

6 Conclusões e recomendações

A presente pesquisa contribuiu para o avanço do conhecimento empírico sobre ferramentas de avaliação de métodos e práticas laboratoriais de Química Analítica, na perspectiva de uso de práticas ‘mais verdes’ pelo Laboratório de Química Geral do Departamento de Química da PUC-Rio. Nesse sentido, um estudo de caso foi desenvolvido no âmbito do Departamento de Química, tendo como unidade de análise o Laboratório de Química Geral. Os resultados obtidos ao longo da pesquisa aqui relatada permitiram que o **objetivo geral** da dissertação fosse alcançado.

A base conceitual sobre a importância da Química Analítica no contexto do paradigma ecológico da Química e o conhecimento das principais ferramentas de avaliação do ‘perfil verde’ dos métodos de Química Analítica, em nível mundial, contribuíram significativamente para que os **objetivos específicos** da dissertação fossem alcançados.

Pelos aspectos descritos e resultados gerados no estudo de caso, a sistemática integrada aqui proposta, quando aplicada na PUC-Rio em toda sua abrangência, poderá ser considerada como uma inovação organizacional. Permitirá obter-se uma visão ampliada dos ‘perfis verdes’ de todos os métodos e práticas laboratoriais de Química utilizados em outros Departamentos, além do Departamento de Química.

Com relação ao **primeiro objetivo** específico – “conceituar ‘Química Analítica Verde’ e discutir sua importância no contexto do desenvolvimento sustentável das instituições de ensino e pesquisa”, adotou-se para fins da dissertação a terminologia introduzida e disseminada pelos trabalhos de Anastas e Warner (1998), Namiesnik (1999) e Anastas (1999). A partir da revisão da literatura especializada sobre a importância das instituições de ensino e pesquisa para o desenvolvimento da Química Analítica Verde, foi possível ressaltar o papel dessas instituições na disseminação e implantação da sustentabilidade ambiental com benefícios para as próprias instituições e a sociedade em geral. De fato, as

universidades encontram-se em posição privilegiada para melhorar o comportamento ambiental, pois, se por um lado são geradoras de problemas ambientais, por outro lado dispõem do conhecimento e competências necessárias para abordar esses mesmos problemas. Essa visão contribuiu de forma decisiva para o enquadramento e seleção adequada das ferramentas de avaliação de métodos e práticas de Química Analítica (pictograma *NEMI*, pictogramas complementares e matriz *SWOT* adaptada para esse campo de atividade).

Em relação ao **segundo objetivo**, foram levantadas as estratégias analíticas que estão sendo desenvolvidas e empregadas em nível mundial e que vêm contribuindo para o avanço da ‘Química Analítica Verde’. Concluiu-se que as estratégias mais praticadas são: sensoriamento remoto, emprego de métodos não invasivos e de quimiometria; minituarização; automação; reciclagem, degradação e passivação *on-line*.

Quanto ao **terceiro objetivo** – “identificar as principais ferramentas de avaliação do ‘perfil verde’ de métodos analíticos que vêm sendo adotadas em nível mundial” – optou-se pelo uso de três ferramentas: (i) pictograma *NEMI*, baseado em quatro critérios definidos pelo *Green Chemistry Institute*, dos EUA; (ii) dois pictogramas complementares, focalizando outros critérios, além daqueles do pictograma *NEMI*; e (iii) matriz *SWOT* para avaliação estratégica de métodos analíticos, conjugando a visão atual (pontos fortes e fracos do método) à visão futura (ameaças e oportunidades).

O **quarto objetivo** – “descrever os perfis das práticas ministradas pelo Laboratório de Química Geral do Departamento de Química da PUC-Rio e avaliá-las segundo sistemática que integra ferramentas adotadas internacionalmente”, foi atingido durante o desenvolvimento do estudo de caso, cujos resultados são discutidos em maior detalhe no capítulo 5. Apresentam-se aqui uma síntese das conclusões do caso.

As análises referentes aos ‘perfis verdes’ das práticas em foco permitiram concluir que, dentre as 12 práticas ministradas pelo Laboratório, cinco apresentaram perfis ‘mais verdes, conforme os critérios do pictograma *NEMI* e complementares. São elas: (i) ‘Medidas, Algarismos significativos e erros’; (ii) ‘Gases e o princípio de Avogadro’; (iii) ‘Equilíbrio ácido-base: determinação da concentração de ácido acético no vinagre’; (iv) ‘Termoquímica: reações com troca

de calor e lei de Hess'; e (v) 'Cinética química: estudo da velocidade de reação – efeito da concentração'. Já as práticas com perfis considerados 'menos verdes' são: (i) 'Estequiometria de reação envolvendo gás'; (ii) 'Equilíbrio químico e o princípio de Le Chatelier'; (iii) 'Equilíbrio ácido-base e indicadores ácido-base'; (iv) 'Equilíbrio de precipitação: reações com formação de compostos pouco solúveis'; (v) 'Titulação de neutralização com indicador condutométrico'; (vi) 'Eletroquímica: reações de oxirredução'; e (vii) 'Eletroquímica: células galvânicas'. Desse modo, o **quarto objetivo específico** da pesquisa foi alcançado.

Com relação ao **quinto objetivo** da dissertação - "identificar as práticas hoje ministradas pelo Laboratório de Química Geral que poderão ser modificadas ou substituídas", o mapeamento das práticas com 'perfis menos verdes' e a construção das respectivas matrizes *SWOT* para essas práticas confirmaram a relevância e aplicabilidade da sistemática proposta. A partir dos resultados gerados durante a construção das matrizes *SWOT*, recomenda-se:

- substituir termômetros de mercúrio por termômetros a álcool (1 prática);
- substituir reagentes corrosivos, tóxicos ou perigosos por reagentes alternativos que tornem o perfil da prática 'mais verde' (3 práticas);
- substituir as reações objeto da prática por outras 'mais verdes', segundo os pictogramas utilizados nesta pesquisa, que demonstrem os princípios e conceitos teóricos, mantendo-se os objetivos originais da prática (1 prática);
- separar e identificar de forma criteriosa os diferentes compostos de resíduos formados durante as práticas (1 prática);
- tornar a prática demonstrativa, a ser conduzida uma única vez pelo professor, em casos aplicáveis (2 práticas).

Para fins da adoção da sistemática proposta pelo Departamento de Química e outros Departamentos da PUC-Rio (que empregam métodos de Química Analítica), recomenda-se:

- a disseminação da sistemática integrada de avaliação de 'perfis verdes' de métodos químicos analíticos nos demais Laboratórios do Departamento de Química e no Departamento de Engenharia de Materiais;
- a elaboração de um plano de ação, em conjunto com os Comitês de QSMS do Departamento de Química, para substituição de reagentes corrosivos, tóxicos ou perigosos por reagentes alternativos que tornem os perfis das práticas e métodos analíticos 'mais verdes';

- a implantação de estratégias e boas práticas de Química Analítica Verde, como sensoriamento remoto, emprego de métodos não invasivos e de quimiometria; minituarização; automação; reciclagem, degradação e passivação *on-line*.

Na perspectiva da replicação da sistemática integrada de avaliação dos ‘perfis verdes’ de métodos de Química Analítica em outras Universidades e Instituições de Pesquisa, recomenda-se sua ampla divulgação junto aos principais grupos de interesse, como instituições acadêmicas, órgãos governamentais, ONG e empresas, dentre outros.

Finalmente, para trabalhos futuros de desdobramento da pesquisa e aprofundamento dos resultados, propõem-se:

- identificar oportunidades de replicação da sistemática de avaliação aqui proposta para outras Universidades e Instituições de Pesquisa e divulgá-la, a partir da sua implantação no Laboratório de Química Geral do Departamento de Química da PUC-Rio, como uma inovação organizacional da Universidade;
- monitorar sistematicamente a evolução dos modelos e práticas de avaliação de ‘perfis verdes’ de métodos de Química Analítica, visando atualização da ferramenta aqui proposta e *benchmarking* da PUC-Rio.

A geração indesejada de resíduos e a emissão de poluentes implicam na consideração de um orçamento necessário para evitar ou reparar os danos ambientais e de saúde ocupacional. Por essa ótica, pode-se concluir que a ‘Química Analítica Verde’ envolve tanto procedimentos éticos, quanto econômicos, e que as metodologias analíticas verdes oferecem uma excelente oportunidade para que instituições de ensino e pesquisa, como a PUC-Rio, possam atingir o *status de campus* universitário sustentável.

A avaliação de métodos e práticas de Química Analítica Verde encontra-se em plena fase de desenvolvimento em nível mundial, o que propicia amplo espaço de divulgação de pesquisas empíricas, como a que foi conduzida ao longo do desenvolvimento desta dissertação. Acredita-se que o esforço de validação da sistemática integrada de avaliação no Laboratório de Química Geral do Departamento de Química possa apoiar os diversos atores envolvidos na implantação das diretrizes e metas da Agenda Ambiental PUC-Rio.