

**MAPEAMENTO DE
HABILIDADES DOS
ESTUDANTES DE NÍVEL
SUPERIOR EM PRÁTICAS
EXPERIMENTAIS
TRADICIONAIS E
INVESTIGATIVAS SOBRE
ESPECTROMETRIA DE
INFRAVERMELHO**

**MAPPING OF HIGHER EDUCATION STUDENTS' SKILLS IN TRADITIONAL
AND INVESTIGATIVE EXPERIMENTAL PRACTICES ON INFRARED
SPECTROSCOPY**

Ciências Exatas e da Terra • 24/08/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/787547127](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/787547127)

Francisco José Mininel¹

Silvana Márcia Ximenes Mininel²

RESUMO

O ensino de espectrometria no nível superior frequentemente oscila entre abordagens tradicionais diretivas e metodologias ativas de cunho investigativo. Este trabalho apresenta um estudo comparativo focado no mapeamento de habilidades cognitivas, procedimentais e atitudinais de estudantes de graduação em Química durante a execução de práticas experimentais de Espectrometria de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR). A metodologia envolveu a divisão de uma turma de 30 alunos em dois grupos: o Grupo A executou um roteiro tradicional do tipo "receita de bolo" para identificação de grupos funcionais em polímeros, enquanto o Grupo B participou de uma sequência didática investigativa voltada para a elucidação de um problema de degradação de materiais e adulteração de amostras comerciais. O mapeamento de habilidades foi estruturado com base na Taxonomia de Bloom Revisada e em matrizes de competências experimentais, utilizando como instrumentos de coleta de dados relatórios técnicos, diários de bordo, observação direta e análise dos espectros gerados pelos estudantes. Os resultados quantitativos e qualitativos demonstram que, embora o método tradicional assegure eficiência operacional mecânica inicial e espectros reprodutíveis, a abordagem investigativa estimula significativamente habilidades de ordem superior, como análise crítica de ruídos de linha de base, resolução de problemas de preparação de amostras (pastilhas de KBr versus reflexão total atenuada - ATR) e argumentação científica fundamentada em dados espectrais. Conclui-se que a hibridização das abordagens, com transição gradual para o formato investigativo, potencializa a formação profissional e a autonomia científica dos estudantes.

Palavras-chave: Ensino de Química; Experimentação Investigativa;

Espectroscopia no Infravermelho; Habilidades Cognitivas; Matriz de Competências.

ABSTRACT

Spectrometry teaching in higher education frequently oscillates between directive traditional approaches and active investigative methodologies. This work presents a comparative study focused on mapping the cognitive, procedural, and attitudinal skills of undergraduate Chemistry students during the execution of Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) experimental practices. The methodology involved dividing a class of 30 students into two groups: Group A followed a traditional "cookbook" guide for identifying functional groups in polymers, while Group B participated in an investigative didactic sequence aimed at elucidating a material degradation and commercial sample adulteration problem. The mapping of skills was structured based on the Revised Bloom's Taxonomy and experimental competence matrices, utilizing technical reports, logbooks, direct observation, and analysis of student-generated spectra as data collection instruments. Quantitative and qualitative results demonstrate that while the traditional method ensures initial mechanical operational efficiency and reproducible spectra, the investigative approach significantly stimulates higher-order skills, such as critical analysis of baseline noise, troubleshooting in sample preparation (KBr pellets versus attenuated total reflection - ATR), and scientific argumentation based on spectral data. It is concluded that the hybridization of approaches, with a gradual transition to the investigative format, enhances professional training and the scientific autonomy of students.

Keywords: Chemistry Education; Inquiry-based Learning; Infrared Spectroscopy; Cognitive Skills; Competence Matrix.

1. INTRODUÇÃO

A formação de profissionais da química e áreas correlatas exige o desenvolvimento de competências técnicas robustas ligadas à caracterização molecular. No ecossistema laboratorial acadêmico, a Espectrometria de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) desponta como uma das ferramentas analíticas mais ubíquas e essenciais, permitindo a identificação expedita de grupos funcionais e a elucidação estrutural de matrizes orgânicas e inorgânicas (PAVIA et al., 2015). Contudo, os modelos pedagógicos que sustentam o ensino dessa técnica nas universidades frequentemente perpetuam uma lógica puramente instrumental e de verificação mecânica.

Tradicionalmente, os roteiros de aulas práticas assumem a forma de guias instrucionais rígidos, popularmente denominados "receitas de bolo". Nesses cenários, os estudantes manipulam o equipamento de forma automatizada, obtêm o espectro e realizam uma correlação linear direta com tabelas de frequências de estiramento e deformação angular pré-estabelecidas (SILVA; ZUANON, 2021). Embora esse modelo apresente vantagens logísticas, como menor tempo de execução e menor desgaste de consumíveis, ele falha em instigar o pensamento crítico, a resolução de problemas instrumentais e a compreensão profunda dos fenômenos físico-químicos e ópticos subjacentes.

Em contrapartida, as atividades experimentais de caráter investigativo (ou *inquiry-based learning*) transpõem o estudante do papel de mero executor para o de solucionador de problemas (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011). Diante de uma situação-problema autêntica — como a falha estrutural de um polímero industrial ou a

suspeita de adulteração de um insumo farmacêutico —, o discente precisa planejar a estratégia amostral, selecionar o modo de amostragem ideal (transmissão por pastilha de KBr ou Reflexão Total Atenuada - ATR), otimizar os parâmetros de varredura e interpretar anomalias espectrais provocadas por interferentes ou erros operacionais.

Diante desse panorama, emerge a necessidade de compreender empiricamente o impacto de diferentes designs instrucionais sobre o perfil de habilidades desenvolvidas pelos estudantes. Este artigo reporta uma investigação quase-experimental orientada pela seguinte questão de pesquisa: *Quais habilidades cognitivas, procedimentais e atitudinais são efetivamente mobilizadas e consolidadas quando estudantes de graduação realizam práticas de FTIR sob a ótica tradicional em comparação com a abordagem investigativa?* O objetivo geral consiste em mapear e contrapor essas habilidades, gerando subsídios metodológicos para a reestruturação curricular de disciplinas de análise instrumental no ensino superior brasileiro.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. A Experimentação no Ensino Superior de Química e as Tipologias de Práticas

A experimentação no ensino das ciências naturais não possui um fim em si mesma; ela atua como um espaço de mediação conceitual, epistemológica e metodológica. Hodiernamente, a literatura classifica as práticas laboratoriais de acordo com o grau de autonomia conferido ao estudante. Suart e Marcondes (2009) categorizam as atividades em demonstrativas, de verificação

(tradicionais) e investigativas. No modelo de verificação, o problema, o método e a resposta correta são previamente conhecidos pelo estudante, limitando o espaço para o erro construtivo e para a reflexão sobre a natureza da ciência.

A transição para o laboratório investigativo altera a dinâmica de poder epistêmico. Segundo Kelly e Schwahn (2022), o engajamento em práticas abertas força o estudante a coordenar dados e evidências textuais e instrumentais com modelos teóricos abstratos. Essa coordenação é o cerne do fazer científico. Quando o aluno se depara com um espectro com baixa relação sinal-ruído ou distorções de dispersão (efeito Christiansen), o contexto investigativo exige o diagnóstico do problema, em vez da simples repetição acrítica do procedimento.

2.2. Fundamentos da Espectrometria de Infravermelho (FTIR) e Desafios de Aprendizagem

Do ponto de vista físico-químico, a espectrometria no infravermelho fundamenta-se na interação da radiação eletromagnética com a matéria, especificamente provocando transições entre estados vibracionais quantizados de moléculas que apresentam variação no seu momento de dipolo elétrico durante o movimento (PAVIA et al., 2015). A interpretação de um espectro de infravermelho envolve o reconhecimento de frequências de grupo específicas, regidas pelas massas reduzidas dos átomos envolvidos e pelas constantes de força das ligações químicas, conforme descrito formalmente pela aproximação do oscilador harmônico modificada por termos de anarmonicidade (SILVERSTEIN; WEBSTER; KIEMLE, 2005).

A aprendizagem dessa técnica impõe severas barreiras cognitivas aos estudantes. A transição do nível macroscópico (a amostra física) para o nível submicroscópico (as vibrações moleculares de estiramento e deformação) e sua posterior representação no nível simbólico (as bandas de absorção expressas em números de onda, cm^{-1}), e transmitância/absorvância) exige alta capacidade de abstração (JOHNSTONE, 1991). O estudante precisa decodificar variáveis complexas, como:

- O efeito da hibridização do carbono (sp^3), (sp^2), (sp) nas frequências de estiramento (C-H);
- O deslocamento de bandas carbonílicas (C=O) decorrente de efeitos eletrônicos indutivos e de ressonância ou de ligações de hidrogênio inter e intramoleculares;
- Os fenômenos ópticos e de interface que ocorrem nos acessórios de amostragem, como a profundidade de penetração do feixe evanescente no cristal de ATR (SKOOG; HOLLER; CROUCH, 2018).

2.3. Taxonomia de Bloom Revisada Aplicada Ao Contexto Instrumental

Para mapear o desenvolvimento de habilidades de forma estruturada, a literatura educacional recorre frequentemente à Taxonomia de Bloom Revisada por Anderson e Krathwohl (2001). Esta matriz bidimensional organiza os processos cognitivos em seis níveis de complexidade crescente: Lembrar, Entender, Aplicar, Analisar, Avaliar e Criar.

No contexto do ensino de FTIR, as habilidades correlacionam-se aos níveis taxonômicos conforme estruturado no quadro conceitual abaixo:

1. Lembrar: Recordar a região espectral do infravermelho médio ($4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$) e as funções básicas dos componentes do espectrômetro (fonte, interferômetro de Michelson, detector).
2. Entender: Explicar por que certas vibrações são ativas no infravermelho e outras não, associando o fenômeno à variação do momento de dipolo.
3. Aplicar: Preparar adequadamente uma amostra em pastilha de KBr ou posicioná-la corretamente sobre o cristal de ATR, operando o *software* de aquisição de dados de forma autônoma.
4. Analisar: Decompor um espectro complexo, discriminando bandas legítimas de sobretons, bandas de combinação ou bandas de contaminantes (como água atmosférica e CO_2).
5. Avaliar: Julgar a qualidade metrológica do espectro obtido, verificando se há saturação de bandas ou se a linha de base necessita de correções matemáticas avançadas.
6. Criar: Propor e desenhar um protocolo experimental inédito para quantificar ou qualificar um analito em uma matriz complexa e desconhecida.

3. METODOLOGIA

3.1. Delineamento da Pesquisa e Sujeitos

Adotou-se um delineamento quase-experimental com abordagem mista (quanti-qualitativa). A pesquisa foi conduzida em uma universidade pública federal brasileira, envolvendo 30 estudantes matriculados na disciplina de Análise Instrumental Experimental, pertencentes ao curso de Bacharelado em Química. Todos os participantes já haviam cursado a etapa teórica de espectroscopia molecular.

A turma foi dividida aleatoriamente em dois grupos de 15 alunos:

- Grupo A (Abordagem Tradicional/Diretiva): Realizou a prática baseada em um roteiro fechado, focado na identificação sistemática de polímeros comerciais via ATR.
- Grupo B (Abordagem Investigativa): Submetido a uma sequência didática contextualizada a partir de um problema técnico real, demandando planejamento próprio e tomada de decisões metodológicas.

3.2. Descrição das Intervenções Didáticas

3.2.1. Protocolo do Grupo a (Tradicional)

O Grupo A recebeu um roteiro contendo instruções passo a passo. O texto determinava explicitamente: as amostras a serem analisadas (filmes de Polietileno - PE, Poliestireno - PS e Polimetilmetacrilato - PMMA); o acessório a ser utilizado (ATR de Diamante); o número de varreduras (32 scans) e a resolução (4 cm^{-1}). Os alunos executaram os comandos no *software*, imprimiram os espectros e preencheram uma tabela fornecida no próprio roteiro, correlacionando os picos observados com os dados tabulados na literatura.

3.2.2. Protocolo do Grupo B (Investigativo)

O Grupo B foi confrontado com o seguinte cenário problemático:

"Uma indústria de embalagens plásticas para o setor farmacêutico detectou falhas mecânicas severas em um lote de filmes flexíveis rotulados como polietileno de alta densidade (PEAD) puro. Há suspeita de contaminação cruzada por reciclados de menor custo ou degradação térmica durante a extrusão. Como peritos analíticos, vocês devem determinar a identidade real do material, diagnosticar a presença de contaminantes ou subprodutos de oxidação e propor se o lote deve ser rejeitado ou aceito."

O roteiro não informava quais parâmetros instrumentais adotar, tampouco a forma de amostragem. O laboratório disponibilizou acessórios de ATR e prensas hidráulicas para pastilhas de KBr. Os alunos precisaram pesquisar na literatura, debater em grupo, elaborar uma hipótese de trabalho e submeter um plano de execução ao docente antes de ligar o equipamento.

3.3. Instrumentos de Coleta e Critérios de Mapeamento de Habilidades

Para monitorar e mapear as habilidades mobilizadas, foram utilizados múltiplos instrumentos analíticos, cruzados segundo a matriz de competências experimentais proposta por Reid e Shah (2007):

1. Observação Direta Estruturada: O docente e um monitor preencheram uma folha de verificação (Checklist de Desempenho Procedimental) durante a sessão prática,

avaliando a autonomia no manuseio do espectrômetro, cuidados com o cristal e resolução de travamentos do sistema.

2. Qualidade dos Dados Espectrais Obtidos: Os arquivos brutos (*.spc / .vba) salvos pelos estudantes foram auditados para verificar se os parâmetros escolhidos produziram espectros analiticamente válidos.

3. Relatório Técnico-Científico: Avaliação do rigor na interpretação das bandas, profundidade da discussão e capacidade de articulação entre os dados experimentais e a literatura científica (regras da ABNT).

As habilidades foram computadas em uma escala de proficiência de 0 a 10 pontos, distribuídas em três grandes domínios (Cognitivo, Procedimental e Atitudinal), conforme os indicadores descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Matriz de competências, habilidades e indicadores operacionais de desempenho estruturada por domínios de aprendizagem.

Domínio/Habilidade e Mapeada	Indicador Operacional de Desempenho
DOMÍNIO COGNITIVO	
(HC1): Interpretação Estrutural	Capacidade de correlacionar frequências vibracionais com grupos funcionais específicos sem depender unicamente de consultas mecânicas.
(HC2): Resolução de Problemas	Diagnóstico de interferências (ex: bandas de (H ₂ O) e (CO ₂) atmosféricos) e escolha de métodos de correção.

(HC3):Argumentação Científica	Consistência lógica ao justificar conclusões com base nas intensidades e perfis de banda do espectro.
DOMÍNIO PROCEDIMENTAL	
(HP1): Preparo e Amostragem	Destreza na limpeza do cristal de ATR ou na confecção de pastilhas homogêneas de KBr (ausência de opacidade).
(HP2): Configuração Instrumental	Ajuste correto de resolução, ganho, faixa de varredura e background no software de controle do espectrômetro.
DOMÍNIO ATITUDINAL	
(HA1): Autonomia e Tomada de Decisão	Capacidade de avançar na prática sem demandar validação constante ou permissão do professor para cada etapa.
(HA2): Trabalho Colaborativo	Divisão equitativa de tarefas no grupo e debate produtivo frente a resultados inesperados.

3.4. Especificações Técnicas e Parâmetros de Aquisição

Para garantir a reprodutibilidade metrológica e o rigor experimental, ambas as abordagens instrucionais utilizaram o mesmo parque instrumental. As análises foram conduzidas em um Espectrômetro de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) modelo Bruker Alpha II, equipado com uma fonte de radiação de alta intensidade de Carboneto de Silício (Globalar) e um detector de Sulfato de Triglicina Deuterada (DTGS) operando em temperatura ambiente.

Para o modo de amostragem por Reflexão Total Atenuada (ATR), utilizou-se o módulo Bruker Platinum ATR configurado com um

cristal de Diamante de reflexão única (ângulo de incidência de 45°), operando com uma faixa espectral ativa de (4000 cm^{-1}) a (400 cm^{-1}) . A força de compressão da bigorna sobre as amostras poliméricas sólidas foi padronizada eletronicamente em 60 N para assegurar o contato óptico ideal com o feixe evanescente, mitigando variações na profundidade de penetração (dp).

Para o modo de amostragem por Transmissão, as amostras foram pulverizadas em grau analítico em almofariz de ágata e dispersas em Matriz de Brometo de Potássio (KBr) de grau espectroscópico (Merck, 99.99% de pureza), previamente secado em estufa a $120\text{ }^\circ\text{C}$ por 24 horas. As pastilhas foram confeccionadas em uma prensa hidráulica manual sob uma carga de 8 toneladas por 3 minutos, obtendo-se discos translúcidos com espessura nominal de aproximadamente 1,0 mm.

Os parâmetros de aquisição configurados no *software* de controle OPUS (versão 8.5) foram distribuídos conforme o delineamento metodológico de cada grupo:

- Grupo A (Instruído): Coleta automática de 32 varreduras (*scans*) por amostra, resolução óptica fixa de (4 cm^{-1}) , correção automática de $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ gasoso ativa, e comando *Peak Picking* configurado com sensibilidade de 5% para geração imediata da lista de frequências.
- Grupo B (Investigativo): Os estudantes possuíam liberdade para alterar a resolução (2 cm^{-1}) , (4 cm^{-1}) ou (8 cm^{-1}) , o número de *scans* (8 a 128) e desativar os filtros de suavização algorítmica (*smoothing*), devendo justificar cada escolha com base na

relação sinal-ruído (S/N) observada em tempo real na tela de pré-visualização do espectro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados coletados revelaram discrepâncias contundentes entre os dois grupos, evidenciando que o desenho instrucional molda diretamente a profundidade da aprendizagem e a apropriação das técnicas instrumentais.

4.1. Desempenho Cognitivo e Análise Espectroscópica

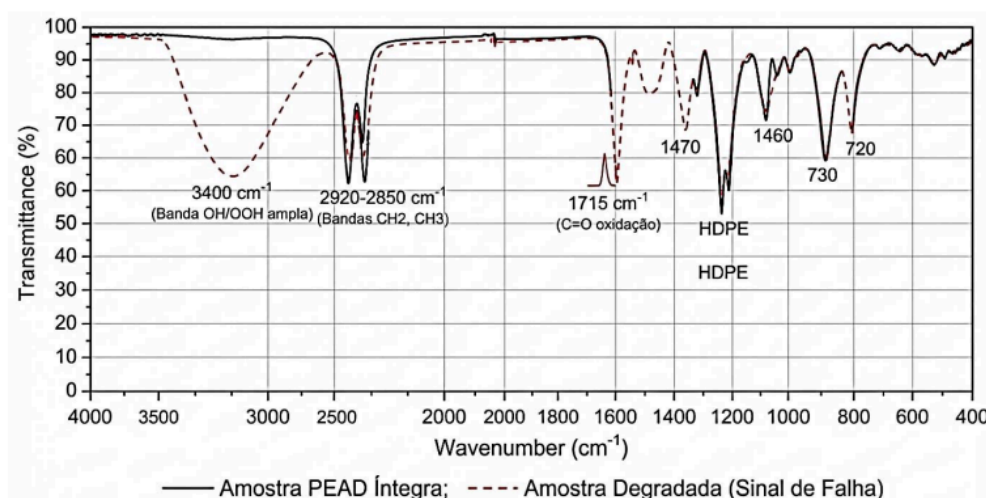
O Grupo A (Tradicional) demonstrou alta velocidade na entrega dos resultados. Contudo, a análise dos relatórios evidenciou que a interpretação espectral tendeu a ser superficial. Os discentes limitaram-se a listar os picos gerados automaticamente pelo comando *peak picking* do *software* e a transcrever as atribuições encontradas em tabelas prontas. Quando expostos a bandas espúrias ou ruídos de linha de base, foram incapazes de explicar a origem dos fenômenos.

O Grupo B (Investigativo) exibiu uma curva de aprendizado inicial mais acentuada, marcada por conflitos cognitivos. Como precisavam identificar uma contaminação por degradação (presença de grupos carbonila (C=O) por oxidação térmica em polietileno, tipicamente em torno de 1715 cm^{-1}), os alunos investigaram minuciosamente regiões espectrais que passariam despercebidas em uma prática convencional.

A Figura 1 ilustra uma simulação baseada no padrão dos espectros obtidos pelos estudantes do Grupo B durante a elucidação do problema, evidenciando a diferenciação entre uma amostra de

PEAD íntegra e uma amostra degradada pelo calor (presença de bandas de estiramento de grupos carbonílicos e hidroperóxidos).

Figura 1. Espectro de FT-IR comparativo de amostras de polímeros PEAD (Grupo B).



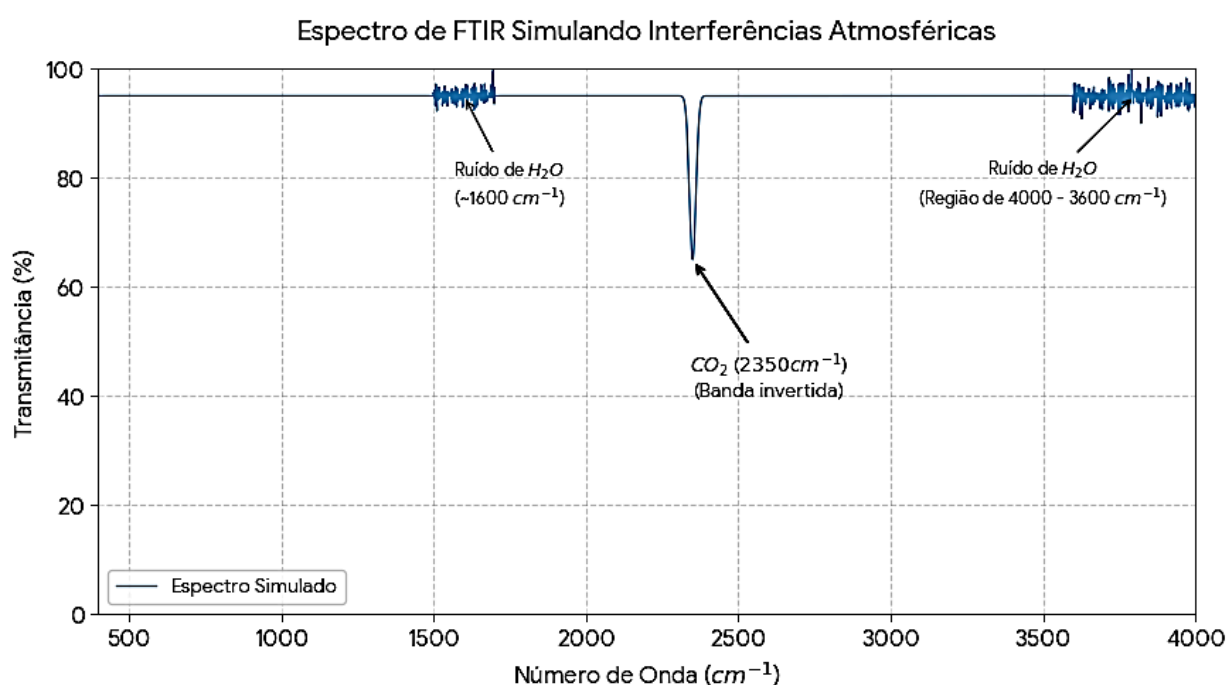
A análise qualitativa da Figura 1 explicita que os estudantes do método investigativo precisaram dominar conceitos de química orgânica de polímeros acoplados à espectroscopia. A identificação do pico em (1715 cm⁻¹) (C=O) de cetonas/ácidos formados por cisão de cadeia) e a elevação da banda larga em (3400 cm⁻¹) (atribuída a hidróxidos e hidroperóxidos de polímeros oxidados) serviram de âncoras para a argumentação nos relatórios, simulando com precisão o ambiente de um laboratório de controle de qualidade industrial.

4.2. Desempenho Procedimental e Domínio Instrumental

No domínio procedimental, observou-se um fenômeno inverso interessante. O Grupo A apresentou notas ligeiramente superiores no quesito "Configuração Instrumental (HP2)" no início da prática. Isso ocorreu porque o roteiro estruturado eliminava o estresse da escolha, permitindo-lhes focar apenas na mecânica dos cliques do *mouse*.

Por outro lado, os estudantes do Grupo B enfrentaram problemas operacionais reais: inicialmente esqueceram-se de coletar o espectro de *background* (segundo plano) ambiental, o que resultou em espectros contaminados pelas bandas intensas de rotação-vibração do dióxido de carbono aquoso/gasoso atmosférico (2350 cm^{-1}) e vapor d'água ($4000\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$) e (1600 cm^{-1}), conforme ilustrado graficamente na Figura 2.

Figura 2. Espectro de FT-IR simulando interferências atmosféricas.



O erro procedimental representado na Figura 2 foi o principal catalisador para a mobilização de habilidades cognitivas de ordem superior (Avaliar e Analisar). Ao constatarem o erro, os alunos do Grupo B foram forçados a buscar a causa do problema. Compreenderam, de forma prática e indelével, a função matemática do interferômetro de Michelson e a necessidade da subtração algorítmica do espectro do meio ambiente para a obtenção de uma linha de base fidedigna. O Grupo A, por ter seguido o roteiro cegamente, obteve espectros limpos de forma imediata, porém a maioria de seus integrantes admitiu, nas entrevistas pós-prática, que não sabiam para que servia o comando *Collect Background*.

4.3. Mapeamento Quantitativo das Habilidades

A avaliação estatística das notas atribuídas aos estudantes com base nos critérios estabelecidos na metodologia permitiu compilar médias de desempenho para ambos os grupos. Os resultados consolidados estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2. Comparativo quantitativo de proficiência de habilidades entre os grupos (Escala de 0 a 10).

Habilidade Avaliada	Média Grupo A (Tradicional)	Média Grupo B (Investigativo)	Valor-p (Teste t de Student)
(HC1): Interpretação Estrutural	7,2	8,8	< 0,05
(HC2): Resolução de Problemas	4,5	8,5	< 0,01
(HC3): Argumentação Científica	5,8	9,0	< 0,01
(HP1): Preparo e Amostragem	8,5	7,9	> 0,05
(HP2): Configuração Instrumental	8,8	8,2	> 0,05
(HA1): Autonomia e Decisão	4,0	9,2	< 0,01
(HA2): Trabalho Colaborativo	6,5	8,7	< 0,05

Os dados da Tabela 2 comprovam que as maiores discrepâncias estatisticamente significativas ($p < 0,01$) concentram-se nas habilidades de Resolução de Problemas (HC2), Argumentação (HC3) e Autonomia (HA1), todas favoráveis ao grupo submetido ao modelo investigativo. No que tange aos aspectos estritamente operacionais mecânicos (HP1) e (HP2), as diferenças não foram significativas, desmistificando o temor comum entre docentes de que práticas investigativas prejudicam o aprendizado técnico-instrumental por demandarem tempo excessivo com discussões teóricas.

4.4. Atribuição Espectroscópica de Bandas dos Polímeros Analisados

Como subsídio para a avaliação da capacidade interpretativa dos discentes, a Tabela 3 consolida as atribuições fundamentais das frequências vibracionais teóricas e experimentais para os polímeros utilizados na prática: Polietileno de Alta Densidade (PEAD), Poliestireno (PS) e Polimetilmetacrilato (PMMA).

Tabela 3. Malha de dados metrológicos de referência para a validação dos relatórios estudantis.

Polímero	Número de Onda Médio (cm^{-1})	Modo Vibracional Teórico	Atribuição Estrutural Aplicada
PEAD	2915	Estiramento Assimétrico	Grupo (CH_2) alifático
	2848	Estiramento Simétrico	Grupo (CH_2) alifático

	1471/1462	Deformação Angular em Tesoura (<i>delta</i>)	Desdobramento de cristalinização (<i>splitting</i>)
	730/719	Deformação Angular de Balanço (<i>rocking</i>)	Sequências de (CH ₂) em fase cristalina/amorfa
PS	3060/3026	Estiramento	Ligação (=CH) aromática
	2922/2850	Estiramento	Cadeia principal (CH-CH ₂ -)
	1601/1492	Estiramento Esquelético	Ligações (C=C) do anel aromático
	756/697	Deformação fora do plano	Substituição Monofuncional do Benzeno
PMMA	2995 / 2951	Estiramento	Grupos (CH ₃) e (CH-)
	1724	Estiramento Absoluto	Grupo Carbonila (C=O) de éster
	1435	Deformação Angular Assimétrica	Flexão de (-CH ₃) ligado ao oxigênio
	1142	Estiramento Assimétrico	Ligação éster (C-O-C)

4.5. Transcrição e Análise Cognitiva dos Relatórios do Grupo a

O exame textual dos relatórios submetidos pelo Grupo A revelou um padrão linguístico linear e descritivo, característico do nível de "Entendimento" superficial da Taxonomia de Bloom. Abaixo,

reproduz-se um fragmento representativo da seção de resultados de um dos grupos da modalidade tradicional:

"O espectro obtido para a Amostra 1 apresentou duas bandas intensas em 2915 cm^{-1} e 2848 cm^{-1}). Consultando a Tabela de Infravermelho fornecida pelo professor, essas bandas correspondem ao estiramento de ligações C-H de alcanos. Também foram observados picos em 1471 e 719 (cm^{-1}). Portanto, conclui-se que a amostra analisada no equipamento Bruker Alpha II é o Polietileno, pois todos os picos batem com a literatura consultada."

A análise crítica desse fragmento evidencia que o design estruturado induz o estudante a uma correlação meramente nominal. O grupo não discute a razão física pela qual o Polietileno apresenta um desdobramento (*splitting*) nas bandas de deformação em (1471 cm^{-1}) e (719 cm^{-1}). Esse fenômeno decorre das interações de acoplamento vibracional entre duas cadeias poliméricas contidas no interior da mesma cela unitária cristalina (mecanismo de campo cristalino).

Por não serem instigados a investigar o porquê das ramificações espectrais, os alunos do Grupo A ignoraram o nível microscópico do material, tratando o espectro como um código de barras de identificação civil e não como uma resposta físico-química complexa da dinâmica molecular.

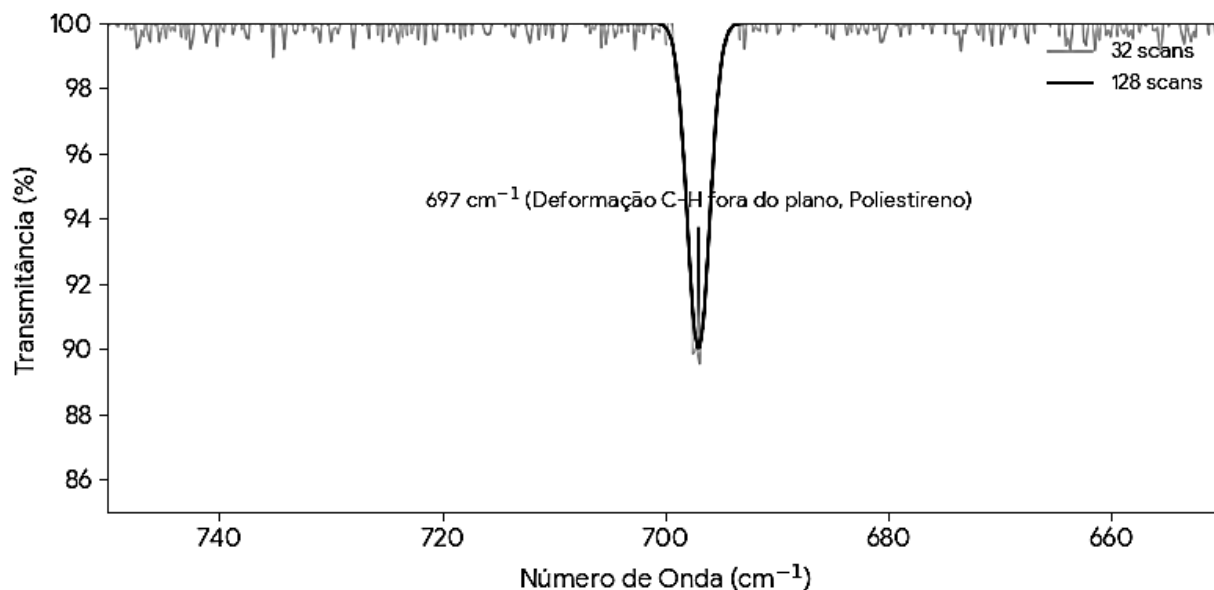
4.6. Transcrição e Análise Linguístico-Argumentativa do Grupo B

Em contrapartida, os relatórios do Grupo B (Investigativo) apresentaram construções textuais ricas em hipóteses, refutações e articulação lógica baseada em evidências espectrais. O fragmento

abaixo ilustra como uma equipe do Grupo B abordou o problema de falha e contaminação cruzada:

"Propusemos inicialmente a hipótese de que a falha nas propriedades mecânicas do filme flexível decorria da presença de Poliestireno reciclado como adulterante no lote de PEAD. Para testar isso, analisamos o filme via ATR. O espectro revelou as bandas clássicas do PEAD em 2915 e 2848 cm^{-1} , mas detectou picos anômalos de baixíssima intensidade em 3026 (cm^{-1}) e 697 cm^{-1}). Embora a intensidade fosse próxima ao ruído da linha de base, a presença simultânea do estiramento =C-H aromático e da deformação fora do plano do anel benzênico confirma que há contaminação por PS. Para descartar a possibilidade de ser apenas ruído do detector DTGS, coletamos um novo espectro aumentando o número de varreduras de 32 para 128 scans. O aumento da relação sinal-ruído preservou os picos em 697 cm^{-1} , validando nossa suspeita de contaminação e justificando a rejeição do lote comercial por inconformidade térmica e estrutural."

Figura 3. Expansão da região de deformação angular fora do plano ($650\text{--}750\text{ cm}^{-1}$) obtida pelo Grupo B. A sobreposição espectral ilustra o efeito do número de varreduras na razão sinal-ruído (S/N): a varredura com 32 scans (linha cinza) exibe ruído de linha de base que mascara o limite de detecção, enquanto a otimização para 128 scans (linha preta) atenua o ruído estatístico, revelando a banda nítida em **697 cm^{-1}** , diagnóstica de contaminação por poliestireno (PS).



A análise desse excerto e da respectiva Figura 3 revela a mobilização dos níveis mais elevados da escala de Bloom (Avaliar e Criar):

1. Os estudantes demonstraram ceticismo analítico ao não aceitarem o primeiro espectro de forma passiva;
2. Identificaram a necessidade metrológica de manipular os parâmetros do equipamento (número de *scans*) para diminuir o ruído estatístico de Johnson-Nyquist associado ao detector térmico;
3. Construíram uma cadeia argumentativa baseada no Princípio da Coordenação de Evidências: o traço polimérico foi atestado não por um único pico isolado, mas pela presença concomitante de bandas ortogonais (região funcional em 3026 cm^{-1}) e região de impressão digital em 697 cm^{-1}).

Este nível de autonomia valida a premissa de que a prática investigativa simula as tomadas de decisão de uma perícia química profissional, impulsionando os estudantes a operarem como sujeitos epistêmicos ativos no laboratório de nível superior.

5. CONCLUSÕES

O mapeamento estruturado de habilidades realizado neste estudo revelou que os formatos de design instrucional adotados em laboratórios de análise instrumental exercem influência profunda e diferenciada na formação do estudante de nível superior.

As principais conclusões derivadas desta investigação indicam que:

- O modelo tradicional atua de forma eficiente na consolidação de habilidades procedimentais básicas e mecânicas, garantindo rapidez operacional e obtenção de dados espectrais limpos e padronizados. Contudo, restringe o desenvolvimento cognitivo dos estudantes aos níveis inferiores da Taxonomia de Bloom (Lembrar, Entender e Aplicar de forma linear), gerando uma falsa sensação de domínio técnico e limitando a capacidade de resolução de problemas e o pensamento crítico frente a anomalias analíticas.
- A abordagem investigativa, embora exija maior investimento temporal e gere ansiedade inicial nos discentes devido à quebra do paradigma de passividade, promove de maneira significativa a mobilização de processos cognitivos complexos (Analisar, Avaliar e Criar). Os estudantes expostos a esse método demonstraram maior apropriação teórica da física subjacente à técnica de FTIR, maior competência para diagnosticar falhas instrumentais — como artefatos de *background* e saturação de bandas — e capacidade superior de argumentação científica fundamentada em dados empíricos reais.
- A dimensão atitudinal é substancialmente fortalecida no ambiente investigativo. Ao assumirem o papel de

solucionadores de problemas reais, os estudantes desenvolvem autonomia metodológica e competências de trabalho colaborativo, atributos altamente demandados no setor industrial e na pesquisa acadêmica contemporânea.

Do ponto de vista pedagógico, os resultados sugerem que os cursos de graduação em Química e engenharias não precisam abolir completamente as práticas diretivas, mas devem integrá-las em um modelo híbrido e progressivo. Propõe-se uma transição curricular em que as primeiras sessões laboratoriais forneçam o alicerce instrumental mínimo (tradicional), seguidas imediatamente por módulos predominantemente investigativos. Essa arquitetura didática equilibra a segurança operacional e a eficiência técnica com a sofisticação cognitiva e a autonomia científica essenciais para o futuro profissional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, L. W.; KRATHWOHL, D. R. A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives. New York: Longman, 2001.

JOHNSTONE, A. H. Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. Journal of Computer Assisted Learning, v. 7, n. 2, p. 75-83, 1991.

KELLY, R. M.; SCHWAHN, J. R. Coordinating levels of chemical representation in analytical chemistry laboratories: an inquiry-based perspective. Chemistry Education Research and Practice, v. 23, n. 1, p. 112-128, 2022.

PAVIA, D. L.; LAMPMAN, G. M.; KRIZ, G. S.; VYVYAN, J. R. Introdução à Espectroscopia. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015.

REID, N.; SHAH, I. The role of laboratory work in university chemistry. Chemistry Education Research and Practice, v. 8, n. 2, p. 172-185, 2007.

SILVA, R. R.; ZUANON, A. C. A. A transição dos laboratórios de verificação para o laboratório investigativo no ensino superior de química: desafios e caminhos. Revista Brasileira de Ensino de Química, v. 16, n. 2, p. 45-59, 2021.

SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X.; KIEMLE, D. J. Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. Princípios de Análise Instrumental. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

SUART, R. C.; MARCONDES, M. E. R. A argumentação em uma atividade experimental investigativa no ensino de química. Química Nova na Escola, v. 31, n. 4, p. 279-289, 2009.

ZÔMPERO, A. F.; LABURÚ, C. E. Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, v. 13, n. 3, p. 67-80, 2011.

¹ Doutor em Química pela UNESP, Campus de Araraquara-SP.

² Mestre em Química pela UNESP, Campus de Araraquara-SP.

