente as interpretações que interessam ao professor, pois num outro momento esse sentido perseguido será solicitado em uma avaliação. Esse controle de significados pode representar uma inibição e um certo impedimento, levando a um desestímulo perante a leitura.

Consideramos que os sentidos esperados pelo professor devem ser trabalhados como um dos constituintes da produção do texto, porém não deve ser trabalhado como o “único” constituinte. Essa forma de olhar a leitura como objeto da cultura leva mais em conta a interação do sujeito com o texto, do que propriamente o dizer do autor, pois como já dissemos todo texto é passível de interpretação. Esse conceito de leitura tem sido abordado por Michel Pecheux (1993)⁴⁷ e Eni Orlando (1988; 1998)⁴⁸, que têm enfatizado a paráfrase e a polissemia, ou seja, o fato de ser próprio da natureza da linguagem à possibilidade da multiplicidade dos sentidos.

Concordamos com Gaston Bachelard (1996)⁴⁹, quando afirma que “Tornar imprevisível a palavra não será uma aprendizagem de liberdade? Que encanto a imaginação poética encontra em zombar das censuras!”(p.11) Então sob essa perspectiva torna-se importante à percepção sob como os leitores podem “ler” os textos e quais pontos de vista podem utilizar para essas leituras, para que esta faça sentido em sua memória discursiva.

47 PÉCHEUX, M. *O discurso: estrutura e acontecimento*. Campinas: Pontes, 1993

48 ORLANDI, Eni P. *Discurso e leitura*. Campinas: Cortez, 1988. 118p.

_____ *Paráfrase e Polissemia. A Fluidez nos Limites do Simbólico*. Rua, n.4, p. 9-19, 1998.

49 BACHELARD, G. *A formação do espírito científico*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.314p.

“Mas será possível trabalhar essas questões dentro de uma disciplina específica como é a de ciências? Se sim, como?”

Procurando problematizar essas questões nessa perspectiva, para podermos produzir certos avanços no território da leitura no ensino de ciências, numa pesquisa que fizemos, investigamos alguns aspectos relacionados ao funcionamento da leitura em salas de aula de ciências. Dentre os resultados obtidos foram encontradas evidências de algumas estratégias de mediação da linguagem, que aproximam “a linguagem comum da linguagem científica” levando a uma maior aproximação dos sentidos ao discurso da ciência (Souza, 2000)⁵⁰.

Por exemplo, numa de nossas pesquisas percebemos que os estudantes faziam registros (escritos) pessoais longe dos olhos dos professores de ciências e ao investigarmos essa percepção constatamos que a maioria dos 85 estudantes gostava de escrever fora da sala de aula (Tabela 1).

TABELA 1 – Resposta de 85 alunos à pergunta “Você gosta de escrever fora da sala de aula, num diário por exemplo?”

Séries	Não gostam	Às vezes	Gostam
8° A	07	07	11
8° B	12	01	08
8° C	08	05	04
8° Y	07	01	14
Total	34	14	37
Total (%)	40	16,47	43,52

Isso nos forneceu uma forte indagação de como funcionariam textos de ciências mais próximos à linguagem oral em nossas aulas.

Seria possível trabalhar um texto mais próximo à linguagem coloquial, quando se fala de ciência?

E outras questões foram postas: pontes entre a linguagem científica e a linguagem coloquial aproximam o cientista do estudante de ciências?

⁵⁰ SOUZA, Suzani Cassiani. *Leitura e Fotossíntese: Proposta de ensino numa abordagem cultural*. Tese de doutorado, FE-Unicamp, 2000.

Enfim, como trabalhar “uma forma mais pessoal da linguagem científica?”

Nesse caminho, utilizamos em nossas atividades de leituras com os estudantes, trechos de textos originais de pesquisadores de séculos passados, que escreviam em primeira pessoa do singular.

Tomei um vaso de barro, no qual coloquei 100 quilogramas de terra que havia secado em um forno e que umedecei com água de chuva e ali plantei o caule de um salgueiro que pesava dois quilogramas e meio. E eis que, passados cinco anos, a árvore que ali se originou pesava cerca de 80 quilogramas. Quando era necessário, eu sempre umedecia o vaso de barro com água de chuva ou água destilada, e o vaso era grande e estava implantado na terra. Para que a poeira levada pelo vento não se misturasse à terra do vaso, cobri-lhe a abertura com uma placa de ferro revestida de estanho e com múltiplas perfurações. Não computei o peso das folhas que caíram em quatro outonos. Por fim, tornei a secar a terra do vaso e ali encontrei os mesmos 100 quilogramas, com alguns gramas a menos. Portanto, 80 quilogramas de madeira, cortiça e raízes, surgiram unicamente a partir da água. Johan Baptiste van Helmont⁵¹ (1662, p. 109)

Um leitor de Van Helmont no século XVII, certamente, possuía outras informações, outras expectativas, outras formas de conhecimento. Já no século XXI, um outro leitor desse mesmo autor certamente lerá de forma diferenciada, marcado pelo próprio movimento da história. (por exemplo, um estudante de ciências do ensino fundamental). O texto só tem sentido se é historicizado.

Essa forma de olhar a interpretação exige o entendimento de que, ao mesmo tempo em que a história muda, ela também permanece. Como autor, Van Helmont pretendia esclarecer aos seus pares que havia encontrado uma explicação contrária à de Aristóteles. Porém o sentido mudou, atualmente, nesse século, lemos o mesmo texto produzindo

51 Johan Baptiste van Helmont *Ortus Medicinæ* (Leyden, 1648), p. 109; English translation by J. Chandler, *Oriartrike* (London, 1662), p. 109. Apenas para contextualizar, van Helmont foi um dos pioneiros na pesquisa com fotossíntese no século XVII. Levantou a hipótese de que a planta se desenvolvia somente com água, contrariando Aristóteles (384-322 a.C.), o qual considerava que os vegetais se alimentavam diretamente do solo. Apesar de a água ter um papel vital no desenvolvimento das plantas, van Helmont não levou em conta o papel dos gases na atmosfera e nem da luz envolvidos no processo da fotossíntese, em função da própria época em que vivia. Porém houve um salto em relação ao que se pensava, dando origem a uma nova fase no estudo da fotossíntese.

outros sentidos, pois eles ganharam outros estatutos de dominância, tornando perceptível um certo movimento na ciência, podendo-nos indicar algum sentido da ciência como algo humano, portanto falível.

Gostaríamos também de trazer outros dois textos utilizados:

A quantidade de ar que até uma chama necessita é prodigiosa. Diz-se que uma vela consome, por assim dizer, cerca de quatro litros e meio de ar em um minuto. Considerando esse admirável consumo de ar, por fogo de todos os tipos, vulcões, etc. vem as constituir em importantes objetos de indagação filosófica, que alterações são produzidas na constituição do ar pelas chamas e a descoberta de que medidas são tomadas pela natureza para reparar os danos que a atmosfera recebe por esse meio. Joseph Priestley (1772)

Gabo-me de haver acidentalmente atinado com um método de restauração do ar que tenha sido danificado pela combustão de velas, e de descobrir pelo menos um dos restauradores que a natureza utiliza para essa finalidade. É a vegetação... De que maneira esse processo opera na natureza, para conseguir tão notável efeito, não pretendo ter descoberto. Joseph Priestley (1772)

Após a leitura dos textos solicitamos aos estudantes que respondessem as seguintes questões abertas: O que você não sabia? O que você já sabia? O que você achou mais interessante?

É bom ressaltarmos que a produção de sentidos envolve mecanismos de antecipação, ou seja, as expectativas que podem ser criadas sobre os interlocutores. Ao iniciarmos qualquer intervenção em aula estamos sujeitos ao mecanismo de antecipação, e a construção de sentidos é influenciada pela maneira como nossos estudantes representam as representações de seus interlocutores (no caso o professor). Dessa forma, nem sempre eles dizem o que realmente querem dizer, pois experimentam o lugar de seu ouvinte de seu próprio lugar, supondo o que o outro vai pensar, conforme nos alerta Orlandi⁵².

Ao analisarmos as respostas dos estudantes, tentando captar o funcionamento de textos dessa natureza, notamos que havia uma grande quantidade de manifestações especificamente sobre o texto: “Foi muito interessante..”; “Achei super interessante e adorei a leitura”; “Fotossín-

52 Eni P. Orlandi. A linguagem e seu funcionamento: As formas de discurso. Campinas-SP, 4ª ed. Pontes. 1996.

tese é um fenômeno legal e interessante”; “O texto mostra a história da descoberta da fotossíntese”.

Podemos notar que os estudantes utilizaram em seus comentários palavras da linguagem informal, tais como o uso de algumas gírias comuns à linguagem coloquial legal, o cara, curto muito..., o que usualmente não ocorre em aulas de ciências.

Acreditamos que o mecanismo de antecipação funcionou sobre a leitura do texto, através de questões abertas sobre o que entendeu ou não, possibilitando a liberdade de expressão. Também parece ter havido percepção de que não se sabe tudo e definitivamente, além do prazer de ler, o prazer em saber; “Eu não sabia quase nada agora sei mais um pouco”.

A partir de outras respostas, podemos dizer que os estudantes estabeleceram um diálogo com a professora: “Desse texto eu não sabia quase nada como você pode observar no trabalho que eu já te entreguei”. (grifos nossos)

O que queremos ressaltar é que a linguagem possui certas condições de produção, que são históricas, culturais e contextuais, produzindo diferentes interpretações nos sujeitos. Ainda tomando o exemplo do texto de Van Helmont, enfatizamos que quando os textos “violam” as normas do estilo científico, utilizando “eu” ou “nós” há certas “rupturas” que chamam a atenção dos alunos e fazem com que ocupem uma posição mais próxima da ciência e do cientista, aproximando assim o estudante do discurso científico.

Além da linguagem diferenciada, na primeira pessoa do singular, esses textos antigos traziam as interpretações sobre os fenômenos, as dúvidas e incertezas de seus autores, possuindo muitas vezes, equívocos e conflitos, os quais na época eram considerados verdades.

Essas leituras possibilitam uma noção de processo, fazem sentido quando pensamos a época em que foram escritos esses textos, trazendo a voz do cientista num outro momento da história, promovendo um certo entendimento de como a ciência é uma construção humana, portanto sujeita a erros, um produto cultural inacabado.⁵³

53 Conforme comentado em Souza, S. C. & Almeida, M.J.P.M. Leituras na mediação escolar em aulas de ciências: a fotossíntese em textos originais de cientistas. Pro-posições Revista Quadrimestral, FE-Unicamp, vol. 12, n. 1 (34), 2001.

Consideramos também que essa forma de olhar a leitura envolve outros mediadores da linguagem, como a escrita, a experimentação e muita discussão, trazendo outros sentidos e vozes dos alunos para um mesmo texto, possibilitando diferentes interpretações. Dessa forma, a leitura, escrita ou experimentação, trabalhadas como mediadores culturais permitem que se possa ter a pretensão de que o estudante tome gosto pelo conhecimento, criando inclusive condições para que continue a se informar sobre ciências mesmo fora da escola.

TERCEIRA PARTE
FOTOSSÍNTESE E LUZ

ALGUMAS ATIVIDADES

Apresentamos nessa parte subsídios de nossas vivências em salas de Aula de escolas públicas, as quais foram bastante prazerosas e positivas, para que o leitor desse trabalho faça suas interpretações e extraia daí suas próprias conclusões e ações. Pois, conforme vimos afirmando, mesmo numa dada cultura e num dado momento histórico-cultural, a leitura de um poema, a observação de um quadro ou ouvir uma música podem ser interpretados de formas diferenciadas. Por exemplo, a frase “a esperança é a última que morre” pode significar para um biólogo bem humorado ao fazer seu insetário, que este inseto - esperança (Orthoptera: Tettigoniidae) - será sacrificado por último.

Portanto, considerando que o leitor interpreta os textos que lê e que as interpretações se diferenciam de pessoa para pessoa, esperamos que as atividades aqui apresentadas apenas auxiliem o professor a achar seu próprio caminho.

ATIVIDADE 1: DIALOGADA

Resgatando os conhecimentos sobre a fotossíntese

Partindo do pressuposto que a história da construção do conhecimento é importante, procuramos levantar os conhecimentos apropriados sobre a fotossíntese pelo aluno ao longo de sua vida e observar como esses contatos influenciaram o seu modo de pensar o fenômeno.

Para tanto, tentamos resgatar esse conhecimento com algumas questões levando em conta alguns estudos anteriores sobre as concepções alternativas. Elas foram recortadas e fornecidas aos alunos uma a

uma, separadamente, pois algumas delas poderiam induzir as respostas a outras perguntas, principalmente a primeira que enfoca a luz sem fazer qualquer menção direta à fotossíntese.

Questões

- 1) Na sua opinião como as plantas e animais aproveitam a luz do sol?
- 2) Você já ouviu falar em fotossíntese? O quê?
- 3) Você já leu algo sobre fotossíntese? O quê?
- 4) Tente montar uma frase que inclua todas as palavras mencionadas abaixo:

Cor verde das plantas

Luz

Sociedade

Fenômenos da natureza

Para nós, o objetivo mais importante neste primeiro momento, era a possibilidade de capturarmos algumas idéias dos alunos sobre a fotossíntese. Ouvimos dos alunos que “fotossíntese eles já sabiam”. Essa sensação do “já sabido” muitas vezes produz um conhecimento vago, que imobiliza o pensamento. Perante a complexidade do fenômeno e das inúmeras concepções alternativas presentes, há um sentimento de que tudo se sabe e a conclusão de que nada precisa ser aprendido.

Então, outro objetivo passou a ser fazer com que eles percebessem que iriam estudar a fotossíntese de forma mais aprofundada.

Para tanto, a discussão posterior ao questionário foi demasiadamente importante, para uma ruptura com o conhecimento vago que até então os alunos possuíam sobre a fotossíntese. Um dos grandes aliados dessa ruptura foram as concepções alternativas. Ao apontarmos algumas delas nas respostas dos alunos, principalmente as que apareceram com maior frequência, por exemplo, que a respiração apresenta o mesmo sentido da fotossíntese, pudemos discutir sobre a confusão que geralmente as pessoas fazem de uma forma geral, quando explicam esses dois fenômenos.

Com isso, surgiram oportunidades de colocarmos mais questões que ampliaram (ou iniciaram?) as dúvidas sobre a construção do conhe-

cimento do fenômeno e fizeram com que os alunos pudessem refletir um pouco sobre a complexidade desses conhecimentos: “O oxigênio que é formado no processo da fotossíntese vem da água ou do gás carbônico? Se o verde é refletido o que acontece com os outros comprimentos de onda da luz? Existe algum (comprimento de onda) que é mais absorvido que os outros? E quando a planta não é verde?”

Essa aula, do tipo “exposição dialogada” serviu de estopim para o início do trabalho. Como notamos que os alunos faziam pouca relação entre a fotossíntese e a produção de alimentos (por exemplo, perguntamos sobre o que a pipoca que uma aluna comia tinha a ver com a fotossíntese, houve muita dificuldade e nenhum aluno respondeu), pois relacionavam-na com a produção do oxigênio, resolvemos desenvolver a atividade seguinte para focar esse assunto.

ATIVIDADE 2: PRÁTICA

Teste do amido

O passo seguinte foi tentar estabelecer a importância da produção dos alimentos no processo da fotossíntese. Era uma atividade que consistia basicamente em pingar a solução de Iodo (que possui cor laranja) nos alimentos. Quando há presença do amido (produto da fotossíntese que são carboidratos com um alto teor energético e pobres em vitaminas e proteínas) os alimentos ficam arroxeados.

Geralmente, em atividades práticas em que se utiliza a solução de Iodo o objetivo quase sempre é detectar a presença de amido, para realizar a classificação de alimentos conforme seu índice nutricional. Contudo nesta atividade, o objetivo era fazer uma reflexão sobre a origem do amido, além do estabelecimento da importância da fotossíntese na cadeia alimentar e a produção de alimentos na fotossíntese.

Para tanto, vários alimentos foram utilizados, tanto de origem vegetal, quanto de origem animal. Nos de origem vegetal, contemplou as várias partes de uma planta superior (raiz, caule, folha, flor, fruto e semente). Além disso, procuramos também examinar o amido nos alimentos cozidos ou triturados, enfim modificados pela ação do homem.

Foi solicitado que separassem os alimentos em três grupos: vegetais crus (caule, raiz, folha, fruto, semente), de origem animal (leite,

ovo), alimentos modificados pelo homem (farinhas, pão, macarrão, arroz branco). Para descontraír estouramos pipoca e levamos aos alunos. Mais que testar a presença do amido, essa parte da aula certamente foi um momento agradável.

Origem do amido

Você já sabe que os vegetais produzem alimentos através de um fenômeno da natureza - a fotossíntese. Esse alimento produzido tanto por algas unicelulares como por grandes árvores, é utilizado por eles próprios, ou seja, como os vegetais são seres vivos e precisam de energia, os alimentos que eles fabricam (com a energia da luz) são em benefício próprio.

No entanto, outros seres vivos também precisam de energia e acabam se utilizando da energia produzida pelos vegetais, não somente os animais de grande porte, mas também seres unicelulares, por exemplo, alguns protozoários de vida livre.

Além disso, você também já sabe que os alimentos possuem diferentes nutrientes, como as proteínas, as vitaminas e os carboidratos entre outros, e que essa diversidade é muito importante para nossa saúde.

Sendo o amido um tipo de carboidrato qual será sua origem? Como será sua produção?

Primeiramente vamos detectar onde ele está presente:

A) Para observarmos isso, utilizaremos uma substância que muda de cor em presença do amido. Ela é chamada solução de Iodo. Identifique os alimentos que em contato com o iodo modificam sua cor. Organize sua observação numa tabela da seguinte forma:

- 1) vegetais crus (fruto, folha, semente, raiz, caule)
- 2) alimentos de origem animal
- 3) vegetais modificados pelo homem (triturados, cozidos, etc)

Obs. Preste atenção se o iodo penetrou no vegetal em observação.

B) Questões para reflexão:

Suponhamos que você é o primeiro pesquisador a perceber que o iodo modifica a cor de alguns vegetais e que através de suas pesquisas, além de outras leituras que você já fez, você já sabe que as plantas

fazem fotossíntese geralmente nas folhas, e com isso produzem glicose (um tipo de açúcar). Baseado nisso responda:

Se o amido é feito na folha como ele é encontrado em grande quantidade nas raízes da batata por exemplo?

Como você explicaria a origem do amido?

Na sua opinião ele também pode ser encontrado no solo, antes de estar na planta?

Por quê alguns vegetais armazenam mais amido que outros?

Quais são as condições para que haja produção de amido?

Por que é importante comermos alimentos diferenciados?

Uma Tabela foi solicitada para o registro dos dados obtidos.

TIPOS DE ALIMENTOS				

Durante as observações, muitas questões surgiram:

“Por que fica roxo professora?” (qual o motivo da mudança de cor);

“Por que o leite “ferve?”” (o leite não muda a sua cor, porém há uma reação quando o Iodo é colocado, uma espécie de borbulhar sem aumento de temperatura);

“Por que a folha de papel fica roxa? O papel tem amido?” (a matéria prima vem das árvores e as plantas fazem fotossíntese, portanto...);

“Na terra têm amido?” (já que as raízes estão próximas dela, a planta somente estaria absorvendo o amido...);

“Se o amido é um tipo de açúcar, por que o macarrão é salgado?” (já que o açúcar é doce...);

“Por que o açúcar não fica roxo?” (já que ele é também feito por plantas e contém glicose...).

Posteriormente na discussão com a classe toda fizemos um levantamento de todas as respostas. Observamos principalmente a questão do equívoco relacionado a absorção direta do amido pela raiz. Por exemplo, no caso da mandioca que possui um reservatório de amido em sua raiz os estudantes voltaram a considerar que a planta absorveu o amido diretamente do solo, sem levar em conta que o amido é produzido na folha e posteriormente levado à raiz para armazenamento.

ATIVIDADE 3: TEXTO

O texto “A natureza da luz⁵⁴” foi utilizado como próximo passo na aplicação da proposta de ensino da fotossíntese. Com algumas questões no final, o texto retomou algumas informações sobre as ondas eletromagnéticas, com o intuito de problematizarmos a questão da luz no processo da fotossíntese. (“Se a cor verde é refletida, quais são as ondas absorvidas?”)

A natureza da luz

Todos os tipos de energia radiante têm certas propriedades em comum: por exemplo, todos eles têm, no vácuo, velocidade de 300 mil quilômetros por segundo; todos eles podem ser imaginados como ondas. Cada um deles tem comprimento de onda (distância entre as cristas de duas ondas consecutivas) diferente. Cada um deles transporta quantidade de energia diferente: as ondas de rádio têm longos comprimentos de onda e pouca energia, os raios X têm pequenos comprimentos de onda e muita energia.

Os tipos de energia radiante vão desde as ondas de rádio até os raios X ou raios gama. Os físicos chamam a esse conjunto de espectro eletromagnético e qualquer porção do espectro é conhecida como faixa. As ondas de rádio têm 500 metros de comprimento, isto é, 500 metros de crista a crista, enquanto que os raios X têm um bilionésimo de centímetro de comprimento de onda. Entre esses extremos estão as faixas de radiações ultra violeta, de luz visível e de radiações infravermelhas.

A luz portanto é uma pequena parte da energia conhecida como energia radiante. É a parte a qual nossos olhos são sensíveis Quando a luz visível atinge um objeto, três coisas podem acontecer:

- pode atravessar o objeto, se este for transparente;
- pode sofrer reflexão, se a superfície do objeto for polida, como a de um espelho;
- ou ser absorvida por um objeto, por exemplo quando a luz incide sobre uma roupa preta.

Esses fenômenos podem ocorrer ao mesmo tempo podendo haver predominância de um deles. Um exemplo disso, é quando vemos através de um material transparente e colorido, os objetos aparece-

⁵⁴ Texto adaptado do livro Biologia (BSCS) Parte I cap. 09 – S.Paulo, Edart, 1967 e Física (PSSC) Parte II cap. 11 –São Paulo: Edart, 1972.

rem em cores diferentes. Por exemplo, quando vamos ao circo em pleno sol do meio dia e a lona do circo modifica as cores dos objetos que estão dentro do circo! Esses materiais transparentes, sem dúvida, afetam, de algum modo a luz que o atravessa.

Qual a sua opinião a esse respeito: Será que os materiais transparentes adicionam ou tiram “algo” da luz?

À primeira vista, pode parecer uma pergunta difícil; entretanto, algumas experiências simples nos fornecem uma resposta. Antes de mais nada, observe o comportamento da luz do Sol ou de uma lâmpada elétrica, quando ela atravessa uma placa de vidro vermelho ou papel celofane da mesma cor, incidindo numa folha de papel branco. O papel, então aparece vermelho.

Apesar da luz ser branca, o vidro vermelho afetou de algum modo a luz, fazendo-a aparecer vermelha. Suponha que se colocarmos uma segunda placa de vidro vermelho entre a primeira e a nossa vista, de modo que a luz deva atravessar ambas as placas. O que pode acontecer? A cor vermelha ficaria mais ou menos forte?

Hipóteses:

Se o vidro adiciona algo à luz, o papel apareceria com um vermelho mais brilhante que antes.

ou

Se ele retira “algo”, é de se esperar que grande parte deste “algo” seria removido pela primeira placa de vidro.

Qual das duas hipóteses pode estar correta? Se realmente fazemos uma experiência com duas placas de vidro vermelho, percebemos que a segunda tem pequeno efeito, ficando a luz vermelha menos forte que apenas uma placa de vidro.

Podemos explicar a pequena mudança de cor, dizendo que só uma placa não retira completamente as partes não vermelhas da luz, resta algo para o segundo vidro vermelho absorver.

Podemos fazer a mesma experiência, usando duas placas de vidro verde, ao invés do vermelho. Como seria de esperar, a segunda placa verde tem pequeno efeito

Que aconteceria, então se experimentássemos o verde e o vermelho em conjunto?

O que sobra não será vermelho nem verde. Neste estágio de nossa investigação, ainda não conhecemos suficientemente o processo de subtração para prever que cor aparecerá, mas certamente podemos dizer que muito menos luz nos alcançará após atravessar as duas placas de vidro, do que após atravessar qualquer uma delas. Fazendo esta experiência, podemos perceber, que o brilho do papel fica enormemente reduzido, e que a leve coloração remanescente não é vermelha nem verde, mas sim um tênue amarelo ou âmbar. Este resultado nos responde a primeira questão, ou seja, algo é retirado da luz.

Mas o que é esse “algo” que se subtrai da luz branca para lhe dar cor?

Como qualquer artista plástico lhe diria, a cor que você vê é determinada pela natureza do objeto iluminado, pela natureza da luz que o ilumina, e pela condição de seu olho no momento em que a cor é vista. Ela depende, também dos outros objetos que você vê, ao mesmo tempo.

Quando os vidros vermelho e verde são colocados em conjunto, vão retirar quase tudo à luz branca. A maior parte dos materiais comuns vão além, e refletem ou absorvem totalmente a luz branca, não permitindo a transmissão da luz (materiais não transparentes).

Como podemos relembrar a luz branca é mais complexa que a luz de uma só cor, pois ela é composta por luz de diferentes cores: violeta, azul, verde, amarelo, alaranjado e vermelho.

Então, se um feixe de luz incide sobre um vidro vermelho, este transmite e reflete grande parte da luz vermelha e os demais comprimentos de onda são quase totalmente absorvidos.

A faixa de luz visível, geralmente conhecida como espectro de luz, é de particular interesse no estudo da fotossíntese, pois é a partir da absorção de alguns comprimentos de ondas que esse fenômeno acontece. Quais desses comprimentos são utilizados no processo da fotossíntese pelos vegetais?

Questões:

- 1) Em que uma onda de rádio difere de uma onda de raio X?
- 2) Um transmissor de satélite emite certo sinal de rádio para a Lua, recebendo a reflexão 2,7 segundos depois. Que resultado podemos

- calcular entre a distância da terra e da lua sabendo-se que as ondas percorrem 300.000 quilômetros por segundo?
- 3) Como você explica que o vidro transparente vermelho transmita ou reflita apenas a cor do vidro? O que acontece com as outras cores?
 - 4) Sabendo-se que a maioria das plantas são verdes, qual o comprimento de onda de luz branca você supõe que não é utilizado na fotossíntese?

ATIVIDADE 4: TEXTO

A nutrição dos vegetais

Em nossa aula de identificação do amido pudemos observar e constatar várias coisas:

- alguns vegetais tem mais amido que outros;
- no solo não existe amido, pois ele é fabricado pelas plantas, principalmente pelas folhas, apesar de algumas raízes possuírem bastante amido, isso não significa que ele é produzido nesse local, ele é apenas transportado para lá;
- o amido é uma molécula grande que contém várias moléculas de glicose. Quando comemos alimentos com amido, ele é quebrado pela saliva liberando a glicose, por isso é possível dizer que esses alimentos são bastante energéticos, porém precisamos de outros tipos, que contenham vitaminas e proteínas, pois cada um exerce uma função diferente no organismo;
- quem produz o amido geralmente é a folha e as condições para sua produção é que haja gás carbônico (CO_2), água (H_2O) em presença de luz que se transforma em glicose e oxigênio. Várias moléculas de glicose formam uma molécula de amido.

Com exceção de alguns microrganismos, que também fazem fotossíntese, os vegetais (inclusive as algas marinhas) são responsáveis diretos pela produção de oxigênio (O_2) e pela fabricação de alimentos, através de compostos simples como a água (H_2O) e o dióxido de carbono (CO_2).

Não é incrível que a partir de um gás e um líquido, o vegetal produza oxigênio e alimento? Pois é, já há algum tempo, a ciência tem investigado que substâncias como o amido, as proteínas, gorduras, vitaminas são produzidas pelos vegetais. Por isso, eles são chamados de produtores e como os animais consomem as substâncias que os vegetais produzem são chamados de consumidores.

Porém existe muita confusão por parte das pessoas quando pensam na produção de alimento pelo vegetal, pois muitos consideram

que eles somente são absorvidos pelas raízes sem que haja qualquer transformação na planta. Essa idéia já foi aceita pela ciência em determinadas épocas. Por exemplo, Aristóteles (384-322 a.C.) considerava que as plantas retiravam o alimento diretamente do solo. Como as plantas crescem no solo é fácil confundir, que o material que as compõe seja retirado dele e não transformado dentro delas.

Somente há 300 anos atrás quando van Helmont (1577-1644) fez um experimento bem interessante que contrariou essa forma de pensar. Vamos conhecê-lo nas próprias palavras desse cientista:

“Tomei um vaso de barro, no qual coloquei 100 quilogramas de terra que havia secado em um forno e que umedeci com água de chuva e ali plantei o caule de um salgueiro que pesava dois quilogramas e meio. E eis que, passados cinco anos, a árvore que ali se originou pesava cerca de 80 quilogramas. Quando era necessário, eu sempre umedecia o vaso de barro com água de chuva ou água destilada, e o vaso era grande e estava implantado na terra. Para que a poeira levada pelo vento não se misturasse à terra do vaso, cobri-lhe a abertura com uma placa de ferro revestida de estanho e com múltiplas perfurações. Não computei o peso das folhas que caíram em quatro outonos. Por fim, tornei a secar a terra do vaso e ali encontrei os mesmos 100 quilogramas, com alguns gramas a menos. Portanto, 80 quilogramas de madeira, cortiça e raízes, surgiram unicamente a partir da água.”

Observe o desenho:



PESO DA ÁRVORE = 2,5 kg	PESO DA ÁRVORE=77,1kg
PESO DA TERRA = 100 kg	PESO DA TERRA= 90,8 kg

Figura 1 – Experiência de van Helmont. Ele concluiu que o aumento do peso revelado pela planta era inteiramente devido à água que lhe havia fornecido durante o período de cinco anos.

Você concorda com a última frase de Van Helmont? Por quê?

Nessa época ainda não se havia inventado o microscópio e ainda não se pensava na participação da atmosfera no processo da fotossíntese, por isso van Helmont atribuía toda a transformação observada resultante da água.

Mas como podemos saber se o oxigênio realmente é produzido na fotossíntese?

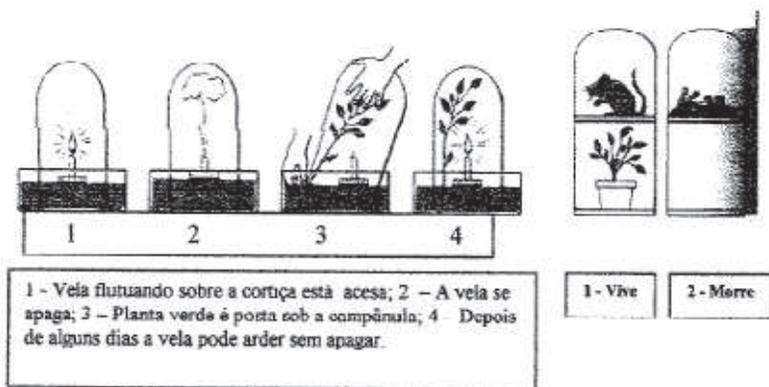
Em 1770 o pastor inglês Joseph Priestley (1733-1804) foi mais um passo adiante na descoberta dos processos da fotossíntese. Como químico Priestley também se interessava pela investigação dos gases envolvidos na vida vegetal. Através de experimentações compreendeu que velas acesas e animais “prejudicavam” o ar tornando-o incapaz de permitir vida.

“A quantidade de ar de que até uma chama necessita é prodigiosa. Diz-se geralmente que uma vela comum consome, por assim dizer, cerca de quatro litros e meio de ar em um minuto. Considerando esse admirável consumo de ar, por fogo de todos os tipos, vulcões, etc., vêm a se constituir em importantes objetos de indagação filosófica, que alterações são produzidas na constituição do ar pelas chamas e a descoberta de que medidas são tomadas pela natureza para reparar os danos que a atmosfera recebe por esse meio”.

Priestley estava muito perto de resolver seu problema. Pensava em hipóteses que pudessem dar conta da restauração do ar na natureza. Para ele não poderia existir vida por muito tempo se não existisse essa função de restauração. Até que acidentalmente fez uma descoberta importante:

“Gabo-me de haver acidentalmente atinado com um método de restauração do ar que tenha sido danificado pela combustão de velas, e de descobrir pelo menos um dos restauradores que a natureza utiliza para essa finalidade. É a vegetação... De que maneira esse processo opera na natureza, para conseguir tão notável efeito, não pretendo ter descoberto.”

Para termos idéia dos experimentos de Priestley é simples. Observe o desenho:



Realmente Priestley não chegou a descobrir todo o processo (na verdade ainda hoje estamos tentando descobrir), mas a sua conclusão de que as plantas revertiam os efeitos da respiração e purificavam o ar foi um passo a mais na construção desse conhecimento científico. Na época suas conclusões foram recebidas com severas críticas por outros pesquisadores, porque os mesmos não conseguiam obter os mesmos resultados. (talvez por fazerem seus experimentos em locais escuros).

Hoje sabemos que o oxigênio é indispensável para a queima de qualquer combustível: parafina, álcool, gás, fogão, carvão, lenha, etc. Mas não é apenas na queima que ele é consumido: a maioria dos seres vivos consome esse gás na respiração. Assim, se colocarmos um animalzinho sob a campânula, ele morre em pouco tempo por falta de oxigênio.

Bibliografia

- Amorim, A.C.B. & Braúna, R.C. *A nutrição dos vegetais*. Texto de apoio.
 Baker, J.J.W. & Allen, G. E. *Estudos de Biologia* - Vol. 1. São Paulo, Ed. Edgar Blücher Ltda., 1975.
 L.K. Nash *Plants and Atmosphere*, Harvard Case Histories in Experimental Science. Vol.II (Cambridge: Harvard University Press, 1957) pp325-436.

Questões:

- 1- Escreva o que você NÃO SABIA desse texto.
- 2- Escreva o que você JÁ SABIA.
- 3- Escreva o que você ACHOU MAIS INTERESSANTE.
- 4- Escreva o que você NÃO GOSTOU OU CRITICA.

ATIVIDADE 5

Construindo um terrário

Enfatizamos esses aspectos anteriores relativos à história, quanto à produção de alimentos e oxigênio pelos vegetais, e sabendo que ainda poderia haver o problema da confusão entre respiração e fotossíntese, propusemos a construção de um para tentar derrubar o mito da Respiração X Fotossíntese?

1) O que pode acontecer com uma planta se ela ficar no escuro? E se ela ficar no claro? Para conseguirmos essa resposta iremos fazer o seguinte experimento.

- A) Coloque em um vidro transparente (de maionese, palmito, etc) camadas de mais ou menos 1 cm de altura de areia e solo de jardim. Plante uma muda de algum vegetal de preferência folhagens, pois são mais resistentes. Coloque um pouco de água e forre a boca do vidro com papel filme (magipack). Anote o dia em que você fez o terrário.
- B) Para que você consiga responder a questão feita acima deixe um terrário onde haja luz e faça um segundo colocando-o no escuro.
- C) Anote o resultado depois de 10 dias.

Em sua opinião, essa plantas morrerão? Por quê?

Quais os componentes vivos e não vivos do terrário?

2) OBSERVANDO A PRODUÇÃO DE GASES

Para discutirmos essa questão vamos fazer um pequeno experimento. Se pegarmos um uma planta aquática (Elodea) e a colocarmos num tubo de ensaio imerso na água e completamente cheio de água em presença de luz podemos perceber que uma pequena quantidade de um gás é produzido. Que esse gás é esse?

Se a planta respira por quê ela produz esse gás?

Percebemos que quase todos os estudantes disseram à primeira vista que a planta não iria sobreviver. Nosso papel nesse momento foi o de colocar dúvidas nas cabeças dos alunos, pois é um bom momento para que entrem em conflito com idéias cristalizadas.

Os que respondem pela sobrevivência da planta foram questionados sobre como a planta conseguirá os reagentes para fazer a fotossíntese, ou seja, o gás carbônico e a água, pois sabíamos de antemão

sobre a confusão entre respiração e fotossíntese. No caso, ocorreu um conflito quando pensavam na produção do gás carbônico já que para tal era preciso que houvesse respiração no vidro fechado. Percebemos indagações como: “Se o vidro está fechado e a planta produz oxigênio como ela consegue o gás carbônico?”

Como alguns estudantes achavam que a fotossíntese é a respiração, alguns chegaram a apagar e refazer a resposta como veremos nos quatro tipos de justificativas abaixo:

- Falta de gás carbônico:

A planta que vai receber luz vai ficar sem gás carbônico e vai acabar morrendo.

Nós achamos que ela não irá sobreviver. Porque ela precisa de gás carbônico e luz. Não realizará a fotossíntese.

- Falta de gás oxigênio:

Eu acho que a planta não vai sobreviver pois não há oxigênio dentro do vidro. Sua respiração não irá funcionar.

- Falta de ar:

Não porque o vidro não tem furos, e tem água suficiente para ela crescer, ela irá precisar de ar e o plástico impedirá o crescimento da planta, aonde ela morrerá.

Sem ar por causa do magipack (plástico) não há como fabricar a glicose.

- Não consegue respirar:

Nós achamos que ela (a planta) não vai sobreviver, pois ela não consegue respirar.

Para trazer a respiração para a discussão, utilizamos alguns recursos no discurso, como certas analogias. Ao perguntarmos o que acontecerá ao nosso dedo quando a circulação do sangue pára (no caso quando se aperta com uma linha, por exemplo), eles tiveram dificuldade em relacionar esse fato à respiração celular, realizada pelas mitocôndrias em todas as células do nosso corpo, para a produção de energia. Portanto, as discussões foram no sentido de esclarecer também o que é a respiração.

Ao abrirmos espaço para a explicação da respiração celular pelos seres vivos, motivo pelo qual há convergência nos processos de digestão e respiração, quando glicose e oxigênio se encontram no interior da célula (mitocôndria), produzindo gás carbônico e água, surgiram outras relações com o conhecimento adquirido em outras séries, ou mesmo em programas de TV, que pareciam fazer sentido. Um sentido para a ciência! Assim outras dúvidas apareceram: “Então uma ameba respira? Que tipo de energia a célula produz” (quando respira)?

Também foram colocados em alguns terrários pequenos animais (tatu-bola, mosca), para discutirmos a questão da respiração. Em vários momentos surgiram questões do tipo: “Mas o mosquito respira?”

Estes foram momentos de aparente ruptura com as concepções alternativas na medida em que os alunos precisavam formular outras hipóteses e repensar suas conclusões prévias diante de contradições encontradas.

Também pudemos argumentar a respeito dos ciclos biogeoquímicos, tentando uma generalização daquele pequeno ecossistema com o planeta Terra, colocando as diversas interações ecológicas, como por exemplo, o ciclo da água e do nitrogênio, culminando numa certa percepção sobre a incompletude do conhecimento - ninguém sabe tudo - e na intertextualidade – as coisas têm relações com as outras.

ATIVIDADE 6: TEXTO

“Iluminando” o fenômeno da fotossíntese

Um dos primeiros cientistas a se preocuparem com a luz no fenômeno da fotossíntese foi o alemão T.W. Engelman, o qual provou que a clorofila absorve determinados comprimentos da luz branca. Em 1881, utilizando-se de uma alga, (a *Cladophora*) e bactérias aeróbias que procuram altas concentrações de oxigênio, pode constatar que através da decomposição da luz (num diminuto espectro luminoso) incidida em um pequeno filamento da alga, havia maior ou menor concentração de bactérias dependendo das cores do espectro. Em outras palavras, ele concluiu que em determinados comprimentos de onda, a fotossíntese era mais intensa, pois onde havia maior quantidade de oxigênio, havia maior con-

centração de bactérias. Isso mostra que a fotossíntese possui um “espectro de ação”, ou seja, os diferentes comprimentos de onda da luz branca.

Reuna-se com seu grupo e planeje um experimento onde você possa constatar quais são esses comprimentos de onda que atuam mais intensamente no processo da fotossíntese.

No desenvolvimento do conhecimento do conceito, F.F.Blackman no início deste século mediu a produção de O₂ de uma planta aquática denominada *Anacharis densa* mediante a sua exposição a várias intensidades luminosas. Verificou que muito ao contrário do que se pensava ou se pensa até hoje, a eliminação de O₂ depende diretamente da intensidade da luz somente dentro de uma faixa limitada. Ou seja, aumentos na intensidade da luz não resultavam em aumento progressivo do oxigênio produzido. E o contrário também ocorria, quando a diminuição da luz chegava a zero a taxa de O₂ diminuía ou cessava por completo. Concluiu também que a luz seria responsável por uma parte do processo (reação no claro) a outra talvez pudesse ocorrer no escuro. Somente anos mais tarde sua hipótese pode ser confirmada.

Você já sabe que uma das cores menos utilizadas no processo da fotossíntese é a verde, pois geralmente as cores que enxergamos são as que são refletidas dos objetos. Portanto para procurarmos resolver esta questão que tal pensarmos num experimento?

No entanto, uma dúvida pode aparecer: se a cor verde é refletida, qual a cor que é absorvida pela planta?

ATIVIDADE 7: MÚSICA

“LUZ DO SOL” - Caetano Veloso

Luz do sol
Que a folha traga e traduz
Em verde novo
Em folha em graça em vida em força e luz
Céu azul que vem até onde os pés tocam a terra
E a terra inspira e exala seus azuis
Reza reza o rio
Córrego pro rio, rio pro mar

Reza correnteza roça a beira, areia
Marcha o homem sobre o chão
Leva no coração uma ferida acesa
Dono do sim e do não
Diante da visão da infinita beleza
Finda por ferir com a mão essa delicadeza
A coisa mais querida
A glória da vida
Luz do sol que folha e traduz
Em verde novo
Em folha em graça em vida em força e luz

ATIVIDADE 8 – TEXTO

Sobre a luz: percepção e conhecimento⁵⁵

A luz está associada a importantes dúvidas da ciência, e questões que parecem definitivamente resolvidas, produziram no passado muita polêmica. Há muito tempo ela tem sido tema de investigação e ocupado o pensamento de ilustrae estudiosos. Entre eles citamos aqui: Euclides (séc. III a.C.); Aristóteles (348-322 a.C.), Huygens (1629- 1695), Newton (1642 – 1727), Young (1773 -1829), Maxwell (1831 – 1879), Einstein (1879 – 1955), entre muitos outros.

As dúvidas sobre a luz podem estar relacionadas à sua natureza, ou seja, à questão: o que é a luz? Podemos também querer identificar a origem da luz; neste caso pode ser formulada a seguinte pergunta: como a luz é produzida? Podemos ainda buscar informações sobre como a luz se propaga, sobre o que ocorre com seres vivos quando são expostos à luz, sobre como ela possibilita a obtenção de informações, sobre a utilidade da luz no desenvolvimento da medicina e de outras áreas de conhecimento. E uma preocupação bastante pertinente no mundo atual deve ser a de se evitar que descobertas relativas à luz e a outras radiações sejam utilizadas na construção de mais instrumentos bélicos.

55 Texto anteriormente incluído numa publicação interna da FE UNICAMP em 1993, de autoria de Maria José P. M. de Almeida e Paulo César de Almeida Raboni: Textos de apoio ao ensino - a luz vendo através de um óculos.

Essas questões não são independentes umas das outras, mas, às vezes, para efeito de estudo são focalizados apenas alguns aspectos particulares.

Percebendo a Luz

A luz se manifesta no nosso dia a dia de várias maneiras. Percebemos alternadamente a presença e ausência da luz solar devido ao movimento de rotação da terra; notamos estrelas no céu, lâmpadas no ambiente, o acender e apagar de um vaga-lume, e “sentimos” muitos outros objetos luminosos. Notamos também a Lua e objetos como os olhos de gato nas estradas. Estes últimos, embora não emitam luz, a refletem para os nossos olhos.

Alguns objetos se destacam de outros pela forte claridade que apresentam, mas a luz não é responsável apenas pela percepção que temos desses objetos. Graças a ela podemos ver tudo que nos rodeia. É compreensível, portanto, que questões relacionadas à visão dos objetos tenham motivado algumas das primeiras dúvidas e explicações sobre o comportamento da luz. Hoje essas questões já estão resolvidas. Sabemos que, é necessário que os objetos emitam ou reflitam luz para que possamos vê-los. E para entendermos os mecanismos da visão e o funcionamento de um simples óculos, destinado a melhorá-la, é necessário conhecermos as propriedades da luz.

Por outro lado, a idealização, construção e utilização de instrumentos como lupas, microscópios e telescópios, que têm permitido ao homem ver objetos menores, com mais detalhe, mais longe e num campo de visão maior têm contribuído para novas descobertas sobre fenômenos luminosos.

E não é só com a visão que o homem tem se preocupado. A descoberta de novas propriedades sobre a luz tem levado à criação de inúmeros dispositivos com os quais já nos acostumamos em nossa sociedade, como, por exemplo a ponteira LASER. Dispositivos semelhantes são utilizados em pesquisas físicas, na medicina, em telecomunicações, etc.

Também é verdade que, embora a visão seja responsável pela captação de um número incalculável de informações sobre o mundo que nos rodeia, não é apenas com esse sentido que podemos perceber a luz. Todos podemos notar o calor que acompanha a radiação luminosa.

Pensando a Luz

Apesar de podermos perceber constantemente a presença da luz, não é tão fácil notarmos a grande quantidade de processos de que ela faz parte. Dentre eles, a fotosíntese é sem dúvida o principal, pois ela é a fonte do alimento que mantém a vida. Mas, esse processo químico não será detalhado neste texto. Aqui vamos focar alguns aspectos do estudo da luz relacionados à construção de conhecimento pela ciência física.

São muitos os fenômenos que podemos notar na natureza e cuja compreensão depende de conhecimentos relativos à maneira como a luz se comporta. Entre eles podemos citar: o aparecimento eventual de um arco-íris depois de um dia de chuva; a aparência estranha de uma pessoa sentada na beira de uma piscina, com as pernas mergulhadas na piscina, quando observada por alguém dentro da piscina; a difícil pontaria quando se procura atingir um peixe de fora da água; a constatação de que quando levantamos o braço direito, olhando para um espelho, a nossa imagem parece levantar o braço esquerdo.

Na construção do saber, que possibilita a compreensão desses e de muitos outros fenômenos, são criadas teorias cuja produção envolve conceitos e procedimentos variados. E é a partir dessas teorias que podemos compreender uma enorme variedade de instrumentos, desde os que nos parecem hoje bem simples, como o óculos, até, por exemplo, os mais complexos sistemas de telecomunicações. Essas teorias são expressas e, inclusive, se utilizam na sua construção uma linguagem própria.

Feixe, pincel e raio luminoso são exemplos de noções presentes na linguagem da óptica, a parte da física que estuda a luz. Nela como em todas as ciências, encontramos leis e modelos, ou teorias com as quais os cientistas procuram explicar os fenômenos da realidade perceptível, e avançam também na “criação” de fenômenos que antes não haviam sido notados.

Enquanto os cientistas em seus estudos utilizam dispositivos variados, uns mais simples outros mais sofisticados, para avançar no conhecimento sobre a luz, e criam, por outro lado, dispositivos a partir das teorias que produzem, nós para compreendermos o conhecimento historicamente acumulado pelo cientista podemos nos valer de vários recursos.

Vamos nos referir aqui a um dispositivo bastante simples que nos permite notar algumas regularidades nos fenômenos luminosos.. Vamos pensar num pincel de luz produzido com o seguinte dispositivo: uma caixa opaca com uma fenda de abertura variável contendo uma lâmpada de filamento reto colocada na parede oposta à da fenda e com o filamento paralelo à fenda. Acendendo a lâmpada e estreitando a fenda damos origem a um pincel bem fino. Se incidirmos esse pincel em: espelhos, prismas, lâminas transparentes de faces paralelas, e outros dispositivos, nós podemos observar o que ocorre com a luz quando ela encontra a superfície de separação entre dois meios materiais diferentes. No caso, o ar e o objeto no qual fazemos o pincel incidir. Procedimentos, como esse, nos permitem perceber regularidades no comportamento da luz, como as seguintes:

- A luz caminha em linha reta. Uma evidência disso são as sombras produzidas quando um objeto opaco se interpõe no seu caminho;
- Quando um pincel de luz incide na superfície de separação entre dois meios materiais, parte da luz desse pincel é refletida para o meio de onde incide a luz e parte passa para o outro meio. A quantidade de luz refletida e a quantidade que passa para o outro meio dependem de características dos dois meios e do ângulo de incidência. Se, por exemplo, um meio for o ar e o outro um espelho, quase toda a luz que incide no espelho é refletida.

O estabelecimento dessas e de outras regularidades, não depende apenas de observações empíricas com dispositivos adequados; não é apenas pela percepção das coisas que se faz ciência, que o conhecimento é construído. A compreensão do comportamento da natureza tem exigido muita imaginação criadora na idealizadora na localização de esquemas de modelos e na operação com linguagens, visando notar regularidades e expressá-las na forma de leis. E essas leis, embora ajudem a compreender fenômenos observáveis, não se confundem com eles.

Uma lei não expressa exatamente aquilo que percebemos com os sentidos. Para exemplificar, vejamos o seguinte enunciado: “Na reflexão especular, o raio incidente, o raio refletido e a normal à superfície no ponto de incidência estão no mesmo plano”. A rigor não podemos constatar essa lei, que se refere ao raio luminoso quando ele incide numa superfície refletora. Esse conceito, o de raio luminoso, é muito utilizado

em esquemas explicativos de como a luz se comporta. Mas, como obter um raio luminoso? Na prática só podemos obter pincéis de luz. E se formos estreitando as fendas por onde eles passam, nunca chegaremos ao raio. Isso ocorre devido a um outro comportamento da luz. Ela se difrata quando passa por fendas muito estreitas. Esse comportamento tem sido, inclusive, utilizado como evidência da natureza ondulatória da luz, à qual nos referimos no item seguinte.

Teorias sobre a Luz

Para finalizarmos estes comentários sobre percepção e conhecimento a respeito da luz, faremos uma referência a modelos com os quais o homem tem procurado entender a natureza da luz.

Enquanto alguns estudiosos a imaginaram composta de pequenos corpúsculos, outros a pensaram como uma onda, e tanto uma teoria como a outra permitiram avanços na compreensão do comportamento da luz. Mas o cientista sempre procura elaborar modelos que expliquem o conjunto de fenômenos observados, além de permitirem fazer previsões.

Como ocorrem fenômenos que evidenciam a natureza ondulatória da luz e outros explicáveis com o modelo corpuscular, se aceita que a luz tem comportamento dual. Um ou outro modelo é verificado dependendo das condições em que a luz é produzida. E a última compreensão que se tem sobre esse assunto certamente não será a última. Fenômenos relacionados à luz continuarão a ser percebidos, produzidos, e continuarão os estudos para compreendê-los.

Bibliografia

- FÍSICA – Physical Science Study Committee. São Paulo: Edart, 1970 v.II.
GILBERT, A. *Origens históricas da Física Moderna*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1982, p 82-148.
PROJETO FÍSICA: Luz e Eletromagnetismo. Lisboa: fundação Calouste Gulbenkian, unidade 4.

Sugestões de leituras

- ALMEIDA, Maria José P. M.. Prescrições e recomendações ao professor na solução de problemas do ensino na educação em ciências. *Ciencia&Ensino*, v. 1, p. 47-51, 2006

- ALMEIDA, Maria José P. M.. Historicidade e interdiscurso: pensando a educação em ciências na escola básica. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 10, n. 3, p. 333-341, 2004.
- ALMEIDA, Maria José P.M. Discursos da Ciência e da Escola: ideologia e leituras possíveis. Campinas: Mercado de Letras, 2004.
- ALMEIDA, Maria José P. M.; SILVA, Henrique César da; MACHADO, José Luis Michinel. Condições de produção da leitura na educação em física. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 5-17, 2001.
- ALMEIDA, Maria José P. M.; MOZENA, E. R.. Luz e outras formas de radiação eletromagnética: leituras na 8ª série do ensino fundamental. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Brasil, v. 22, n. 3, p. 426-433, 2000.
- GAMA, Liliane Castelões; ALMEIDA, Maria José P. M.. Condições de produção numa leitura de divulgação científica. *Revista Eletrônica Espiral*, São Paulo, v. 7, n. 26, p. 1-6, 2006
- GIRALDI, P. M.; SOUZA, S. C.. O funcionamento de analogias em textos didáticos de Biologia: questões de linguagem. *Ciência & Ensino*, v. 1, p. 1-12, 2006.
- OCCHIONI, D. E.; LANÇA, Tatiana; ALMEIDA, Maria José P. M.. Cinema e Estroboscópio em mediações de sala de aula. *Ciência & Ensino*, Campinas, v. 11, p. 13-19, 2001.
- SILVA, Henrique César da; ALMEIDA, Maria José P. M.. O deslocamento de aspectos do funcionamento do discurso pedagógico pela leitura de textos de divulgação científica em aulas de física. *REEC. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 4, n. 3, p. 1-25, 2005.
- SOUZA, S. C.; NASCIMENTO, T. G.. Um diálogo com as histórias de leituras de futuros professores de ciências. *Pro-Posições*, v. 17, p. 105-136, 2006.
- SOUZA, S. C.. Condições de produção de sentidos em textos didáticos de ciências. *Ensaio. Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 8, p. 1-14, 2006.
- SOUZA, S. C.; ALMEIDA, Maria José P. M. . Escrita no ensino de ciências: autores do ensino fundamental. *Ciência & Educação*, v. 11, p. 367-382, 2005.
- SOUZA, Suzani Cassiani de; ALMEIDA, Maria José P. M.. A fotossíntese no ensino fundamental: compreendendo as interpretações dos alunos. *Ciência & Educação*, v. 8, n. 1, p. 97-111, 2002.
- SOUZA, S. C.; SOUZA, C. E. P.. Contribuições para a educação ambiental numa escola de ciências norte-americana. *Ciência & Ensino*, FE-Unicamp, v. 11, p. 27-29, 2002
- SOUZA, Suzani Cassiani de; ALMEIDA, Maria José P. M.. Leituras na mediação escolar em aulas de ciências: a fotossíntese em textos originais de cientistas. *Pro-Posições*, v. 12, n. 1, p. 110-125, 2001.

FOTOSSÍNTESE: A HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO DE UM CONHECIMENTO⁵⁶

1 - Terra: “planeta água”?

Segundo Odum (1983), um ecossistema é “qualquer unidade que abranja todos os organismos que funcionam em conjunto (...) interagindo num ambiente físico de tal forma que um fluxo de energia produza estruturas bióticas claramente definidas e uma ciclagem de materiais (os minerais, o nitrogênio, os compostos carbônicos, a água) entre as partes vivas e não-vivas”. Um ecossistema é uma unidade auto-suficiente, podendo ser por exemplo, muito pequeno como é o caso de uma poça d’água doce, ou muito grande como o Oceano Índico. Só há um requisito básico para a existência do ecossistema - o suprimento constante de energia.

A fonte básica dessa energia é a luz solar captada pelos vegetais no processo da Fotossíntese. Como um dos fenômenos de maior importância para a vida no planeta, a fotossíntese só é possível porque alguns organismos – principalmente os vegetais - conseguem usar a energia luminosa para formar compostos orgânicos. Portanto para haver vida, é necessário uma grande interação entre o ambiente não vivo e os organismos nele existentes.

Com exceção de alguns microrganismos, os vegetais são responsáveis diretos pela produção de oxigênio e pela fabricação de alimentos em qualquer ecossistema, através de compostos simples como a água

⁵⁶ Este texto foi composto com a consulta e adaptação de textos de divulgação científica, textos didáticos e originais científicos. Ele é de autoria de SUZANI CASSIANI DE SOUZA retirado de sua tese de doutorado – Leitura e fotossíntese: proposta de ensino numa abordagem cultural da FE-Unicamp em 2000. O trabalho teve apoio do CNPq.

(H₂O) e o dióxido de carbono (CO₂). Vale lembrar que quando falamos sobre a produção de oxigênio da Terra pelos vegetais, estamos nos referindo principalmente às algas marinhas que produzem cerca de 70% do oxigênio (O₂), presente na atmosfera, o qual os seres vivos utilizam para sua respiração. É comum as pessoas pensarem que a Amazônia é o “pulmão” do mundo, mas é fácil repensar essa idéia quando consideramos que em uma floresta que atingiu o seu pleno desenvolvimento (clímax) a produção do excesso de oxigênio é praticamente utilizada pelos organismos que se encontram na própria floresta. Além disso, há muito mais condições de sobrevivência para os vegetais (como luz, calor e água) no oceano, rios e lagos, do que em ecossistemas como os desertos ou nos pólos. Aliás, a luz na água do oceano chega a atingir até 200 metros, possibilitando que a fotossíntese ocorra até essa profundidade.

Os vegetais são também chamados de produtores. Essa denominação deriva de uma classificação tradicionalmente feita baseada em trocas energéticas entre os seres vivos, que se dão através da competição pela energia química que está nas moléculas dos alimentos. Dessa forma, produtores em sua maioria, são os vegetais que produzem o alimento, consumidores são os animais (além de outros reinos), que como o próprio nome já diz consomem os alimentos e os decompositores são os seres capazes de decompor os organismos mortos ou seus restos. Estes últimos participam da reciclagem da matéria, pois transformam as substâncias orgânicas em inorgânicas em forma disponível aos produtores. Portanto todas as substâncias retiradas do solo, da água ou do ar pelos produtores para a elaboração de compostos, são repassadas aos consumidores e posteriormente devolvidas ao ambiente abiótico, onde ocasionalmente voltam a fazer parte novamente dos organismos vivos através do processo da fotossíntese, fechando o ciclo da matéria através de produtor-consumidor-decompositor-produtor e assim por diante.

Quando olhamos o ciclo da matéria, é maravilhoso imaginarmos o minúsculo universo dos átomos, se pensarmos na “viagem” que hipotéticos átomos de ferro, por exemplo, podem fazer quando eles são expelidos por um vulcão. Essa lava do vulcão se resfria, “vira” rocha e com o passar de milhares de anos essa mesma rocha (com os mesmos átomos de ferro), se decompõe e vira solo. Os vegetais (semeados pe-

los pássaros, vento, água, além de outros mecanismos de dispersão de sementes) que se desenvolverão nesse solo, absorverão os átomos de ferro que poderão vir a fazer parte do cloroplasto onde ocorrerá a fotossíntese. Ao comermos esse vegetal que se utilizou dos átomos de ferro, as moléculas serão transformadas na digestão e os mesmos átomos de ferro, poderão fazer parte de nossas moléculas de hemoglobina que estão no sangue transportando os gases (oxigênio para as células, gás carbônico para fora do organismo). Quando morremos, esses mesmos átomos de ferro voltarão para o solo, através dos seres decompositores (como fungos e bactérias) e serão novamente utilizados pelos vegetais, assim perpetuando o ciclo da matéria.

Existe competição em todos os níveis de qualquer ecossistema. Por exemplo, numa floresta as plantas competem pela luz solar disponível e pelos minerais existentes no solo. Os insetos por sua vez competem pelas plantas e os pássaros predadores, por exemplo, também competem entre eles pelos insetos e assim sucessivamente. Incontáveis formas de competição intra e interespecífica são possíveis e nada mais são do que simples tentativas de obtenção de energia.

Calcula-se que 10 quilogramas de alimento digerido são gastos para formar um quilograma de tecido vivo. Para exemplificar, consideremos um leão que se alimenta de bois, sendo que essas duas espécies são mantidas estáveis em cada população. Para haver essa estabilidade, deverá existir cerca de 10 quilogramas de boi para cada quilograma de leão. Como os bois comem o capim, deve haver 10 quilogramas de capim para cada quilograma de boi. Ora, então são necessários 100 quilogramas de capim para cada quilograma de leão? Exatamente! Observe a ilustração:



Asimov (1965) considera que todo esse processo pode ser aplicado ao homem, pois com toda a sua capacidade inventiva, ele não consegue desafiar as leis da Termodinâmica “É verdade que o homem pode se suprir de alimentos às custas de espécies que ele não utiliza (ou não quer utilizar) para comer. Isto é, pode remover florestas e plantar cereais em seu lugar, matando espécies não desejáveis, ou eliminando todas as espécies de insetos que querem um lugar à mesa (ou ao menos matar todos os que consegue). Pode criar animais para comer, deslocando as espécies selvagens ou predadoras. Mas no fim, a massa de comida que necessitar será dez vezes maior do que a humanidade.”(p. 474)

Para ilustrar essa transferência de energia dos alimentos numa cadeia alimentar, a Figura 2 pode nos dar uma idéia do que é uma pirâmide de massa:

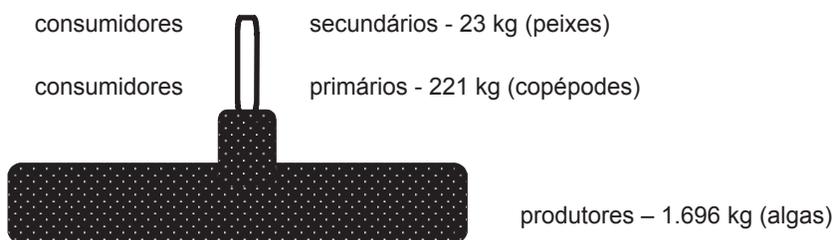


Fig.2 - Pirâmide de Massa (kg/hectare) do Lago do Wisconsin (USA) (adaptado de BAKER & ALLEN,1975, p.657).

A pirâmide de massa como é comumente chamada, é medida pela quantidade total de alimento que decresce a cada nível trófico, ao longo da cadeia alimentar. Também mostra a quantidade de massa expressa em quilogramas por hectare (área equivalente a 10.000m²).

A Figura 2 representa o fluxo de energia no ambiente de um lago de água doce. Como é possível observar, os 1.696 kg de matéria produzida pelos vegetais (algas) do lago, sustentarão apenas 221 kg de consumidores primários (p.ex., pequenos crustáceos - copépodes) e esses sustentarão apenas 23 kg de consumidores secundários (p. ex. peixes).Em cada etapa dessa cadeia há uma grande perda de material, pois consegue-se apenas utilizar um pouco mais de 10% da energia total disponível na etapa precedente. Se calcularmos a quantidade de matéria

das algas – 1.696 kg para 23 kg de peixes, ignorando as etapas intermediárias, teremos uma transferência de energia de cerca de apenas 1,3%:

$$\begin{aligned}1696 &- 100 \% \\23 &- X \\X &= \frac{2300}{1696} \\X &= 1,3 \%\end{aligned}$$

Mas por que razão a cada etapa da cadeia alimentar apenas uma fração de energia potencial é aproveitada?

Essa explicação pode ser encontrada nas Leis da Termodinâmica. A primeira se refere à impossibilidade da criação ou destruição da energia (de um suposto sistema isolado) nas reações químicas comuns. Há sim, a possibilidade de modificação do tipo de energia, por exemplo, a energia solar em energia química.

A segunda lei da Termodinâmica entretanto, assegura que a quantidade total de energia utilizável de um sistema isolado tende a diminuir com o tempo, pois nos processos reais nenhuma forma de transformação de energia é 100% eficiente, já que nestes sempre há dissipação de energia em forma de calor.

Se aplicarmos essas leis à cadeia alimentar a pergunta feita anteriormente pode ser respondida. Como se pode notar há um “desperdício” de energia e se a cadeia de alimentos dependesse somente dos seres vivos, a vida terminaria rapidamente, no entanto ela existe em quantidade há pelo menos um bilhão de anos e para tanto, uma fonte de energia é essencial à vida – a Energia Solar.

A quantidade de energia que chega em nosso planeta diariamente equivale segundo Castellani & Gardel (1994) a um milhão de bombas atômicas iguais às de Hiroshima. Um terço dessa energia é refletida como luz, parte é absorvida e convertida em calor. Uma pequena fração de energia é transformada em energia química, no processo denominado fotossíntese. Como será então a transformação desse tipo de energia em matéria? Como acontece esse processo de síntese de substâncias orgânicas, alimentos, utilizando a luz?

2 - A fotossíntese

Quando olhamos ao nosso redor ficamos tentados a pensar que as coisas sempre foram da maneira como as conhecemos, ou seja, quase nunca refletimos de onde vêm os materiais utilizados para a produção dos objetos ou como eles foram construídos. O papel e a tinta desse texto, as roupas que estamos usando nesse momento ou os tijolos e o cimento que estruturam as paredes de nossas casas têm uma história cujo enredo remonta há milhares de anos. Podemos supor que a confecção de cada objeto pode ter sido uma sucessão de erros ou aprimoramentos que certamente fogem de nossa percepção cotidiana. Mergulhados em nossa vida diária deixamos de perceber muitas coisas que estão acontecendo e “virando história”. O uso de computadores sem dúvida é um exemplo de revolução nos costumes de nossa sociedade.

Num exercício de recuperar um pouco a história dos objetos, podemos nos perguntar por exemplo, qual a matéria prima que compõe esses objetos e como ela é transformada.

Como os objetos, a ciência também faz parte da história, principalmente se a consideramos uma construção humana do conhecimento sobre a natureza, ou seja, se pensarmos que o conhecimento foi sendo construído pelo homem, tendo como objeto de estudo a natureza.

Com o fenômeno da fotossíntese não foi diferente. Desde muito tempo hipóteses têm sido levantadas e conclusões refutadas acerca desse fenômeno. Muitas vezes ficamos até tentados a zombar de antigas idéias que os cientistas possuíam para explicá-lo, mas qual não é nossa surpresa quando ainda hoje essas antigas idéias estão presentes nas explicações que as pessoas dão para esclarecer o seu cotidiano?

Para termos idéia de como a ciência pode se desenvolver, iniciaremos a explicação da fotossíntese seguindo os passos e rumos que as pessoas que fizeram ciência seguiram até os dias de hoje e, como esse fenômeno é entendido atualmente, mesmo que seja apenas uma parcela desse complexo conhecimento.

3 - A planta se “alimenta” do solo?

Aristóteles e outros filósofos gregos que viveram por volta de 335 a.C. acreditavam que a diferença entre os seres vivos correspondia exa-

tamente à separação entre o homem, os animais e as plantas e suas diferentes qualidades correspondiam aos diferentes tipos de almas a eles atribuídos por Deus (Jacob, 1983).

Entre tantas outras indagações, consideravam que o alimento produzido pela planta era retirado diretamente do solo. Como as plantas crescem no solo é fácil concluir, “grosso modo”, que o material que a compõe seja totalmente retirado dele.

Somente há cerca de 300 anos atrás, Johan Baptista van Helmont (1577-1644), um dos últimos e maiores alquimistas, mas também um dos primeiros praticantes da química que conhecemos hoje, realizou um experimento bem interessante, cujo resultado fez cair por “terra” a hipótese da alimentação da planta ser feita pelo solo. Em suas próprias palavras:

Tomei um vaso de barro, no qual coloquei 100 quilogramas de terra que havia secado em um forno e que umedeci com água de chuva e ali plantei o caule de um salgueiro que pesava dois quilogramas e meio. E eis que, passados cinco anos, a árvore que ali se originou pesava cerca de 80 quilogramas. Quando era necessário, eu sempre umedecia o vaso de barro com água de chuva ou água destilada, e o vaso era grande e estava implantado na terra. Para que a poeira levada pelo vento não se misturasse à terra do vaso, cobri-lhe a abertura com uma placa de ferro revestida de estanho e com múltiplas perfurações. Não computei o peso das folhas que caíram em quatro outonos. Por fim, tornei a secar a terra do vaso e ali encontrei os mesmos 100 quilogramas, com alguns gramas a menos. Portanto, 80 quilogramas de madeira, cortiça e raízes, surgiram unicamente a partir da água⁵⁷.” Johan Baptiste van Helmont (1662, p. 109)



Fig. 3 - Peso da terra no primeiro vaso = 100 kg – Peso inicial da árvore = 2,5 kg
Após cinco anos, van Helmont constatou:
Peso da terra = 90,8 kg – Peso da árvore = 77,1 kg (Fig. extraída de Baker, 1952, p.11)

57 Os trechos citados nesse texto foram retirados dos artigos originais e de outros textos que abordaram o tema (ver bibliografia)

De suas observações, van Helmont concluiu que toda madeira formada havia se originado da água. Essa conclusão não o surpreendeu, pois ele se baseava na noção de “Transmutação”, cuja idéia possuía uma remota origem nos gregos, os quais consideravam que toda a matéria era formada por um tipo de substância (ou a mistura de poucas), traduzida em diferentes formas. Então não era difícil para van Helmont concluir que a água havia se “transmutado” em madeira.

Seguindo esse mesmo raciocínio, muitos investigadores confirmaram essa idéia, entre eles Robert Boyle (1627-1691), a quem van Helmont tinha considerável influência através de seus trabalhos.

Porém, apesar de a água ter importante papel no desenvolvimento das plantas, van Helmont se equivocou ao concluir que a matéria vegetal (responsável pela diferença de peso) tinha sido proveniente unicamente da água. Além disso, também não levou em consideração o papel dos gases na atmosfera, além de outros fatores que com o passar do tempo outros investigadores perceberam, porém houve um salto em relação ao que se pensava iniciando dessa forma a pesquisa sobre o fenômeno que outros levariam adiante.

4 - A água se transforma em madeira?

John Woodward, físico e professor da Cambridge University durante a década de 1690, questionou a conclusão de van Helmont. Ele afirmava que mesmo a água mais clara estava longe de ser pura. Em seus experimentos utilizou-se de diferentes tipos de plantas colocadas em água de fontes, de chuva, de torneira, de solo de jardim, etc, e concluiu que a água seria somente um veículo para a matéria terrestre que formava os vegetais.

Além disso, nas últimas décadas do século XVII com o desenvolvimento do microscópio e seu emprego nas ciências naturais, algumas pessoas passaram a observar pequenas aberturas nas folhas dos vegetais. Em especial Nehemiah Grew (1641-1680) atinou para uma função que até então não havia ainda se pensado: poderia ser possível que as aberturas (estômatos) permitissem o intercâmbio de substâncias entre o vegetal e a atmosfera? Nessa época ele escreveu:

“Mas como as peles dos animais, especialmente em algumas partes, são feitas com certos poros abertos ou orifícios, cada qual para a recepção ou eliminação de algo para o benefício do corpo, então igualmente as peles de grande parte das plantas são formadas por vários orifícios ou passaportes, cada qual para uma melhor avolação (“evaporação”) de seiva supérflua ou de entrada de ar.” Nehemiah Grew (1676, p. 153)⁵⁸

Quase que simultaneamente a Grew, outro investigador que ficou famoso pelo uso do microscópio herdado de Galileu foi o italiano Marcello Malpighi (1628-1640), que chegou às mesmas conclusões de Grew .

Essas idéias levaram Woodward a concluir que “a grande maioria da Massa Fluida [solução aquosa] é assim aspirada e conduzida através de seus poros [estômatos] e exalada para a Atmosfera”, estabelecendo dessa forma, as primeiras idéias entre a ocorrência de uma interação entre a planta e a atmosfera.

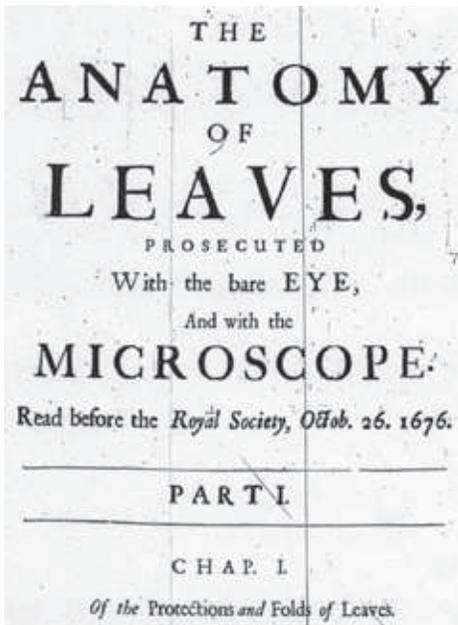
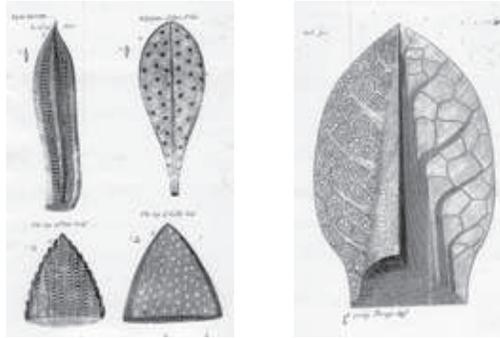


Fig 4 - Em 1676, Grew publicou um extenso artigo sobre a anatomia das plantas. Ao lado é possível ver a capa de um dos capítulos de seu trabalho “A anatomia das folhas”, produzido a olho nu e com o microscópio, publicado pela Royal Society of London, em 26 de Outubro de 1676. Abaixo você vê seus desenhos originais das folhas com os orifícios (estômatos) que ele encontrou. (Grew, 18 p.)

58 Tradução nossa



5 - Tem mais “coisa” no ar

Depois de quase 50 anos, o clérigo inglês Stephen Hales (1677-1761) interessou-se pelo problema e continuou realizando suas pesquisas com gases obtidos através da decomposição de vegetais e do calor. Podemos observar abaixo, como ele chamava esses gases de “ar”, pois até então não se sabia da existência dos diferentes gases presentes na atmosfera:

“O excelente Senhor Boyle fez muitos experimentos sobre o ar e entre as descobertas, achou que boa quantidade de ar era produzido de vegetais, colocando uvas, ameixas, groselhas, cerejas, ervilhas e uma grande quantidade de outros frutos e grãos dentro de recipientes abertos e fechados, onde eles continuaram por vários dias emitindo grande quantidade de ar”. Stephen Hales (1727)⁵⁹

No desenho abaixo é possível observarmos como ele conseguiu produzir “ar”, através do calor com o seu balão pneumático.

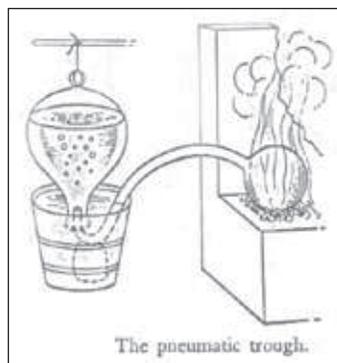


Fig.: 5 O Balão Pneumático.(Nash, 1952 p.25)

⁵⁹ Tradução nossa

Obviamente ele não pensou em examinar a natureza desses “ares” liberados pelas plantas e pelo calor, nem suas conclusões estavam isentas de erros, mas ele teve um papel fundamental quando colocou em cheque as pesquisas que absolutizavam o papel da terra ou da água transmutada em madeira, levantando o papel da interação entre a atmosfera e as plantas.

Um experimento bastante interessante pode ser observado para acompanharmos sua forma de pensar:

“Há alguma razão para se suspeitar que as folhas e caules dos vegetais absorvem ar elástico, com base no seguinte experimento... coloquei uma planta de hortelã-pimenta bem enraizada em um recipiente de vidro cheio de terra e depois o enchi de água até a borda; sobre esse recipiente coloquei uma campânula de vidro invertida zz, aa [Fig. 4], sendo a água aspirada para cima através de um sifão para aa. Ao mesmo tempo, coloquei também outra campânula de vidro zz, aa de tamanho igual ao da anterior, mas sem a planta.” Stephen Hales (1727)

O segundo vidro citado por ele era o controle. O uso do controle levou-o a perceber quais as alterações que eram decorrentes da planta e quais eram decorrentes de outros fatores, por exemplo a pressão atmosférica, cujas diferenças passaram a ser perceptíveis, quando utilizou dois frascos.

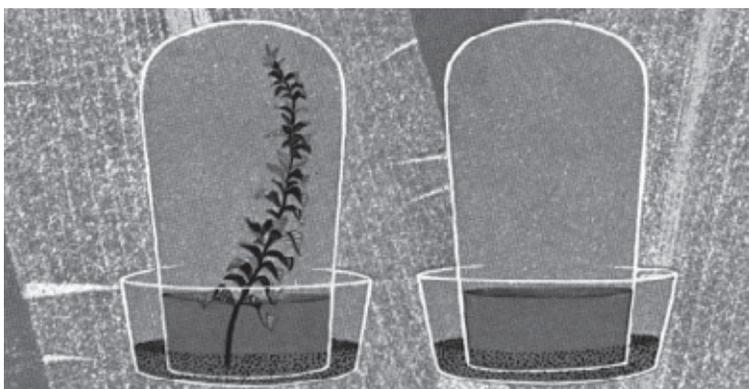


Fig. 6 – Experimento de Hales, cujos resultados iniciaram as suspeitas de que o ar participasse do processo de crescimento das plantas. (Fig. extraída de Baker, 1952, p. 16)

Além disso, ao colocar uma nova planta, no mesmo frasco da planta original, observou que ela havia morrido em cinco dias e a partir daí pôde concluir que as plantas interagiam com a atmosfera e afetavam as suas condições.

Através desse experimento, além de outros inúmeros realizados, Hales concluiu que as plantas retiravam “algo” do ar alterando sua composição, embora não soubesse em que consistia essa alteração. Apesar das evidências e conclusões encontradas sobre o papel das plantas na atmosfera por Hales e por outros investigadores, muitos outros ainda permaneceram bastante influenciados pelos resultados obtidos por Helmont, sobre o experimento da transmutação da água em madeira, mas sem dúvida esse foi mais um passo em direção a um maior conhecimento sobre a fotossíntese.

6 - Quem repara os “danos” causados pelos animais na atmosfera?

Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) apesar de seu interesse estar mais voltado ao estudo da química, através de seus estudos sobre a combustão, conseguiu compilar e organizar as pesquisas anteriores unificando-as numa hipótese bastante simples, principalmente para nós que a olhamos nos dias de hoje:

“Há aqui, então duas fontes a partir das quais plantas cultivadas unicamente em água podem obter os materiais [terrestres] que nelas são encontradas por análise: a) da própria água e o pequeno teor de material estranho proveniente do solo que devia estar presente [em solução] em todos os casos [hipóteses de van Helmont e de Woodward]; b) do ar e as substâncias de todos os tipos com as quais está carregado [hipótese de Hales]. Antoine Lavoisier (1770).

Em 1770 o pastor inglês Joseph Priestley (1733-1804) deu mais um passo adiante. Como químico, Priestley também se interessava pela investigação dos gases envolvidos na vida vegetal. Através de experimentos (Fig. 5) compreendeu que velas acesas e animais “prejudicavam” o ar:

“A quantidade de ar de que até uma chama necessita é prodigiosa. Diz-se geralmente que uma vela comum consome, por assim dizer, cerca de quatro litros e meio de ar em um minuto. Considerando esse admirável consumo de ar, por fogo de todos os tipos, vulcões, etc., vem a se constituir em importantes objetos de inda-

gação filosófica, que alterações são produzidas na constituição do ar pelas chamas e a descoberta de que medidas são tomadas pela natureza para reparar os danos que a atmosfera recebe por esse meio”. Joseph Priestley (1772)

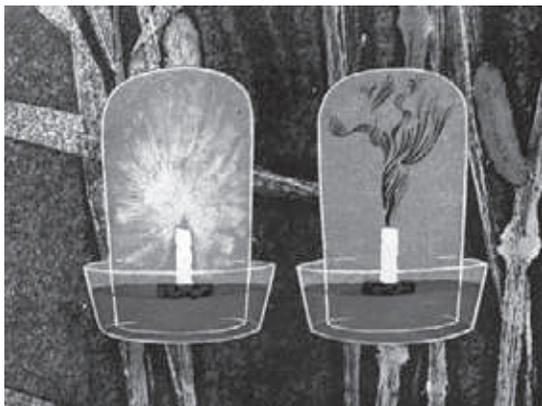


Fig. 7 – Experimento de Priestley (Fig. extraída de Baker, 1952, p. 18)

Um ambiente sem oxigênio, produzido pela respiração de ratos ou a queima de velas, ou mesmo com materiais em putrefação tais como ratos mortos, Priestley chamava de “ar viciado”. Ambientes com a presença de oxigênio, ele chamava de “ar restaurado”. Pensava em hipóteses que pudessem dar conta da “restauração do ar” na natureza⁶⁰. Para ele não poderia existir vida por muito tempo se não existisse essa função de restauração. Então, segundo ele mesmo descreve, “acidentalmente”⁶¹ fez uma descoberta importante:

“Gabo-me de haver acidentalmente atinado com um método de restauração do ar que tenha sido danificado pela combustão de velas, e de descobrir pelo menos um dos restauradores que a natureza utiliza para essa finalidade. É a vegetação... De que maneira esse processo opera na natureza, para conseguir tão notável efeito, não pretendo ter descoberto.” Joseph Priestley (1772)

60 Novamente, vemos a palavra “ar”, ainda ser utilizada de forma generalizada.

61 Segundo Nash (1957, p. 36), muitas das importantes descobertas de Priestley, aparecem superficialmente descritas como meros e afortunados acidentes. Para alguns isso é verdade até certo ponto, mesmo que para tanto, ele tenha cometido determinadas ações para conseguir tais acidentes. Porém para outros, os “acidentes” eram produtos de análises perceptivas de um problema, seguido de uma série de sistemáticas tentativas para achar sua solução.



Fig. 8 – Experimentos de Priestley. De seus resultados, concluiu que as plantas “revertem os efeitos da respiração” (Fig. extraída de Baker, 1952, p.23)

Num dos trechos deste trabalho, Priestley citou uma carta⁶² de Benjamin Franklin, um respeitado investigador daqueles tempos, para dar suporte as suas conclusões:

“Doutor Franklin, quem ... viu algumas de minhas plantas num estado bastante florescente, num ar altamente nauseante, estava agradecido em poder expressar sua grande satisfação com os resultados dos experimentos. Em sua resposta a minha carta, na qual eu informei meus resultados, ele disse:

“Que a criação vegetal devesse restaurar o ar, o qual é danificado pela parte animal, parece um sistema racional e parece ser uma peça do resto.

Desta maneira, o fogo purifica a água em todo o mundo. Ele purifica a água pela destilação, quando ela sobe pelos vapores e cai como chuva; e mais ainda pela filtração, quando se mantém fluida e se infiltra na terra. Antes nós sabíamos que substâncias de animais pútridos eram convertidas em doces vegetais, quando misturados na terra e colocados como adubo e agora parece que as mesmas substâncias pútridas misturadas com o ar tem efeito similar. A força do estado próspero de sua hortelã em ar pútrido parece demonstrar que o ar é reparado por pegar alguma coisa dele e não por adicionar algo nele. Eu espero que isso dê algum controle à moda de destruir árvores que crescem próximas das casas, as quais têm acompanhado nossos tardios progressos em jardinagem, de uma opinião de que estas não sejam seres saudáveis . Eu estou certo de longas observações,de que não há nada não saudável no ar dos bosques; para nós, americanos que temos em todos os lugares nossas habitações no campo, entre as árvores, não há pessoas na

62 Cartas e relatórios dos experimentos foram publicados nos séculos XXVII e XVIII na revista “The Philosophical Transactions of the Royal Society of London”, como artigos científicos. Para maiores detalhes ler D. Atkinson (1999), sobre a evolução do discurso científico.

terra que gozem de melhor saúde, ou que sejam mais prolíficas. Benjamin Franklin citado por Joseph Priestley⁶³

É possível perceber no discurso de Franklin, apesar de seu ufanismo americano, a interessante relação que ele faz com o ciclo da matéria ao relacionar a matéria em decomposição colocada na terra e a transformação do “ar viciado”, divergindo de opiniões que consideravam os vegetais prejudiciais à saúde no século XVIII. Além disso, as mesmas conclusões sobre a extração e não a adição de algo no ar, são compartilhadas por ele. Nesse outro trecho Priestley aprofunda essa questão,

Quando animais morrem por serem colocados com outros animais que haviam morrido, antes disso respirando tanto quanto poderiam, é evidente que a causa de sua morte, não é o efeito de algum pabulum vitae, como tem sido suposto estar contido no ar, mas sim por conta do ar ter sido impregnado com algo estimulando de seus pulmões, pois eles quase sempre morrem em convulsões e são algumas vezes afetados tão repentinamente que são irrecuperáveis depois de uma simples inspiração, embora eles sejam retirados imediatamente e todo método tenha sido dado para trazê-los de volta a vida. (Joseph Priestley) ⁶⁴

Priestley relata nesse trecho que os ratos morriam repentinamente, depois de certo tempo respirando normalmente. O fato deste comportamento ser diferente de um estado de morrer de fome, onde as energias vão sendo perdidas aos poucos, levou o investigador a considerar que havia uma interação entre o que saía dos pulmões do rato e o ambiente externo. Era como se algo os tivessem envenenado.



Fig. 9 – Rato morto por falta de oxigênio (Fig. extraída de Baker, 1952, p. 19)

63 Tradução nossa

64 *Ibid*



Fig.10– Rato vivo com planta e morto sem a planta
(Fig. extraída de Baker, 1952, p. 30)

Nesses termos, os “vapores nauseantes”, produtos da combustão, putrefação e respiração, formavam o “ar viciado” que era visto como se fosse um tipo de “adubo aéreo”, cuja subtração pela planta, era para seu próprio benefício. Essas conclusões vieram a corroborar com o pensamento científico da época – a “Teoria do Flogisto” – a mais influente teoria química daqueles dias. Nela era suposto que um sutil fluido era jogado ao ar pela respiração, combustão e putrefação. Se um volume de ar estivesse confinado e saturado com esse fluido dizia-se que o ar estava flogisticado. É interessante ressaltar que foi baseado nessa teoria que Priestley conseguiu perceber alguma interação entre os vegetais e a atmosfera.

É claro que Priestley não chegou a descobrir todo o processo (na verdade ainda hoje estamos tentando descobrir), mas a conclusão de que as plantas revertiam os efeitos da respiração “deflogisticando o ar”, foi um passo a mais na construção do conhecimento científico sobre fotossíntese. Na época suas conclusões foram recebidas com severas críticas por outros pesquisadores, pois estes não conseguiam obter os mesmos resultados (talvez por não levarem em conta as mesmas variáveis dos experimentos de Priestley, por exemplo, realizarem seus experimentos em locais escuros).

7 - As plantas também respiram...

Lavoisier, cujos trabalhos apontaram para respiração como um processo de combustão, (semelhante à queima de uma vela, no qual os compostos ricos em carbono combinam com o oxigênio produzindo o

dióxido de carbono (CO₂) e água), foi guilhotinado durante a revolução Francesa em função de suas idéias políticas.

Como contemporâneo de Lavoisier, o médico holandês Jan Ingen-Housz (1730-1799) estudou cuidadosamente os trabalhos de Priestley. Segundo ele, em 1773 assistiu uma palestra de Priestley, cujo interesse pelo estudo da “ordem natural das coisas” nasceu daí e continuou algumas idéias que Lavoisier havia levantado.

Ele relata que ficou pensando sobre esse problema nos anos de 1773 até 1779, em Viena onde trabalhava, pois não possuía tempo nem condições físicas ou espaciais, para a realização de trabalhos experimentais. Em 1779, nos três meses de verão que se ausentou de seu posto e foi para a Inglaterra, Ingen-Housz fez cerca de 500 experimentos e escreveu um notável livro “Experimentos sobre Vegetais” (*Experiments Upon Vegetables*). Ele iniciou os experimentos duplicando o que Priestley havia feito e já a partir daí começou a reparar alguns pontos obscuros:

“Quando comecei os experimentos que são o objeto deste livro, eu pensei que a ação concernente, poderia depender somente das plantas, mas logo reconheci meu erro. Se a vegetação era a causa de sua salutar influência no ar comum, elas deveriam produzir o mesmo efeito todo o tempo, em todos os lugares que pudessem crescer. Mas isto está longe de ser verdade: uma planta pode viver e mesmo crescer num considerável tamanho no escuro, onde não irá produzir o ar deflogisticado, nem terá a habilidade de corrigir o ar, mas pelo contrário ela emite para o ar um veneno. Quando eu reconheci essa espantosa diferença entre os efeitos produzidos pelas plantas que recebem luz e aquelas que ficam no escuro, não tive nenhuma dificuldade em reconhecer que a variável, inconstante e muitas vezes contraditória, aos resultados dos experimentos do Dr. Priestley ... que tinha bem observado que as plantas algumas vezes melhoram o ar comum e corrigem o ar ruim e quem acreditava que quando um efeito contrário ocorria, era devido as plantas se tornarem doentes”. (Jan Ingen-Housz, 1779) ⁶⁵

Ele viu o significado dos efeitos dos vegetais na atmosfera, em escala planetária e foi o primeiro a apontar que as plantas absorviam a água e CO₂, utilizando a energia da luz, e através desse processo formavam seus tecidos respirando o oxigênio. Além disso, Ingen-Housz

65 Tradução nossa

notou que somente as partes verdes das plantas realizavam essa função (o processo fotossintético), ou seja, as folhas e os caules verdes:

“Eu estaria mais inclinado a acreditar que a maravilhosa força da natureza, de transformar uma substância em outra e de promover perpetuamente essa transmutação de substâncias, que podemos observar por todos os lugares, é realizada nessa substância vegetal verde de forma mais ampla e mais conspícua... a própria água ou alguma substância na água, é, eu acho, transformada dentro dessa vegetação e sofre, por influência do Sol que brilha nela, nessa substância ou tipo de planta, tal qual uma metamorfose que torna-se agora o que denominamos de ar deflogisticado. Essa transmutação real, embora maravilhosa para os olhos de um filósofo, não é ainda mais extraordinária que a mudança da grama e outros vegetais em gordura dentro do corpo dos animais herbívoros, ou a produção de óleo por um suco aquoso de uma oliveira.” (Jan Ingen-Housz, 1779)⁶⁶

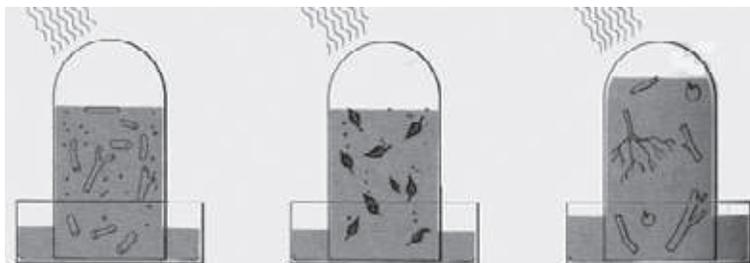


Fig.11 – Essas experiências demonstram a descoberta de Ingen-Housz de que é necessária a substância verde para que as plantas fabriquem “matéria vegetal”. Ele notou que tanto as plantas verdes como as não verdes respiram (isto é, eliminam CO_2). Finalmente e o mais importante, Ingen-Housz descobriu que mesmo porções de plantas verdes necessitam de luz para eliminar oxigênio. A) talos verdes liberam oxigênio e gás carbônico em presença de luz, porém a quantidade de oxigênio é maior; B) folhas verdes liberam oxigênio e gás carbônico em presença de luz, porém a quantidade de oxigênio é maior; C) partes não verdes da planta (raiz, caule, fruto, etc.) liberam somente gás carbônico (Fig. extraída de Baker & Allen, p. 185)

Note que a passagem em **negrito** do trecho anterior, mostra uma certa indicação da influência da Teoria da Geração Espontânea, que iniciava na época um quente debate.

No início dessa discussão Priestley foi resistente e fez comentários irônicos sobre a matéria verde fazer fotossíntese. Observemos uma passagem de Priestley, criticando Ingen-Housz.

66 *Ibid*

A idéia do Dr. Ingen-Houz de que a origem dessa matéria vegetal, como ele mesmo permite dizer, é mais extraordinária, considerando quanto tempo a doutrina do equívoco ou a Geração Espontânea tem sido explodida. Ele diz (e cita a passagem anterior de Ingen-Houz). Mas a mudança de água em uma planta organizada é algo de natureza bem diferente dessa idéia. Joseph Priestley (1779)

Ele não concordava que somente as partes verdes da planta pudessem “deflogisticar o ar”. Ainda mais que esta conclusão estava atrelada a Teoria da Geração Espontânea, da qual Priestley não compactuava.

Apesar de ser um equívoco achar que a matéria verde era produzida na água, a descoberta de Ingen-Houz sobre as partes verdes da planta fazerem fotossíntese, foi muito importante do ponto de vista do desenvolvimento do conceito. Esse resultado contribuiu para o que se sabe hoje sobre a função do cloroplasto. Ao contrário do que muita gente pensa a folha não é similar ao pulmão humano, como geralmente aparece nos livros didáticos de ciências, quase sempre relacionando os dois por fazerem trocas gasosas com a atmosfera. A folha contém células que por sua vez contém cloroplastos, que são os responsáveis pela fotossíntese. Dessa forma, pedaços de folhas fazem fotossíntese por um tempo, porque quando cortamos as folhas, ainda ficam os cloroplastos que continuam fazendo fotossíntese (quando em presença de luz).

Enfim, as descobertas mais importantes que Ingen-Housz fez podem ser sumarizadas nesses itens:

- Plantas expostas à luz solar emitem o ar deflogisticado (com oxigênio).
- Nem todas as partes da planta conseguem emitir o ar deflogisticado, somente as folhas e caules verdes quando estão iluminados.
- Folhas verdes no escuro e, raízes, flores, frutos, etc, se na luz ou no escuro, produzem ar flogisticado ou viciado, pois emitem um gás tóxico (segundo Ingen-Housz, hoje conhecido como gás carbônico)
- Um ciclo normal de iluminação melhora a atmosfera durante o dia pelas folhas verdes e piora à noite. Por outras partes da planta (que não as verdes), todo o tempo ocorre a viciação (liberação de CO₂).

Hipóteses de Ingen-Housz para explicar a fotossíntese:

Luz + cor verde

“Algo” do ar + água **→** **substância vegetal + ar restaurado**
Ar com flogisto **→** flogisto + ar deflogisticado

Apesar desse avanço, sobre a importância da luz, Ingen-Housz não conseguiu explicar “por que” a luz era importante nesse processo.

É bem provável que todas essas idéias sobre envenenamento do ar pelas plantas, possam ainda estar presentes em nossas cabeças. É comum algumas pessoas condenarem a permanência de plantas no quarto de dormir, por estas eliminarem vapores venenosos que podem prejudicar as pessoas que estiverem dormindo. Talvez, essas idéias sobre envenenamento do ar, nada mais sejam do que resquícios do século XVIII, baseados nos estudos sobre a respiração das plantas.

Quando há luz ou não, as plantas respiram, ou seja, usam o oxigênio e eliminam o gás carbônico 24 horas por dia. Portanto, eliminam CO₂ dia e noite. Mas isso, não as fazem assassinas da calada da noite: elas estão simplesmente respirando, assim como nós. Porém quando há luz, elas também fazem fotossíntese, observemos a tabela seguinte:

<i>Fenômenos que ocorrem no vegetal</i>	<i>Fórmula Química (simplificada e não balanceada)</i>	<i>Local da célula em que ocorre</i>	<i>Período em que ocorre</i>
FOTOSSÍNTESE	$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{O}_2 + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ <p>GÁS CARBÔNICO E ÁGUA = OXIGÊNIO E GLICOSE</p>	Cloroplasto	Em presença de luz
RESPIRAÇÃO	$\text{O}_2 + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ <p>OXIGÊNIO E GLICOSE = GÁS CARBÔNICO E ÁGUA</p>	Mitocôndria	24 horas por dia

Observe que os dois fenômenos no vegetal, podem ser simultâneos em alguns momentos. Por exemplo, quando há presença de luz, há fotossíntese e respiração. Portanto mesmo quando o vegetal faz fotossíntese, ele precisa respirar.

8 - Com essas conclusões outras perguntas aparecem...

De onde provém o gás oxigênio (O₂) liberado pela planta? Da água (H₂O)? Do gás carbônico (CO₂)? De ambos?

O cientista francês M. Berthollet (1748-1822) postulava que o gás oxigênio provinha das moléculas de água absorvidas pela planta. Sua hipótese se baseava num experimento. Ele cultivou plantas em um meio que não continha hidrogênio e ao analisar as substâncias que compõem o vegetal, concluiu que a presença de hidrogênio nas moléculas constituintes da planta, só poderia ser explicada se o oxigênio viesse da água.

Porém outro francês Jean Senebier (1742-1809) discordava dessa conclusão e por sua vez postulava que o oxigênio provinha do CO_2 . Para refutar a hipótese de Berthollet, Senebier raciocinou que se o gás oxigênio viesse das moléculas de água então as folhas deveriam eliminar oxigênio quando imersas na água e realizou o seguinte experimento:

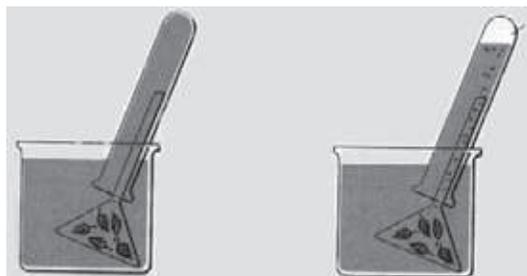


Fig. 12 – A primeira experiência de Senebier. A) Folhas imersas na água sem gás carbônico não liberam oxigênio. B) Folhas imersas em água com gás carbônico liberam oxigênio. (Fig. extraída de Baker & Allen, 1975, p. 187)

Conforme esperava, num meio onde não houvesse CO_2 as plantas não eliminavam oxigênio. Por outro lado (segundo ele) quanto mais CO_2 fosse fornecido à planta maior seria a produção de oxigênio. Desse resultado ele concluiu que o oxigênio era proveniente do gás carbônico. Porém para eliminar mais dúvidas ele colocou folhas, ele executou outro experimento:

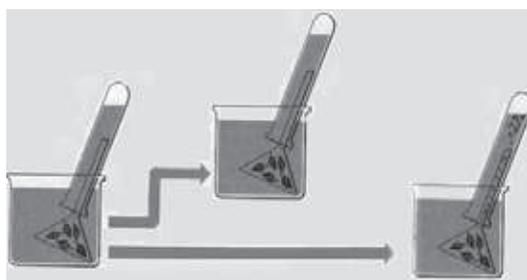


Fig. 13 – Outra experiência de Senebier. A) As folhas param de liberar oxigênio depois de um determinado tempo. B) Apesar de folhas frescas, não há liberação de oxigênio quando elas são colocadas na mesma água do recipiente. C) Quando água é trocada começa a liberação de oxigênio. (Fig. extraída de Baker & Allen, 1975, p. 188).

Com este experimento, ele pensou que eliminaria a hipótese de Berthollet, pois se o oxigênio viesse mesmo da água, o recipiente B, deveria produzir oxigênio.

Qual dos dois estaria com a razão: Berthollet ao afirmar que o gás oxigênio era produzido a partir da água ou Senebier que afirmava ser a produção a partir do CO_2 ?

Nessa fase outro investigador entrou na disputa, Nicola Theodore de Sausurre (1767-1845). Ele não se contentava em saber apenas o que acontecia, mas também se interessava pelas quantidades e em encontrar formas de mensurar os fenômenos. Por exemplo, contradizendo o que dizia Senebier, descobriu que o excesso de CO_2 podia levar a planta à morte. Ao demonstrar que as plantas cultivadas em atmosfera confinada não eram capazes de aumentar seu conteúdo de carbono em quantidades significativas, Saussure concluiu que o processo da fotossíntese resultava da degradação do CO_2 de certa forma apoiando equivocadamente a hipótese de Senebier a qual havia questionado. Porém, nenhum dos três ficou sabendo naquela época qual deles tinha razão sobre a origem do oxigênio. Somente um século depois é que o problema foi resolvido.

9 - Será que aristóteles estava com a razão?

Apesar das conclusões de van Helmont basearem-se na transmutação da água em madeira, estabelecendo que a água era principal “alimento” da planta, havia também a constatação de que alguns gramas de solo teriam sido utilizados. Woodward por sua vez contrariou van Helmont construindo experimentos que demonstravam que plantas regadas com água misturada ao solo se desenvolviam muito melhor. Saussure resgatou esses experimentos depois de mais ou menos 100 anos de forma mais sistemática e descobriu que as plantas cresciam consideravelmente com a presença de nitrato adicionado à água. Então uma questão ainda persistia: Aristóteles estaria certo ao afirmar que o solo era o alimento da planta?

Em 1860, o alemão Julius Sachs recuperou alguns dados de Woodward. Colocou brotos de feijão, milho e trigo sarraceno em jarras de vidro com a seguinte solução:

Água destilada	1.000 cm ³
Nitrato de potássio	1,0 g
Cloreto de sódio	0,5 g
Sulfato de sódio	0,5 g
Sulfato de magnésio	0,5 g
Fosfato de cálcio	0,5 g

Em outros vasos colocou somente água destilada. Como resultado Sachs observou um bom desenvolvimento das plantas tratadas com a solução descrita. Porém as terceiras ou quartas folhas que surgiram dessa mesma planta eram brancas e, observando-as ao microscópio, notou a ausência de cloroplastos. Concluiu que apesar da presença de vários agentes químicos na solução, alguns deveriam estar faltando. Ao colocar algumas gotas de cloreto de ferro percebeu que as folhas voltaram a sua coloração normal, concluindo assim que o ferro poderia ser um importante agente na síntese da clorofila. Nessa mesma linha de pesquisa, Sachs e outros investigadores estabeleceram outros elementos necessários à planta tais como: Fósforo, Nitrogênio, Potássio, Enxofre, Cálcio, Ferro, Magnésio, ...

Por outro lado, somente na década de 20, com o advento de técnicas mais apropriadas para esse estudo descobriu-se que por mais “puros” que fossem os produtos químicos utilizados, ainda assim continham traços de outros elementos. Mesmo, nos frascos dos vidros, algumas substâncias poderiam ser desprendidas e até foi questionado a contaminação da água destilada nos aparelhos de destilação. Surgiu portanto a evidência conclusiva de que as plantas necessitam de diminutas quantidades de elementos tais como Boro, Cobre, Zinco e Molibidênio. Mais recentemente soubemos também sobre a importância do Cloro, Cobalto, Vanádio, Sódio.

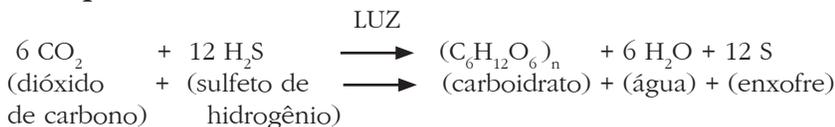
Então na década de 30, todo esse conhecimento produzido já havia respondido várias questões antigas como por exemplo, a utilização do solo, da água e do CO₂ e da luz pelos vegetais verdes. Porém, outras ainda persistiam como por exemplo, qual era a origem do oxigênio produzido e do hidrogênio utilizado? Como as plantas utilizavam o oxigênio? Como a água é utilizada no fenômeno?

10 - O conhecimento científico é uma sucessão de erros e acertos?

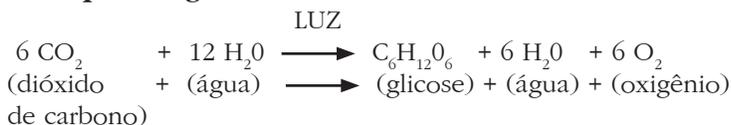
Através de pesquisas sobre as sulfobactérias purpurinas que também realizam a fotossíntese (porém não há produção de oxigênio), o holandês e microbiologista van Niel na década de 30 deu mais um salto em direção ao conhecimento do fenômeno da fotossíntese. Apesar de áreas ligeiramente diferentes, van Niel notou a semelhança dos processos. No caso das bactérias, elas se utilizam do sulfeto de hidrogênio ao invés da água, produzindo carboidratos, água e enxofre.

Van Niel raciocinou que se nas sulfobactérias o enxofre só poderia ser proveniente do sulfeto de hidrogênio, nas plantas o oxigênio produzido só poderia ser proveniente da água e não das moléculas de CO_2 . Veja o esquema representando os dois fenômenos e compare-os de acordo com a hipótese de van Niel:

pelas sulfobactérias



pelos vegetais



- Observe a similaridade nos processos acima. No primeiro caso há a formação de enxofre proveniente do sulfeto de hidrogênio (H_2S) e no segundo caso há a formação do gás oxigênio proveniente da água (H_2O)

Algumas questões poderiam ser feitas nesse momento: será que não seria necessário observar as diferenças básicas envolvidas no processo fotossintético entre as bactérias e as plantas observando a complexidade de suas estruturas?

Será que o processo de transformação de energia luminosa em química seria o mesmo para os dois tipos de seres vivos, mesmo que algumas das matérias primas fossem diferentes?

Embora pareça improvável que o mesmo processo ocorra em organismos tão distintos, por outro lado é bem difícil que os seres vivos tenham conseguido durante a evolução, outras formas tão eficientes de conversão de energia luminosa em energia química, o que de certa forma dá sustentação à hipótese de van Niel. Também é bom ressaltar que as semelhanças entre as duas reações químicas, ou seja, na fotossíntese utilizando a água para produzir o gás oxigênio e nas sulfobactérias utilizando o sulfeto de hidrogênio (ou ácido sulfídrico) para produzir o enxofre, pode nos dar algumas evidências de que as coisas acontecem na natureza de forma espontânea, não algo programado por um desígnio de alguma entidade mágica como uma função pré-estabelecida.

Além disso, é interessante salientar que o conhecimento de um fenômeno - a síntese das sulfobactérias - pode nos dar evidências de como outros fenômenos podem acontecer - a síntese das plantas - quando checamos as semelhanças entre eles. Isso só é possível quando temos acesso ao conhecimento produzido por outros pesquisadores.

Porém, essa hipótese de van Niel só pode ser confirmada quando novas técnicas de marcação de substâncias, passaram a estar disponíveis. Em 1923, George Hevesy utilizou isótopos radioativos de chumbo para estabelecer a trajetória das substâncias em vegetais. Também avanços ocorreram desde 1919 quando passou-se a utilizar a alga *Chlorella*, que pela simplicidade de sua estrutura possibilitou um avanço nas pesquisas sobre a fotossíntese.

Em 1941 pesquisadores da Universidade da Califórnia realizaram um experimento vital para o conhecimento do fenômeno. Ao utilizarem uma água marcada com o isótopo O^{18} presente na água em lugar do O^{16} puderam elaborar a seguinte hipótese: Se o O^{18} aparecer nas moléculas de oxigênio (O_2) liberado pela fotossíntese na *Chlorella*, então poderiam provar que realmente o oxigênio produzido viria da água, caso contrário a hipótese estaria equivocada⁶⁷.

67 Isótopos são elementos que possuem mesmo número atômico (número de prótons), mas diferem no número de massa (soma dos prótons e nêutrons). Nesse caso, o Oxigênio 16 e 18 se diferenciam pelo número de nêutrons presentes no núcleo. Porém essa diferença não altera as propriedades químicas das moléculas em que se encontram como constituintes, por exemplo, não há alteração na molécula de água.

Os resultados foram conclusivos: o oxigênio estava marcado com O^{18} . Porém para que não houvesse dúvida resolveram também fazer o contrário. Dessa vez, marcaram o CO_2 com o O^{18} e este último não apareceu no oxigênio resultante, mas sim nos carboidratos, não restando dúvidas quanto ao destino da água na produção do oxigênio atmosférico, demonstrando também que os átomos utilizados para constituir as moléculas dos carboidratos, vêm do CO_2 e do hidrogênio da água. Veja a representação abaixo com a quantidade de cada molécula para a realização da reação química:



À luz desses novos conhecimentos é interessante resgatar as hipóteses de Senebier e Sausurre (para ele o oxigênio provinha do CO_2), Berthollet e van Niel (para eles o oxigênio provinha da água). Apesar desses dois últimos estarem certos, somente os experimentos articulados a uma tecnologia de pesquisa mais sofisticada resolveram esse problema e podemos dizer que como consequência nos últimos 30 anos aprendemos mais sobre fotossíntese do que nos últimos 300 anos anteriores.

Saber de onde provêm as substâncias é importante, mas não basta! Teremos que responder também como as substâncias são produzidas. Para tanto precisamos saber sobre como a luz age nesse processo.

11 - Fazendo um parêntesis sobre a natureza da luz

Quando a luz visível, para a qual nossos olhos são sensíveis, atinge um objeto três coisas ocorrem:

- pode atravessar o objeto, se este for transparente;
- pode sofrer reflexão, se a superfície do objeto for polida, como a de um espelho;
- ou ser absorvida por um objeto, por exemplo quando a luz incide sobre uma roupa preta.

Esses fenômenos podem ocorrer ao mesmo tempo, podendo haver predominância de um deles. Um exemplo disso, é quando vemos através de um material transparente e colorido, os objetos aparecerem

em cores diferentes. Por exemplo, quando vamos ao circo em pleno sol do meio dia e a lona do circo modifica as cores dos objetos que estão dentro do circo! Esses materiais transparentes, sem dúvida, afetam, de algum modo a luz que os atravessa.

Será que os materiais transparentes adicionam ou retiram “algo” da luz?

À primeira vista, pode parecer uma pergunta difícil; entretanto, algumas experiências simples nos fornecem uma resposta. Antes de mais nada, observe o comportamento da luz do Sol ou de uma lâmpada elétrica, quando ela atravessa uma placa de vidro vermelho ou papel celofane da mesma cor, incidindo numa folha de papel branco. O papel, então aparece vermelho.

Apesar da luz ser branca, o vidro vermelho afetou de algum modo a luz, fazendo-a aparecer vermelha. Suponha que se colocarmos uma segunda placa de vidro vermelho entre a primeira e a nossa vista, de modo que a luz deva atravessar ambas as placas. O que pode acontecer? A cor vermelha ficaria mais ou menos forte?

Hipóteses:

- Se o vidro adiciona algo à luz, o papel apareceria com um vermelho mais brilhante que antes.

ou

- Se ele retira “algo”, é de se esperar que grande parte deste “algo” seria removido pela primeira placa de vidro.

Qual das duas hipóteses pode estar correta? Se realmente fazemos uma experiência com duas placas de vidro vermelho, percebemos que a segunda tem pequeno efeito, ficando a luz vermelha menos forte que apenas uma placa de vidro.

Podemos explicar a pequena mudança de cor, dizendo que só uma placa não “retira” completamente as partes não vermelhas da luz, resta algo para o segundo vidro vermelho absorver.

Podemos fazer a mesma experiência, usando duas placas de vidro verde, ao invés do vermelho. Como seria de esperar, a segunda placa verde tem pequeno efeito...

Que aconteceria, então se experimentássemos o verde e o vermelho em conjunto?

O que sobra não será vermelho nem verde. Neste estágio de nossa investigação, ainda não conhecemos suficientemente o processo de subtração para predizer que cor aparecerá, mas certamente podemos dizer que muito menos luz nos alcançará após atravessar as duas placas de vidro, do que após atravessar qualquer uma delas. Fazendo esta experiência, podemos perceber que o brilho do papel fica enormemente reduzido, e que a leve coloração remanescente não é vermelha nem verde, mas sim um tênue amarelo ou âmbar. Este resultado nos responde a primeira questão, ou seja, algo é “retirado da luz”.

Mas o que é esse “algo” que se subtrai da luz branca para lhe dar cor?

Como qualquer artista plástico lhe diria, a cor que você vê é determinada pela natureza do objeto iluminado, pela natureza da luz que o ilumina, e pela condição de seu olho no momento em que a cor é vista. Ela também depende dos outros objetos que você vê, ao mesmo tempo.

Quando os vidros vermelho e verde são colocados em conjunto, “vão retirar quase tudo da luz branca”. A maior parte dos materiais comuns vão além, e refletem ou absorvem totalmente a luz branca, não permitindo a transmissão da luz (materiais não transparentes).

A luz branca é mais complexa que a luz de uma só cor, pois ela é composta por diferentes comprimentos de ondas: violeta, azul, verde, amarelo, alaranjado e vermelho.

Então, se um feixe de luz incide sobre um vidro vermelho, este transmite e reflete grande parte da luz vermelha e os demais comprimentos de onda são quase totalmente absorvidos.

Como a luz, outros tipos de energia radiante têm certas propriedades em comum: por exemplo, todos eles têm no vácuo a velocidade de 300 mil quilômetros por segundo e podem ser pensados para alguns efeitos como ondas. Cada um deles tem diferentes comprimentos diferentes de onda (distância entre as cristas de duas ondas consecutivas). Cada um deles transporta quantidade de energia diferente: as ondas de rádio, por exemplo, têm longos comprimentos de onda e pouca energia, os raios X têm pequenos comprimentos de onda e muita energia.

Chamamos esse conjunto de espectro eletromagnético e qualquer porção do espectro é conhecida como faixa. As ondas de rádio têm 500 metros de comprimento, isto é, 500 metros de crista a crista, enquanto

que os raios X têm um bilionésimo de centímetro de comprimento de onda. Entre esses extremos estão as faixas de radiações ultra violeta, de luz visível e de radiações infravermelhas. A luz dentro do espectro é apenas uma pequena parte da energia conhecida como energia radiante ou eletromagnética e, essa energia é a que mais nos interessa nesse momento para o estudo da fotossíntese. O que nós chamamos de luz vermelha tem um longo tamanho comparado, por exemplo, com o laranja, azul e finalmente o violeta, correspondendo esta última a menor onda visível do espectro. Observe o desenho do espectro eletromagnético para um melhor entendimento (Fig. 14):

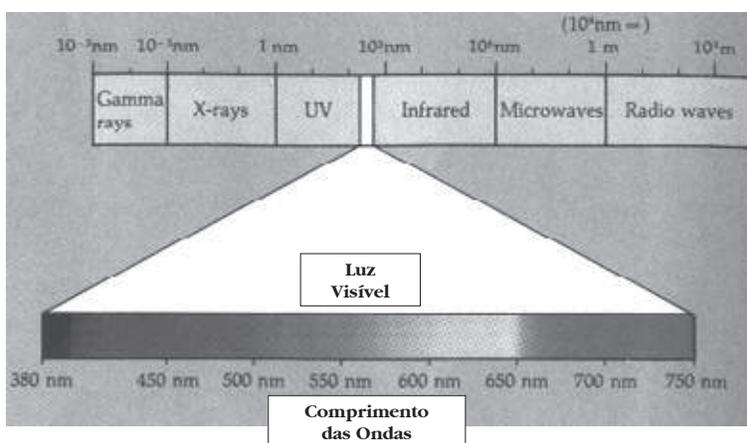


Fig. 14 – Espectro eletromagnético com os vários comprimentos de ondas, dos mais curtos à esquerda aos mais longos à direita- Raios Gama (Gamma rays), Raios X (X Rays), Raio Ultravioleta (UV), Raios Infravermelho (Infrared), Microondas (Microwaves), Ondas de Rádio (Radio Waves).(Campbell, 1990, p. 210).

Mas qual o “destino” da absorção da luz?

A luz absorvida pode ter dois destinos: uma fotorreação, onde a energia será conservada ou sua dissipação que pode acontecer de várias maneiras, na forma de calor por exemplo, o qual não está diretamente disponível para o organismo, quando pensamos numa planta.

Para entendermos melhor a fotorreação, podemos nos referir à teoria de Planck, ou seja, a da transferência da radiação que diz que esta acontece em quantidades discretas de energia chamadas *quanta* ou *fótons*. Essas “partículas” têm uma quantidade fixa de energia.

A faixa de luz visível, geralmente conhecida como espectro de luz, é de particular interesse no estudo da fotossíntese, pois é a partir da absorção de alguns comprimentos de ondas que esse fenômeno acontece. Quais desses comprimentos são utilizados no processo da fotossíntese pelos vegetais?

12 - “Iluminando” o fenômeno

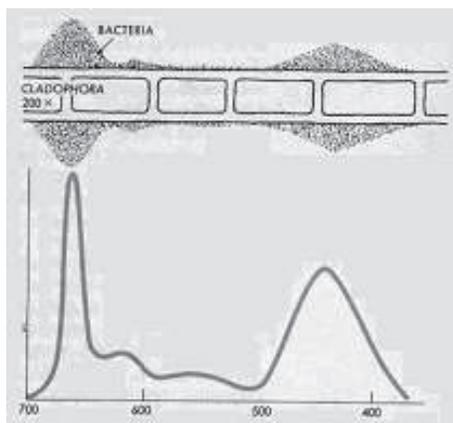


Fig. 15 – Comparação entre o espectro de ação da fotossíntese (determinado pela aglomeração de bactérias nas regiões de elevada concentração de oxigênio ao longo de um filamento de alga exposto a um espectro luminoso) e o espectro de absorção dos pigmentos da planta. Note a estreita correlação entre a aglomeração de bactérias e os picos de elevada absorção de luz pelos pigmentos (vermelha e violeta). (Fig. extraída de Baker & Allen, 1975, p. 197)

Vermelho Laranja Amarelo Verde Azul Violeta

Um dos primeiros cientistas a se preocupar com a influência da luz no fenômeno da fotossíntese foi o alemão T. W. Engelman, o qual provou que a clorofila absorve determinados comprimentos da luz branca. Em 1881, utilizando-se de uma alga, (a *Cladophora*) e bactérias aeróbias que procuram altas concentrações de oxigênio, pode constatar que através da decomposição da luz por um prisma incidida em um pequeno filamento da alga havia maior concentração (vermelha, azul e violeta) ou menor concentração (laranja, amarelo e verde) de bactérias dependendo das cores do espectro. Como mostra a Figura 15, quando a fotossíntese na alga *Cladophora* era mais intensa, havia maior concentração de bactérias, resultando uma maior produção de oxigênio em determinadas faixas do espectro. Isso evidenciou que a fotossíntese possuía um “espectro de ação”, ou seja, os diferentes comprimentos de onda da luz branca eram absorvidos, refletidos ou transmitidos de forma diferenciada.

Hoje sabemos que as folhas verdes refletem ou transmitem a maior parte dos comprimentos de onda associados com a cor verde, absorvendo a maior parte dos comprimentos de onda das outras cores. A Figura 16 traz um esquema do cloroplasto, local onde ocorre a absorção de luz na planta.

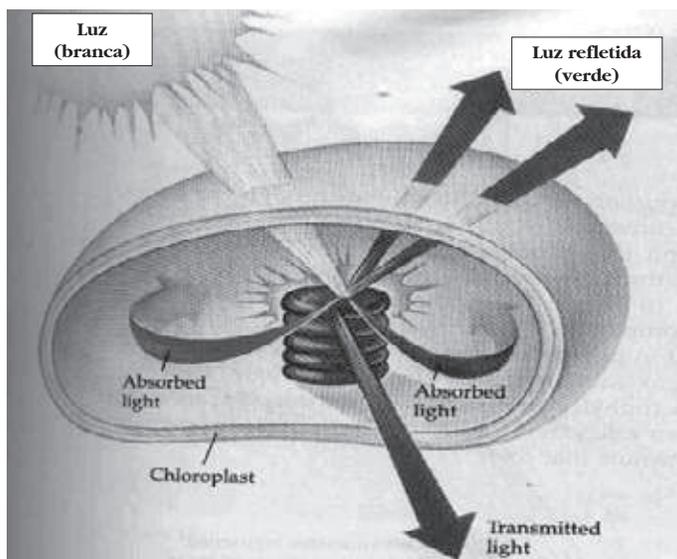


Fig. 16 – Interações da luz com a matéria. Os pigmentos dos cloroplastos absorvem o comprimento azul e vermelho. Eles refletem e transmitem o verde, motivo pelo qual os vegetais parecem dessa cor. (Campbel, 1990, p.211)

Mas e quanto as plantas de outras cores?

No gráfico da Figura 17, há exemplos de dois tipos de pigmentos diferentes, a clorofila (verde) e os carotenóides (laranja) presentes, por exemplo, na cenoura. Nesse gráfico é possível observarmos uma “seleção” nos comprimentos de ondas que depende da utilização pelos pigmentos. No caso das plantas verdes há uma “preferência” maior pelas cores violeta, azul e vermelho; já os carotenóides para realizarem a fotossíntese se utilizam das cores verde e azul, refletindo o amarelo e o laranja do espectro. Diferente do que se pensa, a função da clorofila não é dar cor verde às plantas. Muito pelo contrário, o verde é uma das cores que justamente a clorofila não absorve e assim enxergamos as cores verdes nas plantas.

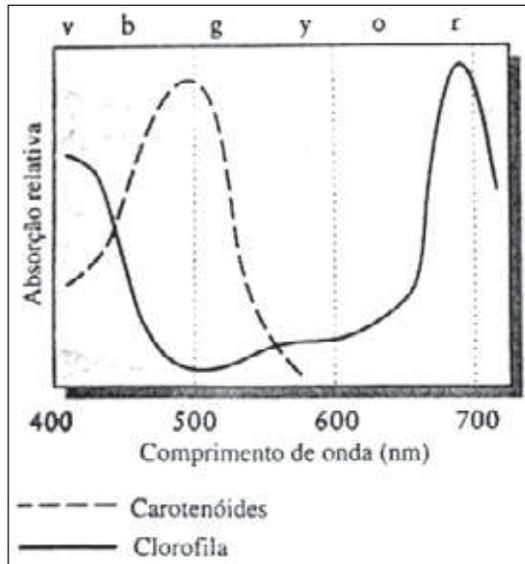


Fig. 17 – A absorção de luz de diferentes comprimentos de onda por dois grupos de pigmentos de planta – clorofilas e carotenóides – que capturam energia luminosa usada na fotossíntese. As cores do espectro são violeta (v), azul (b), verde (g), amarelo (y), laranja (o) e vermelho (r). (Fig. extraída de Ricklefs, 1993, p.32).

Também no início do século XX, F.F.Blackman mediu a produção de O_2 de uma planta aquática denominada *Anacharis densa* mediante a sua exposição às várias “intensidades luminosas”. Verificou que muito ao contrário do que se pensava ou se pensa até hoje, a eliminação de O_2 depende diretamente da intensidade da luz somente dentro de uma faixa limitada, ou seja, aumentos na intensidade da luz não resultam em aumento progressivo do oxigênio produzido. E o contrário também pode ocorrer, quando a diminuição da luz chega a zero, a taxa de O_2 diminui ou cessa por completo.

Como vimos não se tratou apenas de dizer que a luz é importante para os vegetais! Foi e ainda é preciso saber o porque dessa importância, como ela é utilizada, quais tipos de ondas são utilizados e assim por diante... Essas respostas levam a outras questões e dessa forma vamos aprofundando nosso conhecimento. Também podemos perceber que o avanço das outras ciências, como a química e a física fazem com

que a biologia avance ainda mais, principalmente quando este conhecimento está atrelado à tecnologia e a construção de instrumentos que ampliam nossa capacidade de “ver”. Hoje com os sentidos mais ampliados, devido ao uso de lentes, computadores, além de outros frutos da tecnologia outros conhecimentos virão a tona e talvez esses aqui escritos já possam estar ultrapassados.

Nós veremos a função da clorofila com detalhes no próximo tópico.

13 - A função da clorofila não é dar cor verde às plantas!!!

Nada adiantaria a luz se não houvesse algo que pudesse captá-la. Como vimos Ingen-Housz foi o primeiro a levantar a importância da luz, além de apontar a existência de um pigmento verde - a clorofila.

O cloroplasto é o local onde ocorre o fenômeno. Ele é uma organela celular geralmente discóide, envolvida por uma membrana dupla, que contém sacos achatados de outras membranas chamadas tilacóides, mantidas em uma matriz - o estroma. É nas membranas dos tilacóides que estão as moléculas de clorofila. Na Figura 18 é possível identificar a localização e estrutura de um cloroplasto e sua relação com a clorofila.

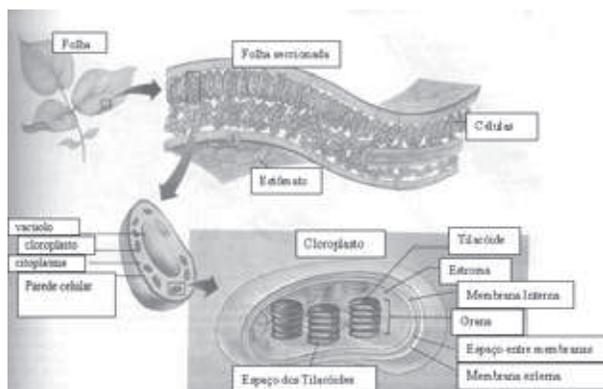


Fig. 18 – Interações de luz com a matéria (Campbell, 1990, p. 209).

Atualmente considera-se a existência de cerca de quatro tipos de clorofilas, inclusive as que estão presentes em certas algas e bactérias fotossintéticas. Porém gostaríamos aqui de ressaltar pelo menos duas: a clorofila “a” (em todas as plantas, inclusive algas) e a “b” (em plantas e algas verdes, junto com a “a”), presentes nos cloroplastos das plantas. As

clorofilas são chamadas de “pigmentos-antena”, pois captam a energia luminosa para a fotossíntese.

Na Figura 19 podemos identificar os espectros de absorção das clorofilas “a” e “b”

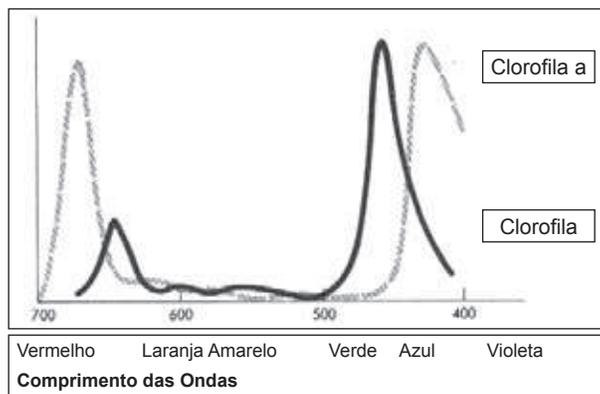


Fig. 19 – Espectros de absorção das clorofilas “a” e “b”. (extraído de Baker & Allen, 1975, p. 196)

14 - O que o sabão em pó que limpa mais branco tem a ver com a fotossíntese?

Graças à tremenda temperatura e pressão no interior do Sol, acontece a fusão de 4 átomos de Hidrogênio em um átomo de Hélio (como acontece com a bomba de Hidrogênio). A perda de massa do sol origina a energia solar. Nessa conversão a perda de matéria é de 4.200.000 toneladas por segundo, sendo a energia liberada de 8 sextilhões de quilocalorias por segundo! Uma minúscula fração dessa energia chega à Terra, levando apenas alguns minutos para fazer essa viagem de 160 milhões de km do sol para cá. Desse total de energia apenas 3% é aproveitada pelas plantas verdes, sendo que desse total apenas 2/3 atingem a clorofila.

Quando os elétrons da clorofila recebem energia vinda da luz, eles absorvem certas quantidades de energia e “saltam” para regiões mais externas. Se esse elétron volta a sua posição anterior, ele emite energia e o excesso de energia pode ser liberado gerando o calor. A partir daí, a energia de um fóton absorvido é convertido em energia potencial e devido ao seu estado instável ele pode voltar para a clorofila.

Um dos exemplos mais interessantes dessa emissão de energia é a utilização de impurezas atômicas luminescentes em sabões que dizem

lavar mais branco (segundo eles tornando as roupas mais limpas), mas que na realidade estão se utilizando desse fenômeno da luminescência. Os elétrons ao receberem determinada quantidade de energia, passam de uma camada a outra e ao voltarem ao seu ponto inicial liberam a energia captada, fazendo parecer a roupa mais brilhante. Isso pode fazer a roupa ficar mais bonita, mas não a torna mais limpa!

Na clorofila, os elétrons carregados de energia participam de reações químicas no cloroplasto da planta, cedendo essa energia para a formação das substâncias.

15 – Fotossíntese não é um fenômeno simples: na verdade poderíamos dizer que são dois fenômenos ...

PRIMEIRA FASE: REAÇÕES DE CLARO

Nessa etapa da fotossíntese chamada de fotoquímica ou reação no claro, a clorofila, absorve a energia luminosa, vital para o processo de quebra da molécula de água, a qual liberará O_2 para a atmosfera. A clorofila se oxida e seus elétrons são utilizados pelo $NADP^+$ (nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato), que também recebe íons hidrogênio transformando-se em NADPH. Os elétrons da clorofila são repostos pela fotólise da água (quebra causada pela luz).

Ao mesmo tempo ocorre o processo de fosforilação, ou seja, o ADP e mais um fosfato inorgânico são transformados em ATP (Adenosina Trifosfato) e essa fosforilação é dependente das reações de óxido-redução que ocorreram a partir da água até o NADPH. Tanto a molécula de ATP como a de NADP irão participar da fase química da fotossíntese. Resumindo, poderíamos dizer que os três itens abaixo representam uma boa síntese dos eventos que ocorrem nessa primeira fase da fotossíntese:

- Há fotólise da água (2 moléculas de água (H_2O) liberam 1 molécula de oxigênio (O_2), 4 elétrons e 4 íons H^+)
- Há redução de 2 $NADP^+$ em 2 NADPH
- Há formação do ATP a partir do ADP e fosfato existente na planta ($ADP + Pi = ATP$)

Nesses dois últimos itens é possível observarmos a energia da luz sendo convertida em energia química, porém sem a produção de açúcares. Estes serão produzidos na segunda fase da fotossíntese.

A segunda fase da fotossíntese é chamada de Fase Química ou Ciclo de Calvin, pois foi Melvin Calvin (década de 30) e seus colaboradores da Universidade da Califórnia, que em 1930 se utilizaram do carbono 14 para descobrir todas as etapas do processo fotossintético. Com cultivo da alga *Chlorella* em meio ao CO_2 marcado com Carbono 14 (C^{14}), constataram que o carbono radioativo⁶⁸ aparecia nas moléculas de glicose 30 segundos depois. Tentando entender as etapas químicas da fotossíntese, eles interrompiam o processo e aos poucos foram descobrindo os compostos intermediários marcados com o C^{14} .

SEGUNDA FASE: CICLO DE CALVIN

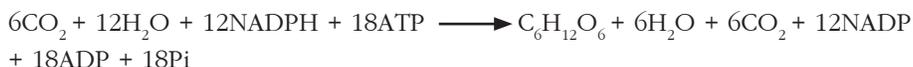
No ciclo de Calvin que ocorre no estroma do cloroplasto, o ATP e o NADPH (o transportador de hidrogênios provenientes da água) produzidos na fase anterior juntamente com as enzimas do local (tal como a Rubisco), participam da síntese da glicose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$). O destino da glicose pode ser o armazenamento em forma de amido ou de outros polissacarídeos como a celulose por exemplo, presente nas paredes das células vegetais. Além disso, o carbono incorporado como açúcar poderá originar as demais macromoléculas necessárias às plantas como as gorduras e proteínas. A glicose os demais alimentos serão utilizados pela mitocôndria, produzindo energia na respiração celular. Para um melhor entendimento veja o ciclo em cinco passos:

- Quando o CO_2 entra no cloroplasto, seu átomo de carbono combina com um açúcar chamado Ribulose Bisfosfato (RuBP) (com 5 carbonos) para formar uma molécula com 6 átomos de carbono.
- Como essa molécula é instável, ela se divide em duas formando dois ácidos fosfoglicéridos (PGA) com 3 átomos de carbono cada.
- Com a energia do ATP e participação do NADPH formado na fase anterior, o PGA forma um açúcar chamado Fosfogliceraldeído (PGAL).
- Cada 12 moléculas de PGAL formadas, 10 permanecem no ciclo e apenas 2 deles se unem para formar a glicose.
- As 10 moléculas de PGAL que ficaram (30 carbonos) se rearranjam, utilizando ATP e formam 6 moléculas de RuBP (30 carbonos). Com isso pode-se recomeçar o ciclo.

⁶⁸ A técnica utilizada por meio de isótopos radioativos consistia numa espécie de auto-retrato, ou radioautografia por meio a exposição de película de raio X.

Embora muitos autores se refiram a essa fase como reação de “escuro”, o ciclo de Calvin ocorre nas plantas durante o dia, pois somente as reações da luz podem regenerar o ATP e NADP gastos na redução do CO₂ em açúcar. Esse termo “reação no escuro”, amplamente utilizado em livros sobre o tema, didáticos ou não, traduzidos para o português ou mesmo encontrado em recentes publicações em inglês, podem causar certa confusão, ao se concluir que a fotossíntese não depende da luz na segunda fase, o que seria um equívoco. Para a noite, a planta consegue energia dos açúcares armazenados, produzidos pela fotossíntese. O mesmo ocorre quando uma planta perde todas suas folhas, por exemplo, no inverno.

Assim, poderíamos resumir as duas fases na equação:



Nessa equação é possível observarmos que o gás carbônico é transformado em carboidrato com auxílio das moléculas de NADPH e ATP, que voltam a ser as mesmas moléculas iniciais do ciclo (NADP e ADP). Veja a Figura 20, que faz um resumo das duas fases:

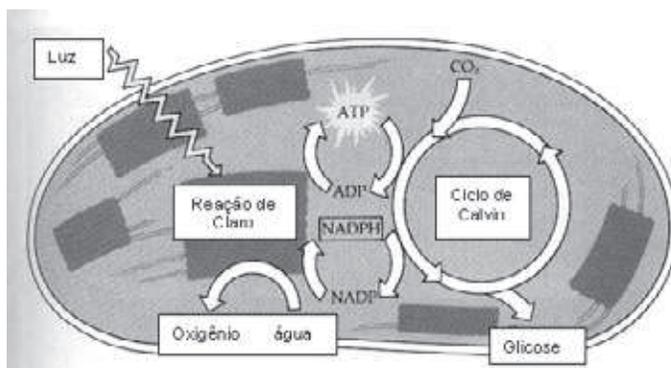


Fig. 20 - Sumário da Fotossíntese – Esse diagrama traz os principais reagentes e produtos do fenômeno e como ele ocorre nos cloroplastos. As reações de Claro, que ocorrem nas membranas tilacóides, convertem a energia da luz em energia química (ATP e NADPH); quebra a molécula de água, e libera o oxigênio. O Ciclo de Calvin, que ocorre no estroma do cloroplasto, usa o ATP e NADPH para converter gás carbônico em glicose. (Campbell, 1990, p. 209)

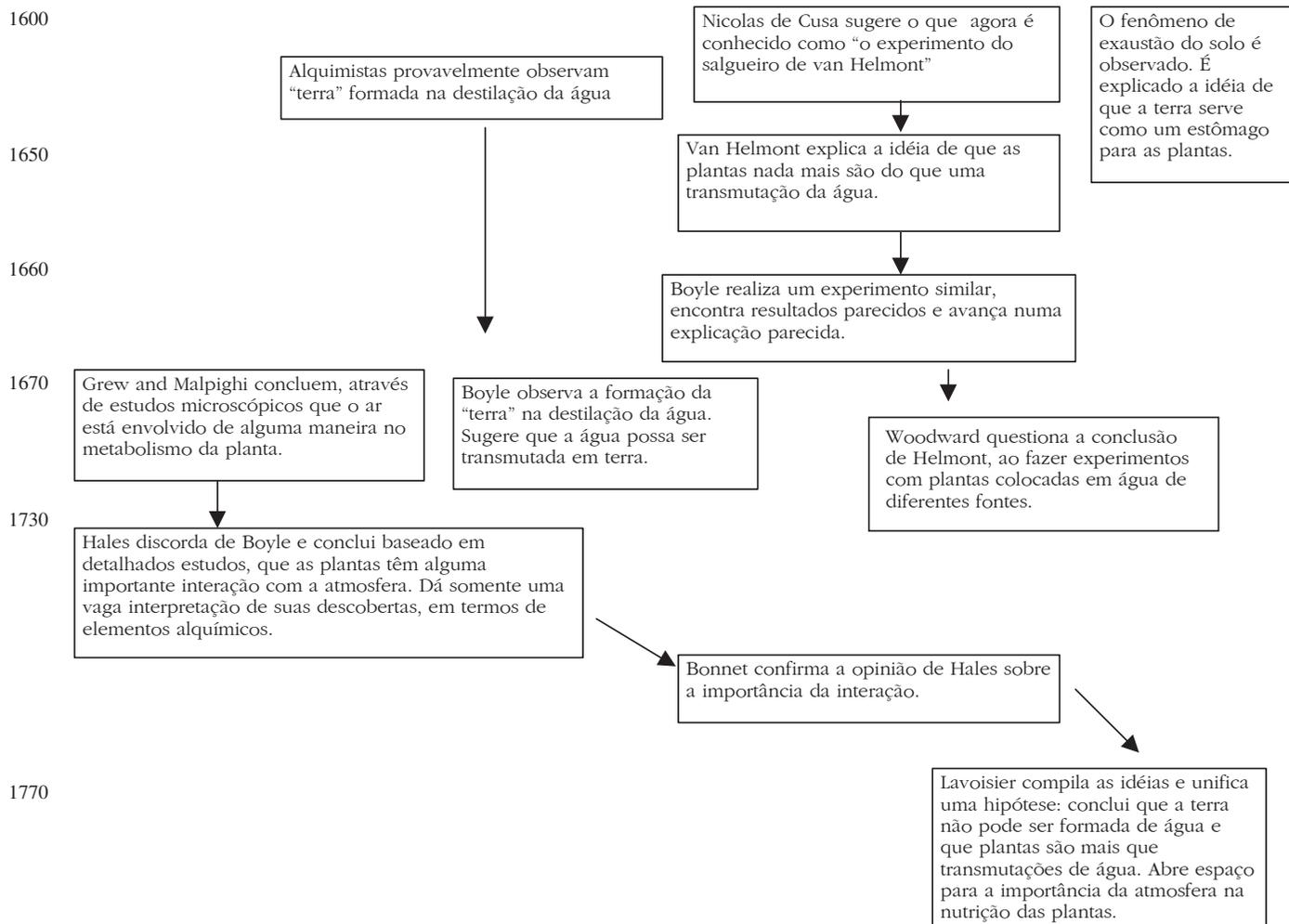
16 - “O drama da vida então é encenado contra as cascatas de energia solar”. (Asimov, 1965, p. 485).

Muita coisa ainda está por se descobrir e talvez nesse momento as informações que colocamos nesse texto, já possam estar obsoletas no momento que escrevemos esse texto. Muito mais ainda poderíamos falar sobre fotossíntese, há centenas de produções de pesquisa sendo escritas em livros e artigos, além das já publicadas que não constam nesse artigo, pelas impossibilidades inerentes da própria linguagem, pois quando se diz algo, se privilegia determinados discursos e os conseqüentes silêncios são constitutivos da língua. Além disso, há a perspectiva de que o mundo está em movimento e estamos vivenciando a história, dessa forma outras descobertas ainda estão por vir.

Dessas pesquisas há também uma produção tecnológica, por exemplo podendo ser utilizada na agricultura, que permite aos produtores fazerem medidas sobre as taxas de fotossíntese dos vegetais, para saberem como conseguir maior eficiência do sistema, ou mesmo, saberem até que ponto um determinado inseto-praga afeta uma cultura, quando ele ataca as suas folhas. Também o conhecimento sobre fotossíntese pode trazer mudanças de hábito, por exemplo, na Estação Experimental Agrícola da Universidade da Califórnia, você pode “ganhar” uma multa (por volta 300,00 dólares) se levantar muita poeira por estar em alta velocidade. Naquele local, existem vários avisos sinalizando que a poeira pode “machucar” as folhas das laranjeiras.

Além de artigos científicos, outros textos são produzidos para o ensino do fenômeno, em forma de livros, CDs, Internet, vídeos e até equipamentos mais sofisticados quando se pensa no ensino de um curso de biologia na universidade. Esperamos que essa humilde síntese, mostrando os principais aspectos possam ajudar não somente no ensino do conceito sobre a fotossíntese, mas também como a ciência é um processo histórico que depende de aspectos exteriores, pois não é neutra ao que acontece com a sociedade. Pelo contrário, ela é um produto da sociedade. Percorrer os caminhos do homem na busca do conhecimento de um fenômeno é bastante prazeroso e isso talvez possa ajudar a explicar porque a Ciência é uma construção humana.

Fig. 21 - ESQUEMA DE FATOS E IDÉIAS SOBRE O FENÔMENO DA FOTOSSÍNTESE*



1772

Priestley descobre que plantas restauram o ar viciado. Conclui que elas purificam a atmosfera extraindo o flogisto. Ênfase nas atividades respiratórias entre animais e plantas.



Schelle e outros não conseguem confirmar resultados de Priestley.



Priestley tem dificuldades em confirmar seus primeiros resultados .



Lavoisier continua trabalhando com novos sistemas químicos envolvendo oxigênio e outros elementos químicos bem definidos. Possui muitos colaboradores incluindo Berthollet.

1779

Ingen-Housz identifica “matéria verde” como planta.



Ingen-Housz descobre que plantas no escuro e partes não verdes “envenenam” ou viciam o ar.



Folhas mergulhadas em água produzem ar puro pela transmutação excitada pela luz



Ingen-Housz estabelece que folhas de plantas iluminadas purificam o ar e conclui:

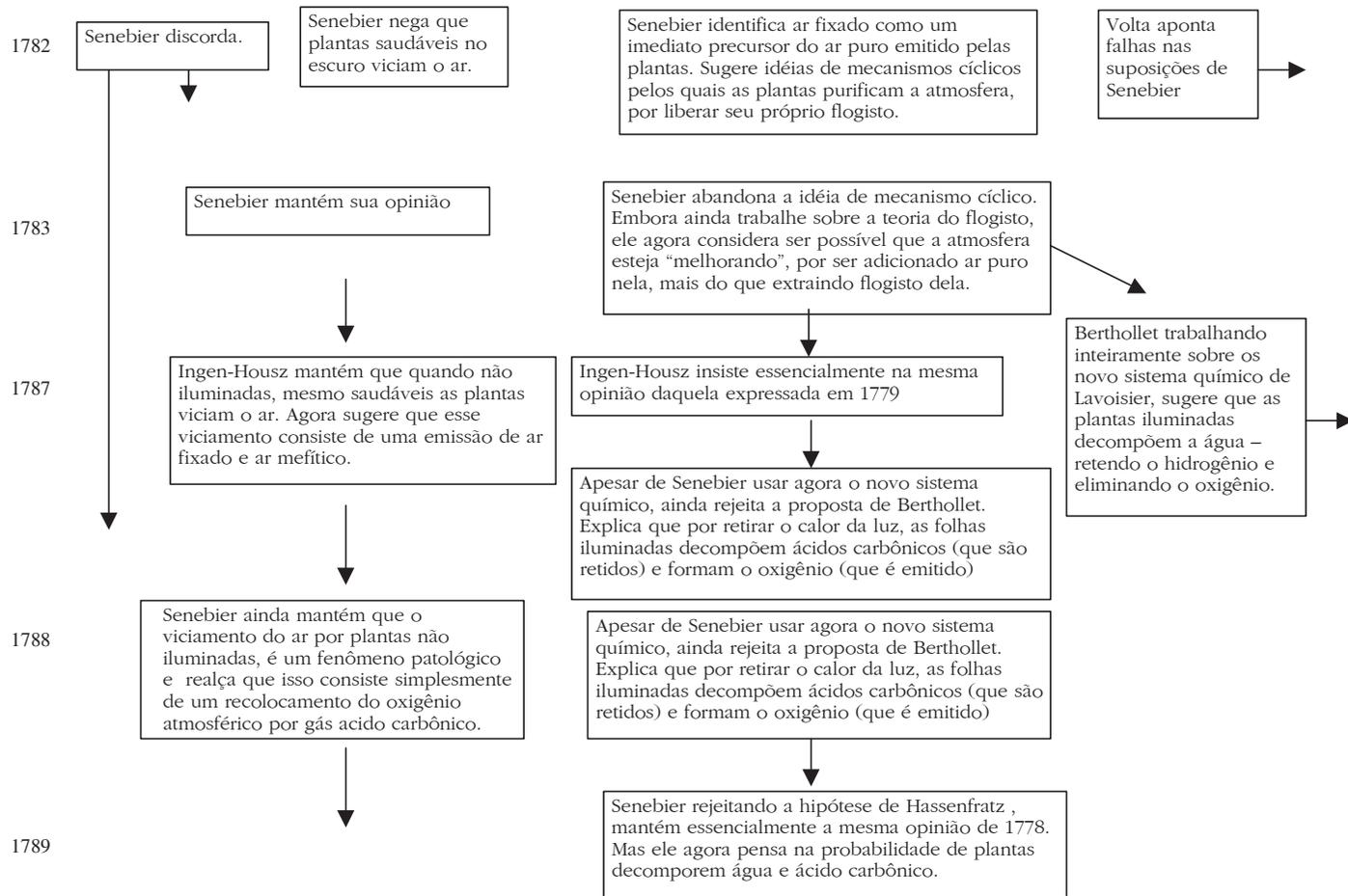


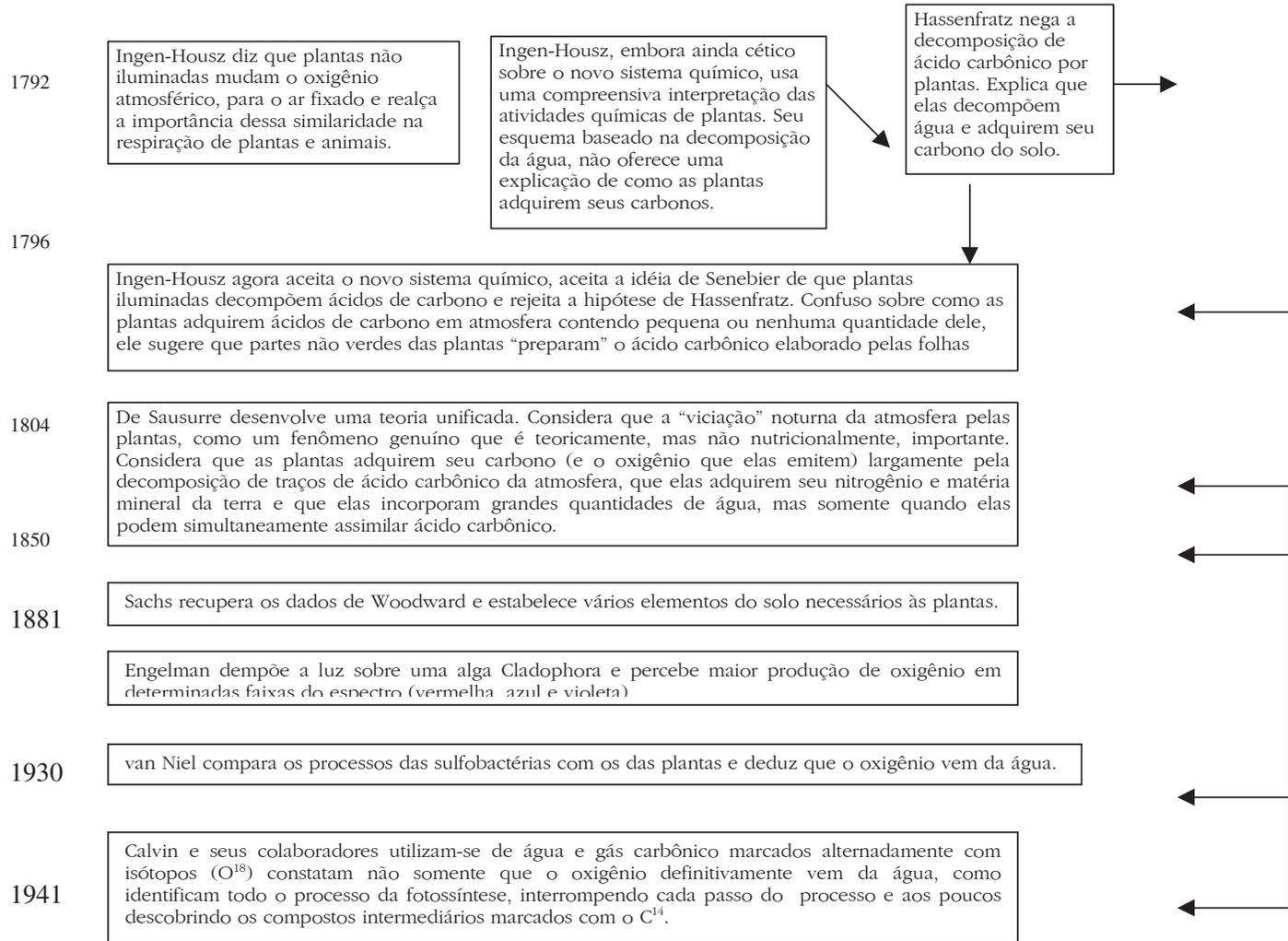
Plantas purificam a atmosfera extraindo flogisto.

1781



Priestley propõe uma teoria unificada: as plantas purificam o ar deflogisticando-o e as plantas mergulhadas liberam ar puro deflogisticando o ar da água em torno delas.





BIBLIOGRAFIA

- Asimov, I. *Vida e Energia* São Paulo: Bestseller Importadora de Livros S.A., 1965.
- Asimov, I. *Photosynthesis*. New York & London, Basic Books Inc. Publishers, 1968.
- Atkinson, D. *Scientific Discourse in Sociohistorical Context - The Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1675-1975*. London, Lawrence E. Ass., Publishers, 1999.
- Baker, J.J.W. & Allen, G. E. *Estudos de Biologia - Vol. 1*. São Paulo, Ed. Edgar Blücher Ltda., 1975.
- Baker, J.J.W. *The Vital Process: Photosynthesis*. Doubleday & Company, Inc., Garden City, New York, 1969.
- Biologia (Biological Sciences Curriculum Study - BSCS) Parte I cap. 09 (versão azul) – S.Paulo, Edart, 1970.*
- Campbell, N. A.; Mitchell, L. G. & Reece, J.B. *Biology: Concepts and Connections*. Redwood City, CA: The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 1994.
- Campbell, N. A. *Biology* (2ed.). Redwood City, CA: The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 1990.
- Castellani B. R. & GARDEL, M. Fotossíntese: Uma Abordagem Histórica. *Textos da TV Escola - Ensino à distância. Prog. 98*, 1994.
- Física (Physical Science Study Committee - PSSC) Parte II cap. 11 –São Paulo, Edart, 1972.*
- Franklin, Benjamin citado por Joseph Priestley. apud Nash, L. K. *Plants and Atmosphere – Case 5*. Cambridge, Harvard University Press, 1952,p. 41)
- Grew, Nehemiah. *The Anatomy of Plants*. London, 1682.
- Hales, Stephen. *Vegetable Staticks*, 2nd ed.,with amendments, is vol. I of Statical Essays. London, 1731, ppi-ii, iv-vi.
- Hall, D. O. & Rao, K. K. *Fotossíntese – Vol. 10*. São Paulo, EPU: Ed. da USP,1980.
- Ingen-Housz, Jan. *Experiments upon Vegetables*. London: 1779 apud Nash, L. K. *Plants and Atmosphere – Case 5*. Cambridge, Harvard University Press, 1952,p. 63-64.

- Jacob, F. *A Lógica da Vida*. Rio de Janeiro, Edições Graal, 1983
- Lavoisier, Antoine. *Sur la nature de l'eau*. in Lavoisier's Oeuvres (Paris, 1862-1893), vol. 2, pp. 1-28 apud Baker, J.J.W. & Allen, G. E. Estudos de Biologia - Vol. 1. São Paulo, Ed. Edgar Blücher Ltda., 1975., p. 182
- McLaren, J. E.; Rotundo, L. & Gurley-Dilger, L. *Biology*. Lexington, Massachusetts: C.C. Heath and Company, 1991.
- Nash, L. K. *Plants and Atmosphere – Case 5*. Cambridge, Harvard University Press, 1952.
- Odum, E. P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Interamericana, 1985.
- Priestley, J. Experiments and Observations on Different Kinds of Air. in Joseph Priestley - Selections from his writings. Edited by Ira V. Brown, The Pennsylvania State University Press, 1962, pp 231-259.
- Priestley, Joseph. - Observations on Different Kinds of Air, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 62 1772 pp 147-264.
- Ricklefs, R. E. *A Economia da Natureza*. Rio de Janeiro, Ed. Guanabara Koogan, 1996.
- SÃO PAULO (Estado) Secretaria de Educação. Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas. *Ciências e Programas de Saúde*. 1984, módulo 18.
- Whatley, J. M. & Whatley, F.R. *A luz e a vida das plantas – Vol. 30*. São Paulo, E.P.U.: Ed. da USP, 1982.
- Wilbrahan, A.C.; Staley, D. D. & Matta, M.S. *Chemistry*. Menlo Park: Addison-Wesley Publishing Company, 1995.
- van Helmont, J. B. *Ortus Medicinæ* (Leyden, 1648) English translation by J. Chandler, Oriartrike. London: 1662.
- Zitzewitz, P.W. & Neff, R.F. *Physics. Principles and Problems*. Ohio: Glencoe/McGraw-Hill, 1995.

AUTORAS

Maria José P. M. de Almeida

Grupo de estudo e pesquisa em Ciência e Ensino - gepCE

FE UNICAMP

email: mjpma@unicamp.br

Odisséa Boaventura de Oliveira

Setor de Educação – UFPR

email: odissea@terra.com.br

Suzani Cassiani de Souza

Grupo de estudos e pesquisas Discursos da Ciência e da Tecnologia na Educação – Dicit

CED – UFSC

email: scsouza@ced.ufsc.br

