

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE QUÍMICA DE SÃO CARLOS
PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA ORGÂNICA E BIOLÓGICA**

KERLYN KAROLYNE MELO HIRAGA

**Aprendizagem Significativa na Disciplina Introdutória de Química Orgânica:
Um Estudo de Caso**

São Carlos

2022

KERLYN KAROLYNE MELO HIRAGA

**Aprendizagem Significativa na Disciplina Introdutória de Química Orgânica:
Um Estudo de Caso**

Dissertação apresentada ao Instituto de Química de São Carlos, da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciências.

Área de Concentração: Química Orgânica e Biológica

Orientador: Prof. Dr. Antonio Aprigio da Silva
Curvelo

Exemplar revisado

O exemplar original encontra-se em acervo reservado na
Biblioteca do IQSC-USP

São Carlos

2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Assinatura: Kerlyn K. M. Hiraga
Data: 12/12/2022

Ficha Catalográfica elaborada pela Seção de Referência e Atendimento ao Usuário do SBI/IQSC

Hiraga, Kerlyn Karolyne Melo

Aprendizagem Significativa na disciplina Introdutória de Química Orgânica:
um estudo de caso / Kerlyn Karolyne Melo Hiraga. — São Carlos, 2022.
141 f.

Dissertação (Mestrado em Química Orgânica e Biológica) — Instituto de
Química de São Carlos / Universidade de São Paulo, 2022.

Orientadora: Profa. Dra. Antonio Aprigio da Silva Curvelo

1. Química Orgânica. 2. Ensino Superior. 3. Ensino de Química. 4. Mapas
Conceituais. 5. Grafos. I. Título.

Solange M S Puccinelli1 - CRB: 1500/8



AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Silvia (*in memoriam*) por sua calma inspiradora e amizade. Ao meu pai Antonio (*in memoriam*) por sua alegria de viver mesmo em momentos adversos; um exemplo que me impulsiona. Não há um dia sequer que eu não pense em vocês.

Ao meu querido marido Alan, por sempre me lembrar que não é admissível ou justo comigo mesma abandonar meus sonhos e por me apoiar de várias formas a concretizá-los.

Ao meu amado filho Noah, por mesmo sem pretensão ou obrigação me motivar a ser melhor a cada dia.

Ao meu irmão Lucas, minha cunhada Luciana e minha querida sobrinha Luiza por sempre acreditarem em mim.

Ao meu orientador Prof. Dr. Antonio Aprigio, por sua confiança, paciência, motivação, inspiração, compreensão e exemplo como professor, principalmente por sua generosidade em compartilhar seu grande conhecimento e experiência.

Ao professor Luiz Henrique Ferreira, a quem eu admiro profundamente e sou grata pela disposição em ler, sanar dúvidas e sugerir ricas contribuições para o meu trabalho.

Aos meus colegas do Grupo de Físico - Química Orgânica - GFQO, Kelly Lucas, Luiz Ramos, Marcelo Oliveira, Mariana Catozzi, Matheus Flores e Matheus Santos, por sempre demonstrarem atento interesse a minha pesquisa e não medirem esforços em contribuir significativamente com meu trabalho.

Aos funcionários do departamento de Química, em especial às funcionárias da secretária da pós-graduação - CPG, Andreia Moraes, Gislei Oliveira e Daniele Paiutta por sempre serem atenciosas e me auxiliarem prontamente.

Aos meus amigos Dorai Zandonai, Nicolas Guerra, Alexandre Faustino e Adriana Almeida, por mesmo com a distância, fuso horário ou tempo limitado ainda cultivarem nossa amizade, da qual tenho imenso apreço.

Ao Ricardo Barbosa por sua amizade, ouvir minhas ideias e compartilhar seu conhecimento e experiência.

Aos meus professores do curso de Licenciatura em Química da UFSCar, que contribuíram com a construção da minha identidade docente.

À CNPq pela concessão de bolsa durante o período de realização deste mestrado.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente participaram desta caminhada e contribuíram para a realização deste trabalho.

*“1) Ando pela rua
Há um buraco fundo na calçada
Eu caio
Estou perdido... sem esperança.
Não é culpa minha.
Levo uma eternidade para encontrar uma saída.*

*2) Ando pela mesma rua.
Há um buraco fundo na calçada
Mas finjo não vê-lo.
Caio nele de novo.
Não posso acreditar que estou no mesmo lugar.
Mas não é culpa minha.
Ainda assim leva um tempão para sair.*

*3) Ando pela mesma rua.
Há um buraco fundo na calçada.
Vejo que ele ali está
Ainda assim eu caio... é um hábito.
Meus olhos se abrem
Sei onde estou
É minha culpa.
Saio imediatamente.*

*4) Ando pela mesma rua.
Há um buraco fundo na calçada
Dou a volta no buraco.*

5) Ando por outra rua.”

RESUMO

A Química Orgânica é a parte da Química que estuda os compostos de carbono. Ela apresenta uma grande variedade de compostos, versatilidade de aplicações e por consequência está presente em diferentes espaços formativos. Porém, em contraste com sua alta relevância, o que se tem observado na disciplina de Química Orgânica são os baixos rendimentos estudantis e as altas taxas de reprovação. Através destas observações fomos conduzidos a uma indagação: como estaria ocorrendo a formação dos profissionais que poderão futuramente representar essa área de conhecimento da Química? Mediante tal problemática é que se definiu os objetivos a serem investigados nesta pesquisa. Assim sendo, a partir de um estudo de caso com embasamento teórico na teoria da Aprendizagem Significativa objetivou-se realizar um mapeamento curricular conceitual da disciplina de Química Orgânica I do curso de Bacharelado em Química do IQSC-USP entre os anos de 2015 a 2019, com o intuito de embasar o desenvolvimento de uma ferramenta diagnóstica conceitual capaz de investigar tanto os tópicos conceituais nos quais os estudantes apresentaram dificuldades, como os impactos destas dificuldades na aprendizagem da disciplina. A ferramenta proposta apresentou potencial como orientadora na tomada de decisões docente no processo de ensino - aprendizagem, auxiliando desta forma, não só o professor mas também os estudantes na construção significativa de conhecimentos. Por fim, através das análises realizadas os conceitos de Mecânica Quântica: Orbitais Atômicos e Orbitais Moleculares, Regra do Octeto, Representações Estruturais e Ácidos e Bases, destacaram-se como conceitos essenciais a aprendizagem da disciplina de Química Orgânica.

Palavras-chave: Química Orgânica. Ensino de Química. Ensino Superior. Método de Mapeamento de Conceitos. Análise Conceitual. Grafos.

ABSTRACT

Organic Chemistry is the part of chemistry that studies carbon compounds. It presents a wide variety of compounds, versatility of applications and consequently is present in different formative spaces. However, in contrast to its high relevance, what has been observed in the discipline of Organic Chemistry are low student income and high failure rates. Through these observations we were led to an inquiry: how would the training of professionals who may in the future represent this knowledge area of chemistry be taking place? Through this problem, the objectives to be investigated in this research were defined. Thus, based on a case study with theoretical basis in the theory of Significant Learning, the objective was to perform a conceptual curricular mapping of the discipline of Organic Chemistry I of the Bachelor's degree in Chemistry course at IQSC-USP between the years 2015 to 2019, in order to support the development of a conceptual diagnostic tool capable of investigating both the conceptual topics in which students presented difficulties, impacts of these difficulties on learning the discipline. The proposed tool presented potential as a guide in teacher decision-making in the teaching-learning process, thus assisting not only the teacher but also the students in the significant construction of knowledge. Finally, through the analyses performed the concepts of Quantum Mechanics: Atomic and Orbital Molecular, Octet Rule, Structural and Acid Representations and Bases, the essential concepts of learning the discipline of Organic Chemistry stood out as essential concepts.

Keywords: Organic Chemistry. Chemistry teaching. Higher education. Method of Mapping Concepts. Conceptual Analysis. Graph.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de uma proposição.	30
Figura 2 - Grafo contendo conceitos e suas relações sobre constituição atômica.	34
Figura 3 - Exemplo de como os quartis foram definidos.	42
Figura 4 - Mapa Conceitual da relação entre Orbitais Atômicos e Orbitais Moleculares e sua relação com ligações simples, duplas e triplas.	45
Figura 5 - Associação entre Mapa Conceitual e a PAc.	46
Figura 6 - Construção do grafo da relação entre Orbitais Atômicos e Orbitais Moleculares e sua relação com ligações simples, duplas e triplas.	48
Figura 7 - Grafo elaborado da disciplina de Química Orgânica I.	85
Figura 8 - Grafo da disciplina de Química Orgânica I elaborado, com conceitos numerados e com conceitos que apresentam PAc em destaque.	91
Figura 9 - Grafo do grupo de estudantes com desempenho superior.	102
Figura 10 - Grafo do grupo de estudantes aprovados.	104
Figura 11 - Grafo dos estudantes com desempenho médio.	107
Figura 12 - Grafo do grupo de estudantes reprovados.	109
Figura 13 - Grafo do grupo dos estudantes com desempenho inferior.	111
Figura 14 - Comparação de similaridades em baixos aproveitamentos entre os grafos dos estudantes Aprovados (acima) e Reprovados (abaixo).	114
Figura 15- Grafo com a propagação das áreas de similaridade em dificuldades.	118
Figura 16 - Comparação de diferenças de aproveitamento entre os estudantes Aprovados (acima) e Reprovados (abaixo).	120
Figura 17 - Mapa conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado.	140
Figura 18 - Link para a versão PDF do Mapa Conceitual elaborado.	141

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das dez primeiras disciplinas obrigatórias que apresentaram menor nota média entre os anos de 2015 a 2019 no curso de Bacharelado em Química IQSC-USP.	37
Tabela 2 - Classificação das dez primeiras disciplinas obrigatórias que apresentaram maiores porcentagens de reprovação entre os anos de 2015 a 2019 no curso de Bacharelado em Química IQSC-USP (continua).....	37
Tabela 2 - Classificação das dez primeiras disciplinas obrigatórias que apresentaram maiores porcentagens de reprovação entre os anos de 2015 a 2019 no curso de Bacharelado em Química IQSC-USP (conclusão).....	38
Tabela 3 - Quantidade de estudantes em cada turma/ ano analisada(o).....	41
Tabela 4 - Porcentagem de Aproveitamento por Conceito hipotético para os Estudantes 1 e 2 (continua).....	50
Tabela 4 - Porcentagem de Aproveitamento por Conceito hipotético para os Estudantes 1 e 2 (conclusão).....	51
Tabela 5 - Porcentagem de aproveitamento por conceito direto e indireto.....	51
Tabela 6 - Amostra e quartis das turmas de 2015 a 2019 (continua).....	54
Tabela 6 - Amostra e quartis das turmas de 2015 a 2019 (conclusão).....	55
Tabela 7 - Porcentagem de aproveitamento conceitual entre os cinco grupos classificados (continua).....	64
Tabela 7 - Porcentagem de aproveitamento conceitual entre os cinco grupos classificados (conclusão).....	65
Tabela 8 - Valores de PAc e PAIc para cada grupo estudantil classificado (continua).....	96
Tabela 8 - Valores de PAc e PAIc para cada grupo estudantil classificado (continuação).....	97
Tabela 8 - Valores de PAc e PAIc para cada grupo estudantil classificado (continuação).....	98
Tabela 8 - Valores de PAc e PAIc para cada grupo estudantil classificado (conclusão).....	99
Tabela 9 - Relação entre PAc e PAIc.....	124

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Exemplo de análise de conteúdo semântico de várias proposições contendo o conceito Química Orgânica (inicial) e Compostos de Carbono(final), através de uma tabela de clareza proposicional.....	31
Quadro 2 - Organização de entidades e suas subclassificações.....	40
Quadro 3 - Exemplos de proposições contidas no Mapa Conceitual da relação entre Orbitais Atômicos e Orbitais Moleculares e sua relação com ligações simples, duplas e triplas.....	53
Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (continua).....	70
Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (continuação).....	71
Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (continuação).....	72
Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (continuação).....	73
Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (continuação).....	74
Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (continuação).....	75
Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (continuação)	76
Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (continuação).....	77
Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (continuação).....	78
Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (continuação).....	79
Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (continuação).....	80
Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (continuação).....	81

Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (continuação).....	82
Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (conclusão).....	83
Quadro 5 - Relação entre Conceitos Estruturantes e Conceitos Estruturados (continua).....	85
Quadro 5 - Relação entre Conceitos Estruturantes e Conceitos Estruturados (continuação)..	86
Quadro 5 - Relação entre Conceitos Estruturantes e Conceitos Estruturados (continuação)..	87
Quadro 5 - Relação entre Conceitos Estruturantes e Conceitos Estruturados (continuação)..	88
Quadro 5 - Relação entre Conceitos Estruturantes e Conceitos Estruturados (continuação)..	89
Quadro 5 - Relação entre Conceitos Estruturantes e Conceitos Estruturados (conclusão).....	90
Quadro 6 - Numeração dos conceitos a que cada nó no grafo se refere (continua).....	92
Quadro 6 - Numeração dos conceitos a que cada nó no grafo se refere (continuação).....	93
Quadro 6 - Numeração dos conceitos a que cada nó no grafo se refere (conclusão).....	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MC	Mapa Conceitual
PAC	Porcentagem de Aproveitamento por Conceito
PAIc	Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito
TA	Taxa de Aproveitamento
TL	Termo de Ligação
TCP	Tabela de Clareza Proposicional

SUMÁRIO

MOTIVAÇÃO	15
1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVO	22
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
3 REFERENCIAL TEÓRICO	23
3.1 APRENDIZAGEM E TEORIA DA APRENDIZAGEM	23
3.2 A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	23
3.3 O MÉTODO DE MAPEAMENTO DE CONCEITOS	28
3.3.1 <i>Crerios para a Construção de Mapas Conceituais</i>	29
3.4 TEORIA DOS GRAFOS E MAPAS CONCEITUAIS	32
3.4.1 <i>O Algoritmo de Sugiyama</i>	34
4 METODOLOGIA	35
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA METODOLOGIA DE PESQUISA - ESTUDO DE CASO	35
4.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA	35
4.3 CARACTERIZAÇÃO DO <i>CORPUS</i> DE PESQUISA	38
4.4 DESCRIÇÃO DO <i>CORPUS</i> DE PESQUISA	39
4.5 ETAPAS DE ANÁLISE	40
4.5.1 <i>Cálculo da Taxa de Aproveitamento - TA</i>	40
4.5.1.1 <i>Investigação Complementar</i>	41
4.5.2 <i>Classificação Conceitual</i>	42
4.5.3 <i>Porcentagem de Aproveitamento por Conceito - PA_c</i>	43
4.5.4 <i>Construção do Mapa Conceitual da Disciplina</i>	44
4.5.5 <i>Associação entre o Mapa Conceitual e a Porcentagem de Aproveitamento por Conceito - PA_c</i>	46
4.5.6 <i>Construção do Grafo</i>	47
4.5.7 <i>Cálculo da Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito - PA_{Ic}</i>	48
4.5.8 <i>Análise do Grafo</i>	50
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
5.1 CÁLCULO DA TAXA DE APROVEITAMENTO - TA	54

5.1.1 <i>Investigação da tendência de notas durante o percurso P1, P2 e P3 por ano (2015 a 2019)</i>	54
5.1.2 <i>Investigação da porcentagem de reprovação por turma / ano (2015 a 2019)</i>	60
5.2 CLASSIFICAÇÃO CONCEITUAL	62
5.3 PORCENTAGEM DE APROVEITAMENTO POR CONCEITO - PAC	63
5.3.1 <i>Análise de todos os grupos estudantis classificados em relação as Porcentagens de Aproveitamento por Conceito - PAC</i>	67
5.4 CONSTRUÇÃO DO MAPA CONCEITUAL DA DISCIPLINA E ASSOCIAÇÃO COM A PORCENTAGEM DE APROVEITAMENTO POR CONCEITO - PAC	69
5.5 CONSTRUÇÃO DO GRAFO	83
5.6 CÁLCULO DA PORCENTAGEM DE APROVEITAMENTO INDIRETO POR CONCEITO - PAIC	95
5.7 ANÁLISE DOS GRAFOS	100
5.7.1 <i>Grafo do Grupo de Estudantes com Desempenho Superior e Estudantes Aprovados</i>	100
5.7.2 <i>Grafo do Grupo de Estudantes com Desempenho Médio</i>	106
5.7.3 <i>Grafo do Grupo de Estudantes Reprovados e de Estudantes com Desempenho Inferior</i>	108
5.8 DISCUSSÃO DOS GRAFOS	112
5.8.1 <i>Estudantes Aprovados x Estudantes Reprovados</i>	113
5.8.1.1 <i>Investigação de Regiões de Similaridade</i>	113
5.8.1.2 <i>Investigação de Regiões Diferenciais</i>	119
5.8 RELAÇÃO ENTRE PAC E PAIC	123
5.9 PERSPECTIVAS DOS RESULTADOS OBTIDOS	127
6 CONCLUSÕES	133
REFERÊNCIAS	136
ANEXO A	139
ANEXO B	140
ANEXO C	141

MOTIVAÇÃO

Assim como muitos estudantes, enfrentei diversos desafios na disciplina de Química Orgânica. Considero relevante destacar que o motivo pelo qual quis ingressar no curso de Licenciatura em Química foi esta disciplina, e que o motivo pelo qual quis desistir também. Como poderia apresentar dificuldades na disciplina que me motivou a querer ser Química? Como querer e fazer iniciação científica nesta área? Na época achei contraditório, mas apesar de dizer que não gostava da disciplina (uma grande mentira!), nunca me dissociar dela.

Quando comecei a frequentar as disciplinas pedagógicas me encontrei. Quando tive essas disciplinas com professores com formação em Química o entusiasmo voltou. A força da mensagem, a construção conjunta do entendimento, a vontade de entender como ensinar melhor Química me instigaram; principalmente a busca dos “porquês” das minhas dificuldades, me fizeram seguir adiante.

Ao concluir a graduação, já não sabia se queria ser professora ou se gostava mesmo de Química. Na tentativa de descobrir se deveria me dedicar a outra profissão, me matriculei em um curso técnico de Design, porém algo diferente aconteceu: me vi fascinada pelas aulas de desenho técnico e sempre que tinha oportunidade desenhava o quê? Moléculas!

Lembro-me que em um dos primeiros exercícios propostos, desenhar uma cadeira, a minha era baseada em uma molécula de metano. O professor me perguntou se a cadeira teria estabilidade e eu perguntei: Química? E ele argumentou: ergonômica! Me foi sugerido nomeá-la de “cadeira Química”, e eu não aceitei contra-argumentando que já havia uma conformação denominada cadeira em Química Orgânica!

Comecei a entender um pouco das minhas dificuldades com representações e considerei fascinante o fato de as aulas de desenho técnico estarem me reconciliando com a Química Orgânica. Até então eu não havia percebido a similaridade ou integração entre os desenhos e a disciplina, o que pode parecer contraditório porque a Química Orgânica tem como um de seus princípios o uso de representações, mais que isso, elas compõem a sua linguagem.

Decidi que deveria procurar a Química novamente. Quando ingressei no mestrado e conversei com o meu orientador, ele dividiu suas impressões sobre o ensino de Química Orgânica, dentre as quais a constatação de que os estudantes que cursam esta disciplina apresentam altos índices de reprovação e média inferior à de outras disciplinas, apesar da alta frequência nas aulas.

Recordo-me que fiquei feliz, empolgada e preocupada com a oportunidade, mas me senti capaz de desenvolver o que ele propôs. A proposta então seria a de investigar

quantitativamente a ocorrência desta dificuldade que caracteriza a disciplina como desafiadora e que como consequência tem levado aos baixos rendimentos estudantis.

Além dos objetivos formais descritos adiante no texto, eu, que sai em busca de respostas a partir de outras perspectivas, mas que inconscientemente nunca renunciei meus “óculos de Química”, como pesquisadora, objetivo que essa e outras pesquisas auxiliem outros estudantes a limparem suas “lentes” e se reconciliarem com a Química Orgânica.

1 INTRODUÇÃO

A Química é a ciência cujo objetivo é analisar, interpretar e indicar soluções a problemas da sociedade através da investigação da matéria, suas propriedades e transformações; conduzidas por meio do estudo experimental aliado a estrutura racional, (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005; INSTITUTO DE QUÍMICA DE SÃO CARLOS, 2021; RUSSELL J. B., 1994; UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, 2005). Esta ciência é desenvolvida através de três níveis de conhecimento, ou como melhor exemplificam Atkins e Jones (2012, p. F2), “o Químico pensa em nível microscópico, conduz experimentos em nível macroscópico e representa as duas coisas por meio de símbolos”. Assim, o modo pelo qual a Química é desenvolvida pode ser utilizado para exemplificar o porquê de o seu ensino e aprendizagem apresentarem tantas adversidades. O necessário desenvolvimento através dos níveis citados acima, apesar de se constituir uma interpretação química elegante da realidade, não é trivial, e requer dos aprendizes alto grau de abstração (POZO; CRESPO, 2009).

Tais dificuldades na disciplina estão presentes tanto no nível pré-universitário quanto universitário, e os resultados malsucedidos da disciplina em exames de ingresso para as Instituições de Ensino Superior - (IES) como o Exame Nacional do Ensino Médio, bem como sua avaliação através do Exame Nacional de Desempenho do Estudante - ENADE, constituem-se uma forma pela qual elas podem ser elucidadas. É fato que, os exames vestibulares não se constituem o único fator a determinar os conteúdos ministrados no ensino médio, mas eles interferem de maneira substancial nessa decisão, (PORTO, 2018) constituindo-se desta forma um indicativo de (não) aprendizagem ocorrida nesta etapa. É oportuno destacar que apesar de determinarem o ingresso estudantil às IES através do nível de conhecimento dos estudantes, a concepção de que exames vestibulares também objetivam “uniformizar” o nível de conhecimento dos ingressantes é um equívoco. Segundo Hay et al. (2008, p. 300) “não basta argumentar que a seleção para o ingresso garante padrões comuns de conhecimento e compreensão”. O mesmo autor argumenta, reforçando o que foi dito anteriormente, que muitos professores universitários mencionam que seus alunos ainda apresentam dúvidas em assuntos, que, em suas perspectivas, já deveriam estar bem estabelecidos.

Diferentes referenciais teóricos construtivistas, tais como, a Teoria Piagetiana, a Teoria dos Constructos pessoais de George Kelly, Teoria de Aprendizagem de Vygotsky e a Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird, tratam das dificuldades enfrentadas pelos estudantes, mas se tratando de pesquisar como se estabelece a construção do significado, considerou-se que o referencial teórico proposto por David Ausubel se constitui uma rica ferramenta de

investigação e compreensão das dificuldades retratadas nesta pesquisa. Além disso, a Teoria da Aprendizagem Significativa, proposta por Ausubel, de acordo Moreira (2011) é uma teoria que subjaz as demais teorias de aprendizagem, apesar da compreensão da relevância das demais Teorias de Aprendizagem, esta perspectiva, trazida por Moreira, é a que seguiremos neste trabalho. A teoria adotada será retratada com maior profundidade na seção 3- Referencial Teórico.

Dentro do já problemático ensino de Química, o ensino e aprendizagem de Química Orgânica merecem particular destaque, portanto a estruturação do conhecimento nesta disciplina foi o enfoque deste trabalho. A Química Orgânica se faz presente, seja direta ou indiretamente, em todos os aspectos de nossas vidas (SOLOMONS; FRYHLE, 2012, p. 1), tecidos de plantas, armazenamento de informações genéticas, proteínas, enzimas, vitaminas, lipídeos, carboidratos e ácidos nucleicos, alimentos, tecidos, polímeros, medicamentos, fontes de energia, como o gás natural ou petróleo, plásticos, borrachas são só alguns dos exemplos de onde os compostos de carbono podem ser encontrados.

Formalmente, a Química Orgânica é definida como “a Química dos compostos que contêm o elemento carbono”(SOLOMONS; FRYHLE; SNYDER, 2018, p. 1). Este elemento não é o cerne desta ciência ao acaso, todas as suas características se baseiam em sua distribuição eletrônica que é o fundamento de uma série de consequências. O carbono possui número atômico baixo, o que lhe confere abundância. Está situado no centro do segundo período da tabela periódica, portanto, é tetravalente. Apresenta valor de eletronegatividade situado no meio da escala, o que lhe confere a capacidade de compartilhar elétrons, estabelecendo ligações fortes com outros átomos de carbono e elementos; principalmente hidrogênio, nitrogênio, oxigênio e enxofre. Também, as ligações carbono-hidrogênio por possuírem valores de eletronegatividade similares, são pouco polarizadas e possuem estabilidade, o que lhes garante permanência.

O conjunto de atributos descritos anteriormente possibilita a existência de milhões de compostos orgânicos, e nos ajuda a compreender por que a um único elemento é atribuído um ramo inteiro da Química. Dada a enorme gama de compostos e a versatilidade de suas aplicações, esta ciência está presente em variadas áreas, não ficando restrita desta forma somente a cursos de Química. A disciplina de Química Orgânica faz parte, por exemplo, do componente curricular de vários outros cursos de ensino superior tais como: Biotecnologia, Engenharia de Alimentos, Engenharia Agrônômica, Engenharia de Materiais, e Florestal; e em cursos da área da saúde como, por exemplo, Farmácia-Bioquímica.

De fato, segundo consulta realizada no sistema Júpiter, (sistema responsável pelo gerenciamento da graduação da USP)¹, existem atualmente 66 disciplinas, de natureza teórica ou prática, que contêm o termo “Química Orgânica” em seu título. Deste modo, pode-se considerar que esses cursos, que a incorporam como parte integrante de seu componente curricular, a reconheçam como imprescindível para a formação de seus estudantes em futuros profissionais qualificados.

Apesar de a Química Orgânica ser uma ciência rica e vibrante, o que se tem observado nos cursos universitários são suas altas taxas de reprovação. (GROVE; BRETZ, 2012). E esta não é uma questão preocupante somente nas universidades brasileiras, mas também nas universidades de outros países como Estados Unidos, onde a disciplina tem papel determinante para aqueles que desejam seguir carreiras médicas e de saúde. (LYNCH; TRUJILLO, 2011). Além de cursos tais como Química e Bioquímica, cursos como Pré-Farmácia, Pré-Medicina, Pré-Odontologia, Biologia, Neurociência, Engenharia Biomédica possuem a Química Orgânica como pré-requisito à sua admissão, trazendo como consequência a sua caracterização como uma disciplina geradora de ansiedade e de extremo impacto na tomada de decisão de carreira, já que muitos estudantes optam por abandoná-la. (HOROWITZ; RABIN; BRODALE, 2013; MICARI; PAZOS, 2012). Mediante este cenário, vários artigos discutem as razões das dificuldades nesta disciplina, e algumas delas serão pontuadas a seguir.

A Química Orgânica é uma disciplina com enorme corpo de informações, vistas em curto espaço de tempo devido à abundância de tópicos abordados em um único semestre e que principalmente não podem ser estritamente divididos. (CORMIER; VOISARD, 2018; PHILLIPS; GROSE-FIFER, 2011). A organização do aprendizado em grupos funcionais e mecanismos, por exemplo, é uma tentativa de sistematizar a complexidade dos compostos orgânicos, mas eles assim como a própria natureza (a qual buscam investigar, interpretar e representar) abrangem conceitos que atuam de forma interativa e não fragmentada.

Na disciplina de Química Orgânica os conceitos a serem trabalhados são hierárquicos, ou seja, seus tópicos são sequencialmente dependentes, requerendo do estudante pensamento crítico, em detrimento do uso somente da memorização (DIEGELMAN-PARENTE, 2011; LYNCH; TRUJILLO, 2011). Deste modo, a falta de compreensão dos conceitos e princípios basilares influencia diretamente o desempenho acadêmico posterior, tornando a disciplina caracteristicamente acumulativa (LYNCH; TRUJILLO, 2011; PHILLIPS; GROSE-FIFER, 2011; VILLAFANE; XU; RAKER, 2016).

¹ Disponível em: <https://uspdigital.usp.br/jupiterweb/obterDisciplina?nomdis=quimica%20organica&sgldis=>

Ainda, além do extenso conteúdo e suas interrelações, há muitas tarefas novas e não familiares que os estudantes devem executar, como, por exemplo, aprender a reconhecer padrões, grupos funcionais e suas reatividades, acidez e basicidade, eletrofilicidade e nucleofilicidade, etc. e construir e visualizar espacialmente diversas estruturas, o que exige pensar de forma tanto abstrata quanto analítica. (CORMIER; VOISARD, 2018; LYNCH; TRUJILLO, 2011; PHILLIPS; GROSE-FIFER, 2011).

Além disso, a Química Orgânica concentra-se principalmente na relação entre estrutura e reatividade, apresentando em comparação as demais disciplinas Químicas, reduzido uso de conceitos matemáticos (CORMIER; VOISARD, 2018; LYNCH; TRUJILLO, 2011). Assim, habilidades consideradas importantes para as disciplinas introdutórias, como, por exemplo, Laboratório de Química Geral, Introdução a Química Analítica Qualitativa, Laboratório de Química Analítica Qualitativa e Fundamentos de Estrutura Atômica e Molecular (disciplinas oferecidas no primeiro ano de curso regular de Bacharelado em Química do IQSC-USP), diferem significativamente das necessárias para o aprendizado de Química Orgânica e contribuem, porém, insuficientemente, para a construção conceitual dos estudantes nesta área da Química. (CORMIER; VOISARD, 2018; LYNCH; TRUJILLO, 2011).

Ainda, as disciplinas Químicas introdutórias, são mais familiares aos estudantes, devido em parte a estrutura do componente curricular tanto do ensino pré-universitário quanto universitário. Nas escolas públicas brasileiras do estado de São Paulo, por exemplo, tópicos contendo Química Orgânica são abordados somente no terceiro bimestre do terceiro ano do ensino médio. Além disso, os estudantes que optam por frequentar cursos de Química no país, em geral, só entrarão em contato novamente com a disciplina no primeiro semestre do segundo ano regular. Desta forma, pode ser compreensível, portanto, que exista maior familiaridade com conceitos que já tenham sido trabalhados anteriormente, pois à medida que eles são construídos em diversos espaços de aprendizagens anteriores há maior oportunidade para que eles se tornarem mais elaborados e estáveis. (MOREIRA, 2012).

Embora possua aspectos que a diferenciam de outras disciplinas Químicas, Solomons e Fryle (2012, p. XVII) argumentam haver um conjunto de conceitos que fundamentam a Química Orgânica, dizendo que:

Grande parte da Química Orgânica é intuitiva e pode ser generalizada se os estudantes dominam e aplicam alguns conceitos fundamentais. O mais importante para eles é ter um sólido entendimento de estrutura - de hibridização e geometria, impedimento estérico, eletronegatividade, polaridade, cargas formais e ressonância, de modo que possam desenvolver o sentido intuitivo dos mecanismos.

Assim, o contraste entre a relevância e os desafios observados na disciplina, fizeram com que nos concentrássemos em uma questão fundamental: como está ocorrendo a formação dos profissionais que poderão atuar futuramente essa área de conhecimento da Química? Fato é que, entre o entendimento do porquê uma área inteira se dedica a compostos de carbono e os profissionais que podem vir a representá-la, existe um caminho longo de construção conceitual a ser trilhado na universidade, e é neste caminho que residiu nosso foco de pesquisa.

2 OBJETIVO

O presente trabalho objetivou a partir de um estudo de caso com embasamento teórico na teoria da Aprendizagem Significativa realizar um mapeamento curricular conceitual da disciplina de Química Orgânica I do curso de Bacharelado em Química do IQSC-USP, com o intuito de embasar o desenvolvimento de uma ferramenta diagnóstica conceitual capaz de investigar tanto os tópicos conceituais nos quais os estudantes apresentaram dificuldades, como os impactos destas dificuldades na aprendizagem da disciplina.

2.1 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo desta pesquisa foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Investigar a taxa de aproveitamento das questões avaliativas,
- Realizar a classificação conceitual de tais questões,
- Promover a associação entre a taxa de aproveitamento e a classificação conceitual realizada,
- Mapear os conceitos trabalhados na disciplina através da elaboração de um Mapa Conceitual,
- Elaborar, com base no Mapa Conceitual, um Grafo da disciplina,
- Propor um cálculo para a utilização de uma ferramenta de análise e
- Investigar os dados obtidos através da ferramenta de análise conceitual proposta.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção destina-se a desenvolver com maior profundidade os tópicos: aprendizagem, Teoria de Aprendizagem, Aprendizagem Significativa, Método de Mapeamento de Conceitos e Grafos.

3.1 Aprendizagem e Teoria da Aprendizagem

Segundo David Ausubel (1980, p. 8), que foi um psicólogo educacional, “a educação [...] refere-se a aprendizagem dirigida ou manipulada para fins práticos específicos”. Desta forma, segundo o mesmo autor, ensinar requer orientação através da utilização de uma teoria relevante de aprendizagem e visa a facilitação da aquisição do conhecimento. A psicologia educacional é a área responsável pelo desenvolvimento dos princípios gerais para esta facilitação, como, por exemplo, condições, avaliação da aprendizagem, natureza da aprendizagem, aprendizagem em sala de aula e de disciplinas acadêmicas, etc.

De acordo com Ausubel (1980), como para a psicologia educacional a aprendizagem não ocorre ao acaso, e sim é dirigida, seus princípios se baseiam no fato de que por fundamentação é possível identificar o aprendido bem como os fatores que o influenciam, e mais, que professores em formação devem e conseguem assimilar essa informação. Tais premissas constituem-se extremamente relevantes, pois se contrapõem as concepções de que para ensinar é necessário somente dominar o assunto, ou de que ensinar é uma capacidade inata, já que se faz necessário aprender princípios sobre os quais se estabelece a aprendizagem, ou seja, aprender a ensinar. A reflexão é a de que grande parte da finalidade e existência dos cursos de Licenciatura não se justificaria se essas concepções equivocadas fossem de fato verdadeiras.

Ausubel pontua que as teorias de Aprendizagem possuem princípios que são flexíveis, e podem, portanto, ser aplicados a diversas situações de ensino e indivíduos ou como descrito abaixo (1980, p. 13):

Em geral, a partir de uma Teoria da aprendizagem é que podemos desenvolver noções defensáveis de como fatores decisivos na situação aprendizagem - ensino podem ser manipulados com maior eficácia.

3.2 A Teoria da Aprendizagem Significativa

A teoria de aprendizagem idealizada por Ausubel, é denominada de Teoria da Aprendizagem Significativa e sua contribuição através desta teoria foi a nomeação e distinção

entre dois tipos principais de aprendizagem: a Aprendizagem Significativa e a Aprendizagem Automática (ou Mecânica). De acordo com David Ausubel (1980, p. 23):

[...] a aprendizagem Significativa ocorre quando a tarefa de aprendizagem implica relacionar, de forma não arbitrária e substantiva (não literal), uma nova informação a outras com as quais o aluno já esteja familiarizado, e quando o aluno adota uma estratégia correspondente para assim proceder. Aprendizagem automática, por sua vez, ocorre se a tarefa consistir de associações puramente arbitrárias [...] e quando falta ao aluno o conhecimento prévio relevante necessário para tornar a tarefa potencialmente significativa, e também (independentemente do potencial significativo contido na tarefa) se o aluno adota uma estratégia apenas para internalizá-la de uma forma arbitrária [...].

Desta forma é importante entender com maior profundidade as condições para que a Aprendizagem Significativa ocorra. Em primeiro lugar, uma relação não arbitrária e substantiva (não literal), significa que não é a qualquer tipo de conhecimento que a nova tarefa de aprendizagem poderá ser relacionável, somente a conhecimentos prévios que sejam relevantes, ou seja, que possam ser relacionáveis a nova tarefa de aprendizagem. Pode-se, por exemplo, de modo hipotético, querer ministrar aulas de Química Orgânica para estudantes de Artes, Biologia e Bacharelado em Química. A nova tarefa de aprendizagem, aprender conceitos de Química Orgânica, deverá ser relacionável a conhecimentos prévios relativos a este novo conhecimento, como, por exemplo, conhecimentos prévios em Química. Será a partir desses aspectos que a nova aprendizagem ocorrerá.

Em segundo lugar, “adotar uma estratégia não arbitrária e substantiva em relação a sua aprendizagem” significa que o estudante deve estar disposto a fazer a associação entre as suas ideias relevantes e o novo material de aprendizagem, ou seja, é preciso que haja pré-disposição a aprender. Mais uma vez, é possível que se ensine Química Orgânica para estudantes de Artes, Biologia ou Bacharelado em Química, porém mesmo que um estudante apresente maior disponibilidade de conhecimentos prévios relevantes para a aprendizagem (um estudante do curso de Bacharelado em Química, por exemplo), o fato de não querer associá-los aos novos conhecimentos não o levará a aprender significativamente.

Em terceiro lugar, é necessário que o material de aprendido seja potencialmente significativo, ou seja, que possa ser relacionável ao conhecimento já existente na estrutura de conhecimentos do estudante e que, portanto, seja não arbitrário e substantivo. Retornando ao exemplo hipotético dos parágrafos anteriores, temos que o modo de apresentação das tarefas de aprendizagem que objetivam a aprendizagem de Química Orgânica de estudantes de Artes, Biologia e Bacharelado em Química diferem, pois são dependentes dos conhecimentos prévios de que os estudantes de cada curso possuem. Desta forma, não importa se o estudante tenha

disposição a aprender, se o material for arbitrário e não substantivo, não considerando seus conhecimentos prévios, a Aprendizagem Significativa não ocorrerá.

As três condições descritas acima possuem um fator em comum, todas as condições para a Aprendizagem Significativa descritas por Ausubel envolvem interação entre o conhecimento prévio do estudante e a nova tarefa de aprendizagem, desta forma a estrutura cognitiva é sem dúvidas o fator principal a afetar a aprendizagem. Segundo Ausubel (1980, p. 37):

Se tivéssemos que reduzir toda a psicologia educacional a um único princípio, diríamos: o fator singular mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra isto e ensine-o de acordo.

A estrutura cognitiva é a estrutura psicológica de conhecimentos do estudante, o substrato para a aquisição dos novos conhecimentos. Como a estrutura cognitiva é ampla para deixar claro que se está falando de um conhecimento especificamente relevante para a aprendizagem de determinado conteúdo, Ausubel atribuiu a tal conhecimento prévio a denominação de *esteio*, *subsunçor* ou *ideia âncora*. Segundo Moreira (2012, p. 14,28), o subsunçor é um “conhecimento prévio especificamente relevante, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto”.

O conhecimento de que falamos até então, pode ser adquirido através de três tipos de Aprendizagem Significativa: Aprendizagem Representacional, Aprendizagem de Conceitos e Aprendizagem Proposicional. A primeira delas, a Aprendizagem Representacional, é o tipo mais básico e o que condiciona a aquisição dos outros tipos de conhecimento. “Ela é o aprendizado do significado de símbolos particulares, ou o aprendizado do que estes símbolos representam (geralmente designados por palavras)”. Por exemplo, aprender que “C”, é o símbolo químico que representa o elemento carbono é um tipo de aprendizagem representacional. Esse tipo de aprendizagem inclui o entendimento de que diferentes padrões de estimulação, como uma palavra e sua representação, (por exemplo, a palavra metano e a representação estrutural do metano), são iguais.

De acordo com Ausubel (1980, p. 40) a aprendizagem de conceitos se refere à quando “os *atributos essenciais* do novo conceito são incorporados pela estrutura cognitiva, resultando num novo significado genérico, porém *unitário*”. Ele descreve conceitos como “objetos, eventos, situações ou propriedades que *possuam atributos essenciais* comuns designados por algum signo ou símbolo”. (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 47,74). A proposição “O carbono é tetravalente” só pode ser aprendida significativamente depois do aprendizado dos conceitos das partes componentes da proposição.

A incorporação a estrutura cognitiva de sentenças ou proposições significativas formando outra(s), estrutura(s) significativa(s) é denominada de *Aprendizagem Proposicional*. Assim, afirmar que “o carbono é tetravalente” é um tipo de aprendizagem proposicional que só faz sentido significativo se o aprendiz souber o significado de cada conceito pertencente a proposição. Segundo Ausubel (1980, p. 75) “[...] o agrupamento de conceitos em combinações potencialmente significativas é responsável pela formação e compreensão de proposições”.

A aprendizagem proposicional pode ser *Subordinada*, *Superordenada* ou *Combinatória*. Pode-se considerar, por exemplo, que se determinado estudante que já conhece o conceito de carbono e suas características iniciais (símbolo, número atômico, distribuição eletrônica, eletronegatividade, abundância, etc.), poderá utilizá-lo como subsunçor para a aprendizagem de novos conceitos, como, por exemplo, para estudar os compostos de carbono. Com a apresentação/introdução do novo conhecimento ele usará o conhecimento prévio com o significado menos amplo, para através da interação com o novo aprendizado torná-lo mais elaborado. Esse tipo de aprendizagem é a *Aprendizagem Significativa Subordinada*. Ela pode ser derivativa, se a nova aprendizagem “reforça uma ideia já existente na estrutura cognitiva” ou correlativa “se for uma extensão, elaboração, modificação, ou qualificação de proposições anteriormente adquiridas”. (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 33).

Também, durante a Aprendizagem Significativa, ideias já existentes podem ser subordinadas a um novo subsunçor. Usando como base o exemplo dado anteriormente, podemos dizer que quando o estudante iniciar o estudo da disciplina de Química Orgânica poderá subordinar os conhecimentos adquiridos anteriormente (carbono e compostos de carbono) ao subsunçor “Química Orgânica”; mais geral. A essa subordinação dá-se o nome de *Aprendizagem Significativa Superordenada*. A *Aprendizagem Significativa Superordenada*, ocorre quando “uma nova proposição pode ser relacionada a determinadas ideias subordinadas na estrutura cognitiva existente; mas é relacionável a um conjunto amplo de ideias relevantes a ela”.(AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 33). E por fim, a aprendizagem combinatória ocorre quando a proposição potencialmente significativa é relacionável a conteúdos na estrutura cognitiva, mas não de maneira subordinada ou superordenada.

Além disso, na estruturação de conhecimento há a ocorrência de dois processos principais: A *diferenciação progressiva* e a *reconciliação integradora*. Segundo Moreira (2011, p. 42,43).

[...] a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora são dois processos simultâneos, da dinâmica da estrutura cognitiva. Através desses processos, o aprendiz vai organizando, hierarquicamente, a sua estrutura cognitiva em determinado campo de conhecimentos. Hierarquicamente significa que alguns subsunçores são mais gerais, mais inclusivos do que outros, mas essa hierarquia não é permanente; à medida

que ocorrem os processos de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, a estrutura cognitiva vai mudando.

Segundo a *diferenciação progressiva*, os assuntos mais inclusivos são apresentados primeiramente e então são progressivamente diferenciados. Na *reconciliação integrativa* “são exploradas relações entre ideias, demonstrando suas semelhanças e diferenças significativas e reconciliando inconsistências reais ou aparentes”. (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 161) . Esta, segundo Ausubel, pode não ser a ordem lógica com o qual estamos acostumados a ver em livros didáticos, mas é a ordem psicológica de aprendizagem.

Dito isso, há alguns aspectos importantes desta teoria que necessitam ser destacados para que equívocos futuros sejam evitados. Primeiramente, aprender significativamente não significa necessariamente aprender corretamente, mas sim que há um esforço em integrar conhecimentos e atribuir a eles novos significados. Segundo Moreira (2012, p. 24)

Quando o sujeito atribui significados a um dado conhecimento, ancorando-o interativamente em conhecimentos prévios, a aprendizagem é significativa, independente de se estes são aceitos no contexto de alguma matéria de ensino, i.e., de se os significados atribuídos são também contextualmente aceitos, além de serem pessoalmente aceitos.

Em segundo lugar, a Aprendizagem Significativa não é aquela que nunca se esquece. Um subsunçor estável, elaborado e rico, quando não utilizado, pode passar por um processo denominado de *assimilação obliteradora*. Partindo do princípio de que a aprendizagem tenha sido significativa, ou seja, que o “esquecimento” não foi total, como se o aluno não houvesse aprendido, esse processo pode ser facilmente revertido, isso porque o que ocorre é uma perda na capacidade de discriminação de significados, não uma perda de significados em si. (MOREIRA, 2012).

Em terceiro lugar, o conhecimento prévio é considerado o fator mais importante a afetar a aprendizagem, o que implica que ele pode ser tanto um facilitador, quanto um bloqueador da aprendizagem. Uma concepção (significado construído) pode ser equivocada (falha ou limitada) e impedir que a interação adequada com novos conhecimentos ocorra. (HAY; KINCHIN; LYGO-BAKER, 2008; NOVAK, 2002) . Um estudante, por exemplo, que tem o conceito de “orgânico”, restrito a somente “àquele que é natural”, pode ter dificuldades em compreender a existência de compostos orgânicos sintéticos.

Por fim, ao contrário da Aprendizagem Significativa, a “Aprendizagem Mecânica envolve mudanças superficiais em conhecimento sem integração.” (HAY; KINCHIN; LYGO-BAKER, 2008). Ela é aquela que faz uso intenso da memorização, para um momento específico, como a avaliação, logo é esquecida, e depois se torna irrecuperável, ou seja, o que

foi aprendido desta forma não pode ser utilizado em outros contextos, e assim, sua utilização fica restrita apenas a situações conhecidas ou rotineiras e se diz que a aprendizagem é uma “aprendizagem situada”. (MOREIRA, 2012; NOVAK, 2002).

3.3 O Método de Mapeamento de Conceitos

De acordo com a Teoria da Aprendizagem Significativa, “[...]a aprendizagem envolve uma mudança na capacidade que pode ser inferida a partir de uma comparação do desempenho anterior e posterior à aprendizagem”. (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 19). A partir desse e dos demais pressupostos contidos na Teoria da Aprendizagem Significativa, Novak propôs, no início dos anos 1970, um método que é uma ferramenta prática através do qual a aprendizagem pode ser visualizada; o Método de Mapeamento de Conceitos (HAY; KINCHIN; LYGO-BAKER, 2008). Enquanto a teoria de aprendizagem descreve os processos pelos quais ocorre a Aprendizagem Significativa, o método de ensino materializa tal processo através da representação das estruturas de conhecimento, portanto, a teoria da Aprendizagem Significativa é a base sobre a qual se desenvolveu o Método de Mapeamento de Conceitos.

O Mapeamento de Conceitos é, portanto, um método didático utilizado como facilitador da Aprendizagem Significativa. (MOREIRA, 2012). Em outras palavras, “ele pode ser usado para transformar o conhecimento abstrato e a compreensão em representações visuais concretas que são receptíveis para comparação e medição”. (HAY; KINCHIN; LYGO-BAKER, 2008, p. 295), podendo ser utilizado no levantamento de conhecimentos prévios e rastreamento de mudanças durante o aprendizado, uma vez, por exemplo, que o aluno construa um Mapa Conceitual antes e outro depois do(s) episódio(s) de aprendizagem e os mapas podem então desta maneira serem comparados.

O que torna este método interessante é a sua diversidade de aplicações. Além da importante aplicação descrita anteriormente, o Método de Mapeamento de Conceitos pode ser utilizado na organização do conhecimento, estudo, revisões, avaliação, atividades colaborativas, identificação de equívocos, planejamento de aulas, para mostrar tipologias cognitivas e diferenças entre especialistas e iniciantes, partilhar conhecimento e compreensão, aprender a aprender, mapear disciplinas, etc. (CORREIA *et al.*, 2016; HAY, 2007). É esta última aplicação mencionada, “mapear disciplinas”, um dos focos deste trabalho. Sobre isso, Moreira (2012, p. 43) declara que “[...] o conteúdo curricular deveria inicialmente ser mapeado de maneira conceitual, de modo a identificar ideias mais gerais, mais inclusivas, os conceitos estruturantes, as proposições-chave do que vai ser ensinado.”

Ainda, segundo Hay (2008, p. 308):

[...] o ensino superior ainda carece de dados empíricos que mostram onde, quando e como novos conhecimentos e entendimentos são adquiridos. É provável que as trajetórias de aprendizagem de todos os alunos sejam diferentes como consequência de seus diferentes conhecimentos e experiências anteriores. Mas compreender as maneiras pelas quais as pessoas realizam a construção do significado também pode permitir a extração de princípios gerais para a melhoria do ensino e da aprendizagem.

De acordo com Novak (2002, p. 555):

O desafio é como ajudar os professores, direta ou indiretamente, a ajudar os alunos a construir e reconstruir seus quadros conceituais individuais e suas atitudes em relação às ciências [...] de maneiras que levem ao aumento da competência cognitiva.

Deste modo o Método de Mapeamento de Conceitos é relevante para o desenvolvimento dessa pesquisa em primeiro lugar porque é baseado na teoria de aprendizagem adotada como referencial teórico, e em segundo lugar porque é a ferramenta pela qual se entende que seja possível averiguar sistematicamente os conceitos relevantes da disciplina investigada. (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 148).

3.3.1 Critérios para a Construção de Mapas Conceituais

O Método de Mapeamento de Conceitos rege a construção de mapas conceituais. Um Mapa Conceitual é uma ferramenta de organização gráfica, ou seja, utiliza símbolos gráficos para representar conhecimento e informação (AGUIAR; CORREIA, 2013; CORREIA *et al.*, 2016). Neste método a representação é construída por conceitos e suas relações. Segundo Novak (2002, p. 550):

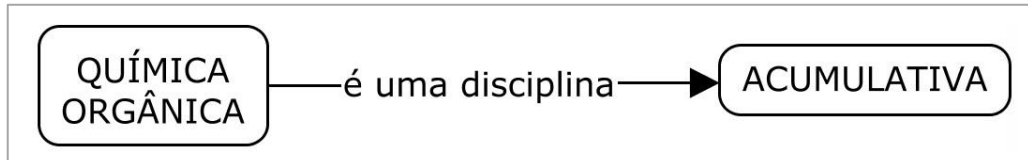
Todos os conceitos são uma abstração, uma representação da realidade em nossas mentes, não a própria realidade. Definimos conceitos como *regularidades percebidas em eventos ou objetos, ou registros de eventos ou objetos designados por um rótulo* (geralmente uma palavra).

No Mapa Conceitual, o entendimento, ideia ou concepção deve ser demonstrado por meio de conceitos escritos em letras maiúsculas inseridos em formas geométricas como retângulos ou círculos. A ligação entre conceitos é realizada através de uma seta, que parte do conceito inicial para o conceito final. Por fim, a atribuição da relação entre os conceitos, denominada de termo de ligação (TL) deve ser expressa sobre a seta. (MOREIRA, 2012).

Os termos de ligação são unidades semânticas compostas por um pequeno conjunto de palavras (das quais uma, deve ser um verbo), que explica de maneira clara e precisa qual é a relação entre o conceito inicial e final, além de permitir que essa relação seja compreendida

quando lida por qualquer pessoa, ou seja, ele deve permitir a identificação de proposições conceitualmente corretas e incorretas. A figura 1 abaixo, exemplifica uma proposição.

Figura 1 - Exemplo de uma proposição.



Fonte: Autoria própria.

O exemplo acima, que demonstra um par de conceitos e sua relação, exemplifica uma declaração ou proposição, a menor unidade componente de um Mapa Conceitual (NOVAK, 2002). É oportuno ressaltar que os Mapas Conceituais se constituem em expressões do entendimento pessoal sobre qualquer ideia ou fenômeno (HAY; KINCHIN; LYGO-BAKER, 2008). O que significa serem construídos a partir do entendimento que o mapeador (indivíduo que está construindo o mapa) tem sobre o assunto abordado. Desta perspectiva, considerando que o mapa reflete a estrutura de pensamento do estudante que o construiu, não há mapas incorretos, contudo, é importante destacar que o Método de Mapeamento de Conceitos apresenta critérios que o caracterizam e que devem ser seguidos, além disso, “cada proposição é uma declaração de compreensão, e a validade de cada afirmação está aberta ao escrutínio”. (HAY; KINCHIN; LYGO-BAKER, 2008, p. 32).

Desta forma, as proposições em um Mapa Conceitual podem ser analisadas com o auxílio de uma tabela denominada de Tabela de Clareza Proposicional (TCP). (AGUIAR; CORREIA, 2013). Na Tabela de Clareza Proposicional a proposição é avaliada quanto a dois critérios: a clareza semântica e a correção conceitual. Nela cada conceito pertencente ao Mapa Conceitual e seu termo de ligação são expressos linearmente, a proposição deve ser lida como uma frase e então duas perguntas (em relação à proposição analisada) devem ser respondidas. Como ilustrado no quadro 1.

A primeira pergunta tem a função de avaliar se o termo de ligação tem **clareza semântica**. Para isso, ele deve conter um verbo flexionado que auxilie a proposição na abordagem clara e precisa das relações existentes entre os conceitos. A segunda pergunta tem a intenção de avaliar a **correção conceitual**, e só pode ser respondida se a proposição apresentar clareza semântica. Também é necessário avaliar se o tempo verbal contido no termo de ligação está correto. (CORREIA *et al.*, 2016). No exemplo do quadro 1 acima, as três primeiras proposições apresentam clareza semântica, porém a segunda e a terceira utilizam tempos

verbais incorretos, pois a Química Orgânica “estuda” (presente) os compostos de carbono, não “estudou” (passado) ou “estudará” (futuro). A quarta proposição é clara, porém o uso da palavra “não” a torna incorreta. A última proposição do exemplo, “Química Orgânica e Compostos de carbono” não apresenta um verbo flexionado, portanto, além de também estar incorreta, não tem clareza semântica. Segundo Correia (2016), desta forma não é possível analisar se há correção conceitual, assim sendo se expressa essa impossibilidade através da frase “não sei”. Portanto, a Tabela de Clareza Proposicional é uma ferramenta de revisão e avaliação da rede proposicional.

Quadro 1 - Exemplo de análise de conteúdo semântico de várias proposições contendo o conceito Química Orgânica (inicial) e Compostos de Carbono(final), através de uma tabela de clareza proposicional.

CONCEITO INICIAL	TERMO DE LIGAÇÃO	CONCEITO FINAL	ESTÁ CLARA?	ESTÁ CORRETA?
QUÍMICA ORGÂNICA	estuda os	COMPOSTOS DE CARBONO	Sim	Sim
QUÍMICA ORGÂNICA	estudou os	COMPOSTOS DE CARBONO	Sim	Não
QUÍMICA ORGÂNICA	estudará os	COMPOSTOS DE CARBONO	Sim	Não
QUÍMICA ORGÂNICA	não estuda os	COMPOSTOS DE CARBONO	Sim	Não
QUÍMICA ORGÂNICA	e	COMPOSTOS DE CARBONO	Não	Não sei

Fonte: Adaptado de (CORREIA *et al.*, 2016).

Além da Tabela de Clareza Proposicional pode-se avaliar a qualidade do mapa através de sua pergunta focal e estrutura. A pergunta focal antecipa para o leitor do mapa o conteúdo apresentado e delimita seu escopo, ajudando o mapeador na escolha dos conceitos e ao avaliador identificar a fuga do tema, já as estruturas do mapa podem ser classificadas em linear, radial e em rede e refletem o entendimento do mapeador. A estrutura radial indica que o mapeador apresenta pouco domínio sobre o tema, pois não há muitas relações conceituais, por sua vez, a estrutura linear, o encadeamento sequencial de conceitos, revela que o mapeador consegue fazer relações conceituais e por fim, a estrutura em rede se caracteriza pela existência

de múltiplas relações entre conceitos e é geralmente é atribuída ao conhecimento de especialistas. (CORREIA *et al.*, 2016).

Utilizando esses critérios, os Mapas Conceituais podem ser construídos de várias formas, como, por exemplo, a mão, com auxílio de cartolina ou *post its*, porém há um software computacional gratuito que facilita essa tarefa, o Cmaptools (NOVAK, 2002). Com ele, dentre outras possibilidades, é possível construir, compartilhar, exportar mapas como figuras, inserir hiperlinks em conceitos (arquivos de texto, vídeos, páginas da web, áudios, imagens, mapas conceituais, etc.) e exportar proposições como texto, facilitando a construção, leitura e análise da Tabela de Clareza Proposicional. (CORREIA *et al.*, 2016).

Dito isso, é preciso deixar claro que o Mapa Conceitual não é a única ferramenta de organização gráfica existente, há diversas outras, como, os organogramas, diagramas de fluxo, mapas mentais e o grafo, entretanto os Mapas Conceituais apresentam uma série de singularidades descritas anteriormente que o diferenciam, principalmente a obrigatoriedade do uso dos Termos de Ligação, determinantes na representação de significados. (HAY; KINCHIN; LYGO-BAKER, 2008; NOVAK, 2002).

3.4 Teoria dos Grafos e Mapas Conceituais

A partir do mapeamento conceitual da disciplina de Química Orgânica há a possibilidade de investigar sistematicamente as relações conceituais. Tais relações podem incluir, por exemplo, subordinação entre conceitos, diferenciações progressivas, reconciliações integrativas e a associação entre conceitos e o rendimento estudantil (realizada nesta pesquisa). Porém, para que os objetivos definidos fossem atingidos considerou-se importante investigar os casos em que apenas uma unidade de material é aprendida, ou melhor dizendo, casos em que foi possível atribuir um aproveitamento a determinado conceito, mas não sua transferência a novas unidades, ou seja, demais conceitos a ele relacionados, portanto, para esta etapa adotou-se o referencial da Teoria dos Grafos.

A teoria dos Grafos, é uma teoria Matemática que utiliza a notação de conjuntos para descrever situações reais. Matematicamente um grafo é descrito como $G = (G(V), G(A))$, sendo V um conjunto de vértices finito e não vazio e A um conjunto de arestas finito ou vazio (CLARK; HOLTON, 1995). Por exemplo, dado o conjunto de conceitos utilizados para descrever a constituição Atômica: Átomo, Núcleo, Eletrosfera, Prótons, Nêutrons, Número Atômico e Massa Atômica, têm-se as seguintes relações:

ÁTOMO é constituído pelo (a) NÚCLEO e ELETROSFERA,

NÚCLEO é constituído por PRÓTONS e NÊUTRONS,
 PRÓTONS definem o NÚMERO ATÔMICO,
 PRÓTONS e NÊUTRONS definem a MASSA ATÔMICA e
 ELETROSFERA é constituída por ELÉTRONS.

Desta forma, os vértices são: $V = \{\text{Átomo, Núcleo, Eletrosfera, Prótons, Nêutrons, Número Atômico, Massa Atômica}\}$

O conjunto de arestas A é composto por 8 arestas, atribuídas aos pares não ordenados de vértices:

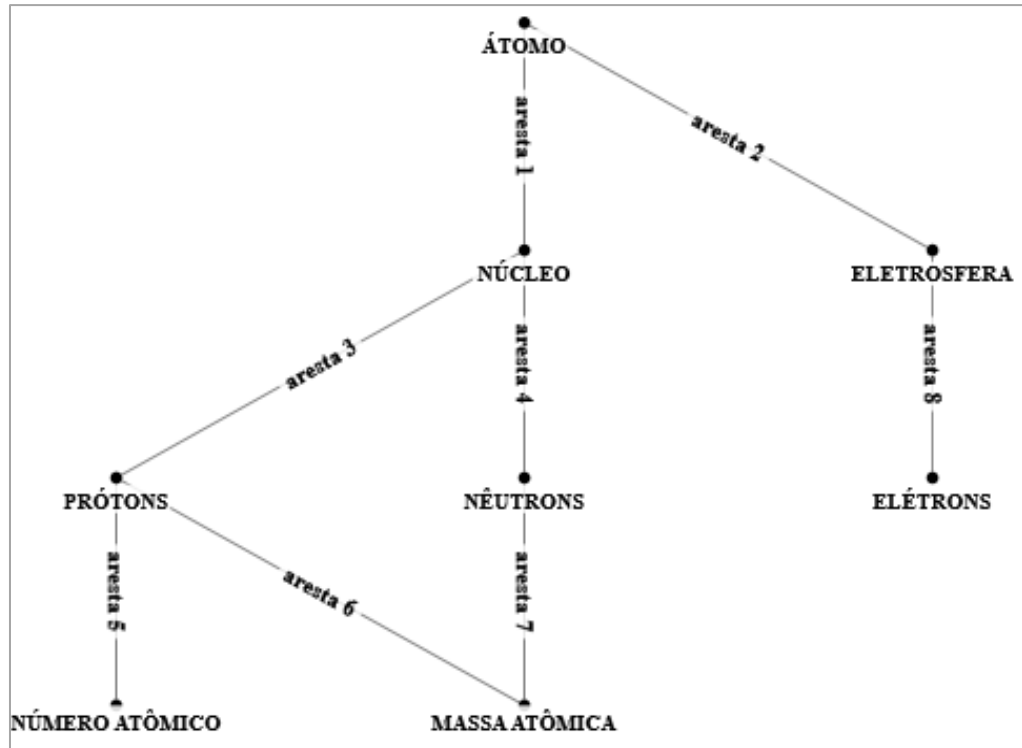
(Átomo, Núcleo), (Átomo, Eletrosfera), (Núcleo, Prótons), (Núcleo, Nêutrons), (Prótons, Número Atômico), (Prótons, Massa Atômica), (Nêutrons, Massa Atômica), (Eletrosfera, Elétrons).

Assim, a teoria dos grafos consiste em relacionar e/ou descrever fenômenos de diversas áreas, por uma representação diagramática entre *vértices*, também denominados de *pontos* ou *nós*, e as linhas que os unem e demonstram suas relações, denominadas de *aresta* ou *ligação*. Por exemplo, o grafo da figura 2 descreve a relação descrita sobre a constituição atômica. Essa representação gráfica pode ser utilizada para expor ou resolver problemas tais como: construir árvores hierárquicas (como demonstrar a hierarquia em famílias ou entre conceitos), resolver problemas de caminhos ou rotas (planejar dentre vários caminhos qual o menor a ser percorrido), efetuar planejamento de tarefas, realizar classificação de padrões e busca por assuntos, produtos ou interesses similares (como ocorre no Google ou nas redes sociais).(CLARK; HOLTON, 1995; STEEN, 2010).

No grafo, os nós e as arestas são análogos, respectivamente, aos conceitos e a ligação promovida por setas representada no Mapa Conceitual. Assim sendo, um Mapa Conceitual pode ser um grafo, e pode ser utilizado como base na construção de um grafo hierárquico, porém é importante salientar que o contrário é inválido, uma vez que o Mapa Conceitual apresenta critérios mais rigorosos de construção.

Sendo assim, o caminho Mapa Conceitual-grafo se justifica, pois não se pode descaracterizar o Mapa Conceitual, retirando, por exemplo, seus termos de ligação e as relações que expressam reconciliações integrativas e diferenciações progressivas e obter uma versão deste modo “simplificada”, que sirva de base para os cálculos que se irá utilizar neste trabalho. No entanto, pode-se utilizar outro organizador gráfico, que sirva aos propósitos desta pesquisa, sem alterar, portanto, a identidade do Método de Mapeamento de Conceitos.

Figura 2 - Grafo contendo conceitos e suas relações sobre constituição atômica.



Fonte: Autoria própria².

3.4.1 O Algoritmo de Sugiyama

Como dito anteriormente, a teoria dos grafos se baseia na relação entre vértices e arestas, porém a quantidade dessas relações estabelecidas pode tornar sua organização um problema. Uma vez definida a relação que se deseja investigar e estabelecidos o conjunto de vértices V , e o de arestas A , as relações podem ser representadas de modo pictórico através da utilização do programa “NodeXL”. Nele há a possibilidade de escolhermos o algoritmo utilizado para a elaboração do grafo, e para os objetos desta pesquisa optou-se pela utilização do algoritmo denominado de Sugiyama. O algoritmo de Sugiyama é utilizado para representar estruturas hierárquicas, onde os vértices (ou nós) que estão no mesmo nível ficam ao longo da mesma linha horizontal e as arestas são representadas por linhas retas. Além de ser hierarquizado, o algoritmo de Sugiyama objetiva a obtenção de representações compactas e com poucos cruzamentos entre as linhas, que representam as arestas (SUGIYAMA; TAGAWA; TODA, 1981). Para a representação do grafo da figura 2 utilizou-se este algoritmo.

² O grafo foi criado com o programa NodeXL, disponível em (<http://nodexl.codeplex.com>).

4 METODOLOGIA

4.1 Caracterização da Metodologia de Pesquisa - Estudo de Caso

A motivação inicial da presente pesquisa foi a procura pelo entendimento do porquê a Química Orgânica é considerada uma disciplina desafiadora. Decidiu-se então realizar o mapeamento curricular conceitual desta disciplina e associá-lo a episódios de ensino, e para esse propósito definiu-se que o universo de análise seria constituído por avaliações aplicadas a estudantes da disciplina de Química Orgânica I. As avaliações utilizadas foram realizadas presencialmente, em anos anteriores ao início desta pesquisa. Assim sendo, tais pressupostos fizeram com que definíssemos o estudo de caso como metodologia de pesquisa. De acordo com Yin (2015, p. 15), o estudo de caso como metodologia de pesquisa pode ser aplicado quando há:

- uma questão “como” ou “porque” está sendo feita sobre
- um conjunto de eventos contemporâneos,
- algo que o pesquisador tem pouco ou nenhum controle.

Desta forma, entende-se que a busca pelo entendimento do *porquê* a Química Orgânica é considerada desafiadora, através da análise de avaliações (eventos contemporâneos), já finalizadas, onde não se teve controle sobre os resultados, (pois eles foram obtidos anteriormente ao início desta pesquisa), enquadra-se nesses critérios. Assim, “[...] um estudo de caso permite que os investigadores foquem um “caso” e retenham uma perspectiva holística e do mundo real[...]”. (YIN, 2015, p. 4).

O estudo de caso é uma investigação empírica, utilizada quando se deseja estudar um evento que é único, onde é efetuado um estudo profundo e detalhado que permita seu conhecimento. Além disso, é importante ressaltar que apesar de serem mais comuns os estudos de casos qualitativos, eles podem também ser quantitativos ou conter ambas as análises, sendo esta última possibilidade a utilizada nesta pesquisa. (LÜDKE; ANDRÉ, 1986; YIN, 2015).

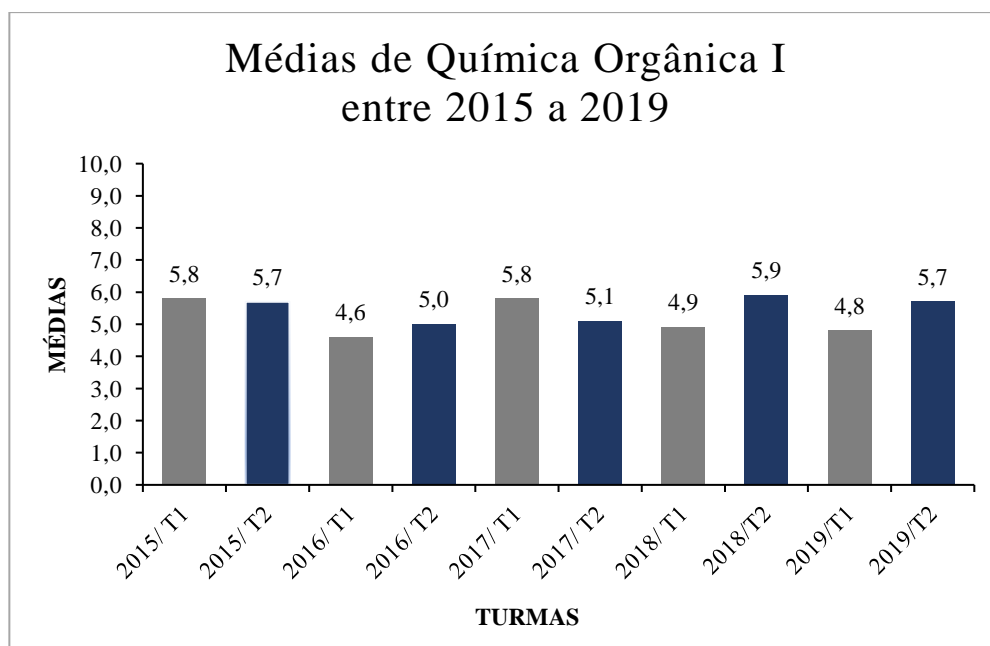
4.2 Contextualização da Pesquisa

A presente pesquisa foi realizada no curso de Bacharelado em Química do Instituto de Química de São Carlos -USP, na disciplina de Química Orgânica I entre os anos de 2015 a 2019. A Química Orgânica I é oferecida no segundo ano de curso regular, consiste em quatro créditos, apresenta caráter obrigatório e tem como pré-requisito as disciplinas de Introdução a

Química e Fundamentos de Estrutura Atômica e Molecular. Além disso, a disciplina é pré-requisito para as disciplinas de Análise de Compostos Orgânicos, Química Orgânica II e Bioquímica, todas ministradas no período seguinte. Para este curso, no primeiro semestre de cada ano letivo são disponibilizadas duas turmas ministradas por professores distintos. A turma denominada de “Turma 1” foi ministrada por um único professor, já a turma denominada de “Turma 2” ao longo dos anos foi ministrada por diferentes professores. Apesar disso, todos seguem o mesmo programa da disciplina³.

Em consulta a dados fornecidos pelo Serviço de Graduação do IQSC-USP, algumas considerações importantes sobre a disciplina foram investigadas e serão mencionadas a seguir. Considerando as turmas 1 e 2 e o período mencionado (2015 a 2019), foi possível observar que as médias obtidas pelos estudantes (independente do professor) sempre ficaram abaixo de seis, como mostra o gráfico 1.

Gráfico 1 - Média de Química Orgânica I nas duas turmas oferecidas durante os anos de 2015 a 2019.



Fonte: Autoria própria.

Além disso, em consulta ao mesmo período às médias das demais disciplinas de caráter obrigatório oferecidas pelo IQSC- USP que integram o componente curricular do curso, pôde-

³ O programa da disciplina está disponível em:
<<https://uspdigital.usp.br/jupiterweb/obterDisciplina?nomdis=&sgldis=SQF0322>>

se notar que a disciplina de Química Orgânica I apresenta a segunda menor média estudantil, só ficando atrás da disciplina de Química Orgânica II, como mostra a tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Classificação das dez primeiras disciplinas obrigatórias que apresentaram menor nota média entre os anos de 2015 a 2019 no curso de Bacharelado em Química IQSC-USP.

Classificação	Disciplina	Nota Média
1°	Química Orgânica II	5,2
2°	Química Orgânica I	5,3
3°	Cristalografia	5,8
4°	Bioquímica I	5,9
5°	Físico-Química II	6,0
6°	Fundamentos de Estrutura Atômica e Molecular	6,2
7°	Físico Química I	6,2
8°	Análise de Compostos Orgânicos	6,2
9°	Química Quântica	6,3
10°	Química Analítica Qualitativa	6,3

Fonte: Autoria própria.

Também, ao consultarmos a porcentagem de estudantes reprovados, utilizando os mesmos critérios descritos anteriormente, foi possível observar que a disciplina de Química Orgânica I e a de Cristalografia apresentaram as maiores porcentagens de reprovação, seguidas da disciplina de Química Orgânica II. Segue abaixo na tabela 2 a classificação das dez primeiras disciplinas que apresentam maiores índices de reprovação.

Tabela 2 - Classificação das dez primeiras disciplinas obrigatórias que apresentaram maiores porcentagens de reprovação entre os anos de 2015 a 2019 no curso de Bacharelado em Química IQSC-USP (continua).

Classificação	Disciplina	% Reprovação
1°	Química Orgânica I	23,1
2°	Cristalografia	23,1
3°	Química Orgânica II	22,0
4°	Fundamentos de Estrutura Atômica e Molecular	19,1

Tabela 2 - Classificação das dez primeiras disciplinas obrigatórias que apresentaram maiores porcentagens de reprovação entre os anos de 2015 a 2019 no curso de Bacharelado em Química IQSC-USP (conclusão).

Classificação	Disciplina	% Reprovação
5°	Fundamentos de Química Inorgânica	17,1
6°	Análises quantitativas: Teoria	16,2
7°	Química de Coordenação I	16,1
8°	Química Analítica Qualitativa	14,6
9°	Matemática Aplicada a Química	13,0
10°	Química Orgânica III	12,3

Fonte: Autoria própria.

É importante ressaltar que os dados apresentados foram obtidos junto ao Serviço de Graduação do IQSC-USP, e resultam em um indicativo que não pode ser ignorado, pois se constitui um registro legítimo que mostra, dentre outras informações, o resultado da aprovação ou não dos estudantes. Porém, temos conhecimento de que os dados por si só não evidenciam o percurso de aprendizagem estudantil, portanto, são dependentes de inúmeros fatores que devem ter suas características exploradas com maior profundidade por esse e outros estudos.

4.3 Caracterização do *Corpus* de Pesquisa

Esta pesquisa foi constituída pela análise das avaliações, resoluções de avaliações e questões aplicadas durante 5 anos (2015 a 2019), pelo professor que ministrou a disciplina para a Turma 1 de Química Orgânica I, do IQSC-USP. Os critérios avaliativos utilizados pelo professor incluem três avaliações tradicionais, compostas em geral por 6 questões dissertativas, distribuídas ao longo do semestre segundo as características da turma. Apesar de o programa da disciplina ser único, os conteúdos das três avaliações não foram rigorosamente fixos e sim dependentes do desenvolvimento de cada turma, podendo desta forma os conceitos abordados nas avaliações de cada turma apresentarem pequenas variações. Contudo, no que se refere a totalidade conceitual (conjunto de conceitos a serem trabalhados durante o semestre), o conteúdo abordado foi análogo em todos os anos analisados.

As avaliações foram denominadas, de “P1, P2 e P3”. Ao final do curso, aqueles estudantes que pela média aritmética das três avaliações obtiveram nota igual ou superior a cinco foram considerados aprovados e aqueles que não atingiram a média, mas obtiveram 70%

de presença e média maior ou igual a três, foram considerados aptos a tentar obtê-la por uma prova de recuperação. Para fins do estudo as avaliações analisadas foram àquelas compostas somente pelo trio de avaliações P1, P2 e P3. Tal enfoque justifica-se, pois, primeiramente acreditou-se que com estas avaliações já seria possível acompanhar o desempenho e tendências de desempenho dos estudantes ao decorrer do semestre. Em segundo lugar, como as provas de recuperação são referentes a conteúdos já contemplados nas avaliações regulares, foi considerado que elas se constituíam suficientemente representativas para a investigação de que trata esta pesquisa. Por fim, também se considerou que há menos estudantes que participam da recuperação.

Salienta-se que os dados investigados através das avaliações, constituem-se em um registro de aprendizagem por meio do qual a aprovação ou reprovação dos estudantes foi determinada. Sendo assim, neste estudo de caso o objetivo não se concentrou em questionar o método avaliativo, mas usá-lo em conjunto com demais análises a fim de extrairmos princípios gerais para a melhoria do ensino e da aprendizagem, ou seja, primeiramente investigar o cenário atual para posteriormente propormos intervenções (em trabalhos futuros). Além disso, o caminho adotado foi pensado para que estivéssemos alinhados com a teoria adotada, ou seja, começando do geral (obtendo uma análise da situação atual) e seguindo posteriormente para investigações com maior especificidade (em trabalhos futuros). Sendo assim, as avaliações são um retrato do ensino e aprendizagem que foi utilizado para desenvolver a ferramenta de análise que será proposta adiante. Assim, mais uma vez reforçamos que temos o conhecimento que outros fatores tais como número de aulas, origem dos estudantes, etc., como já citado anteriormente, são fatores que devem ter suas características exploradas com maior profundidade em outros estudos.

4.4 Descrição do *Corpus* de Pesquisa

Dada a introdução ao problema, a contextualização e sua caracterização seguimos para a próxima etapa, que consiste na descrição do *corpus* de análise. O *corpus* analisado foi constituído por 15 avaliações, que juntas totalizaram 119 questões distintas, resultaram em 622 resoluções das referidas avaliações realizadas por 215 estudantes do curso de Bacharelado em Química do IQSC-USP durante 5 anos. Os dados analisados foram organizados em entidades e sua subclassificação, como descrito abaixo:

Quadro 2 - Organização de entidades e suas subclassificações.

Entidade	Subclassificação
Avaliação	Ano
	Descrição da avaliação (P1, P2, P3)
Questão	Numeração
	Peso
Estudante	Identificação numérica
Rendimento	Taxa de acerto em relação à questão
	Taxa de acerto em relação à classificação conceitual
Categorização das Questões	Classificação conceitual

Fonte: Autoria própria.

4.5 Etapas de Análise

Após a organização do *corpus* em entidades e suas subclassificações, as análises efetuadas para o desenvolvimento do método/ ferramenta de análise conceitual seguiram uma série de etapas, descritas abaixo:

- 1- Cálculo da Taxa de Aproveitamento -TA,
- 2- Classificação Conceitual,
- 3- Porcentagem de Aproveitamento por Conceito - PAc,
- 4- Construção do Mapa Conceitual da Disciplina,
- 5- Associação entre o Mapa Conceitual e a Porcentagem de Aproveitamento por Conceito - PAc,
- 6- Construção de um Grafo;
- 7- Cálculo da Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc e,
- 8- Análise do Grafo.

Cada uma das etapas enumeradas foi detalhada a seguir.

4.5.1 Cálculo da Taxa de Aproveitamento - TA

A primeira etapa de análise utilizou a nota e os pesos atribuídos pelo professor da disciplina. A partir desses dados efetuou-se o cálculo da taxa de aproveitamento (TA). Desta forma, tem-se:

$$TA = \frac{VA}{VT} \quad (1)$$

Onde:

VA= Valor do acerto

VT= Valor total da questão

Exemplo: se uma questão apresenta valor total (VT) igual a 2 e o estudante obteve um valor de acerto (VA) igual a 1,5, ele obteve uma Taxa de Aproveitamento de 75% da questão.

Tais cálculos foram efetuados para cada:

- Questão,
- Estudante,
- Prova,
- Turma/Ano (2015 a 2019).

4.5.1.1 Investigação Complementar

A partir da TA se considerou importante investigar além do desempenho médio estudantil o percurso de diferentes grupos de estudantes. Essa etapa complementar considerou a amostra (descrita em tabela abaixo), de cada turma/ano analisada(o).

Tabela 3 - Quantidade de estudantes em cada turma/ano analisada(o)

Ano/ Turma	Amostra/Estudantes
2015	46
2016	34
2017	39
2018	52
2019	44

Fonte: Autoria própria.

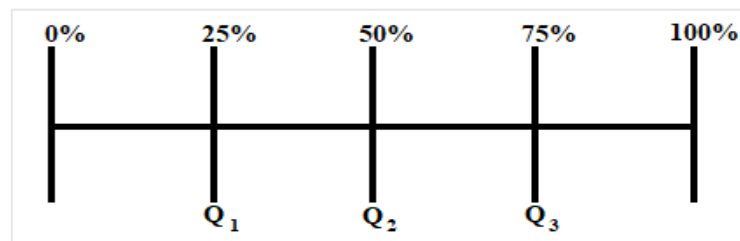
Assim, para cada turma/ano analisada(o) os estudantes foram classificados, primeiramente, em:

- Estudantes com desempenho médio (TA médio de toda a amostra),
- Estudantes aprovados (TA \geq 50%) e,

- Estudantes reprovados ($TA < 50\%$).

Em segundo lugar, (também considerando a amostra de cada/turma ano descrita na tabela 3), os estudantes foram classificados em estudantes com desempenho superior e estudantes com desempenho inferior. A classificação dos estudantes com desempenho inferior e superior foi efetuada conforme o primeiro e o último quartil da amostra de cada ano. O quartil divide a amostra em quatro partes iguais, assim, como demonstra a figura abaixo.

Figura 3 - Exemplo de como os quartis foram definidos.



Fonte: Autoria própria.

Assim sendo, $Q_1 = Q(0,25)$: primeiro quartil considera o conjunto composto pelos 25% menores valores de Taxa de Aproveitamento - TA dos estudantes em relação à amostra (Turma/Ano) e $Q_3 = Q(0,75)$: terceiro quartil considera o conjunto dos 25% maiores valores de TA dos estudantes em relação à amostra (Turma/Ano). (MORETTIN; BUSSAB, 2010).

Desta forma, mais duas classificações em relação ao desempenho dos estudantes foram efetuadas:

- Estudantes com desempenho superior (caso $TA > Q_3$),
- Estudantes com desempenho inferior (caso $TA < Q_1$).

Tais classificações estudantis foram realizadas com o intuito de investigar se em cada turma/ano haveria **tendências** notáveis de desempenho que as diferenciasssem.

4.5.2 Classificação Conceitual

Até então, com o auxílio da Taxa de Aproveitamento (TA) foi possível investigar quais turmas, quais estudantes, em quais questões, de quais avaliações apresentaram maiores dificuldades. Apesar de importantes, esses dados não associam diretamente os dados quantitativos aos conceitos trabalhados. Deste modo, seguimos para a próxima etapa, que consistiu na classificação de cada uma das 119 questões avaliativas. Para essa classificação

utilizou-se o programa da disciplina. Nele há, dentre outras informações, a descrição dos tópicos que serão trabalhados durante o semestre, e eles foram utilizados para classificar cada questão segundo o conceito **central** de que elas tratavam.

A classificação foi feita com o auxílio de análise textual discursiva. Segundo Moraes e Galiuzzi (2016) a análise textual discursiva é um tipo de análise frequentemente utilizada em pesquisas qualitativas, que pode utilizar tanto textos produzidos para a pesquisa quanto textos já existentes, (como, por exemplo, avaliações) visando compreender, e reconstruir conhecimentos existentes sobre os temas organizados.

Nesta análise o *corpus* passa pelo processo de desconstrução e unitarização e posteriormente pelo processo de categorização. Para o processo de desconstrução foram usados critérios pragmáticos definidos *a priori*, pois esta análise e classificação, como mencionado anteriormente, foi baseada no programa da disciplina. De acordo com Moraes e Galiuzzi, (2016, p. 19), “Quando se conhecem de antemão os grandes temas de análise, as categorias “*a priori*”, basta separar as unidades conforme os temas e categorias”.

Deste modo, foram promovidas as seguintes desconstruções e unitarizações:

1. Cada questão foi categorizada (a partir dos conceitos contidos no programa da disciplina) pelo tema central de que tratava;
2. Questões diferentes mais que tratavam do mesmo conceito foram agrupadas na mesma categoria;
3. Questões que apresentavam mais de uma classificação conceitual (contendo, por exemplo, alternativas que continham conceitos centrais distintos) foram separadas e reagrupadas nas correspondentes categorias de classificação conceitual.

4.5.3 Porcentagem de Aproveitamento por Conceito - PA_c

A partir da classificação efetuada na segunda etapa, notou-se que um conceito (C) pode ser abordado em mais de uma questão, desta forma, a porcentagem de aproveitamento PA_c é igual à média das taxas de acertos relacionada ao conceito.

$$PA_c = \overline{TA_c} \quad (2)$$

Onde:

$\overline{TA_c}$ = média de taxa de acerto do conceito.

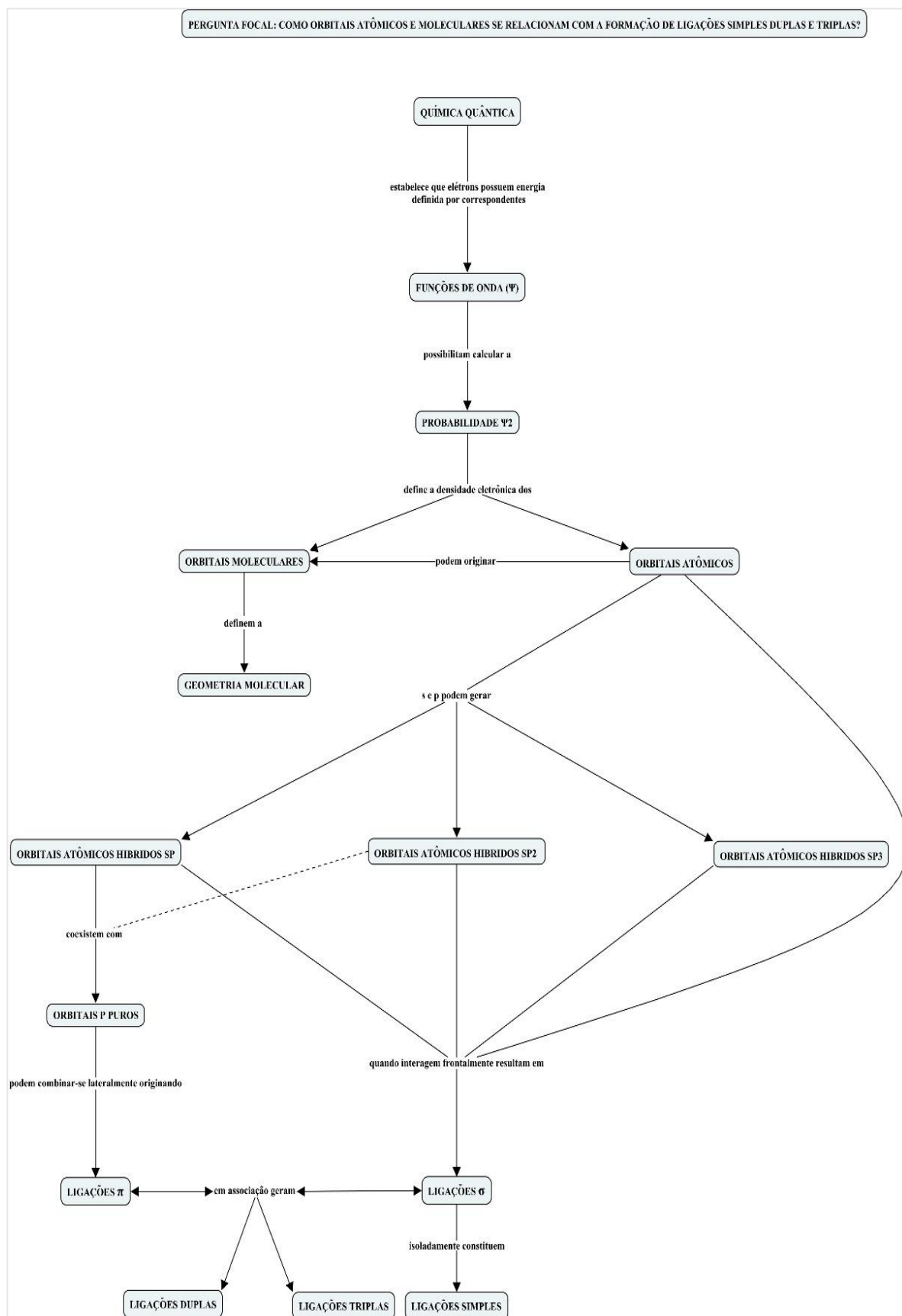
4.5.4 Construção do Mapa Conceitual da Disciplina

Uma vez atribuída a Porcentagem de Aproveitamento por Conceito (PAC) refletiu-se que determinada questão pode ter um tema atribuído que discrimine qual a temática **central** que retrata, porém entende-se que muitos outros conceitos são necessários à sua resolução. Portanto, como demonstrar a relação entre os temas atribuídos às questões avaliativas (conceitos contidos no programa da disciplina) e os demais conceitos tratados durante a aprendizagem de Química Orgânica e que também são necessários para as resoluções das questões? Para esta finalidade, na quarta etapa foi construído um Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I.

O Mapa Conceitual é um diagrama que mostra a relação hierárquica entre conceitos. Para a sua construção, os conceitos descritos no programa da disciplina foram considerados “conceitos obrigatórios”, portanto, deveriam necessariamente pertencer ao Mapa Conceitual. Para diferenciá-los dos demais conceitos e reconhecer com maior facilidade suas conexões, os conceitos obrigatórios foram destacados em negrito. É importante ressaltar que a construção do Mapa Conceitual da disciplina elaborado não visa à representação de um “Mapa correto”, mas de um Mapa altamente representativo e útil para os objetivos desta pesquisa (MOREIRA, 2012).

Também, a fim de evidenciar as relações existentes entre conceitos de cada capítulo abordado na disciplina (que utilizou como referência o livro texto de Química Orgânica Solomons e Fryle 10ª edição) foram atribuídas diferentes colorações para os conceitos de cada capítulo trabalhado. A partir desses pressupostos procedeu-se a construção do Mapa Conceitual segundo os critérios descritos na seção 3.3.1. Critérios para a Construção de Mapas Conceituais. Segue abaixo um exemplo de cunho ilustrativo.

Figura 4 - Mapa Conceitual da relação entre Orbitais Atômicos e Orbitais Moleculares e sua relação com ligações simples, duplas e triplas.



4.5.6 Construção do Grafo

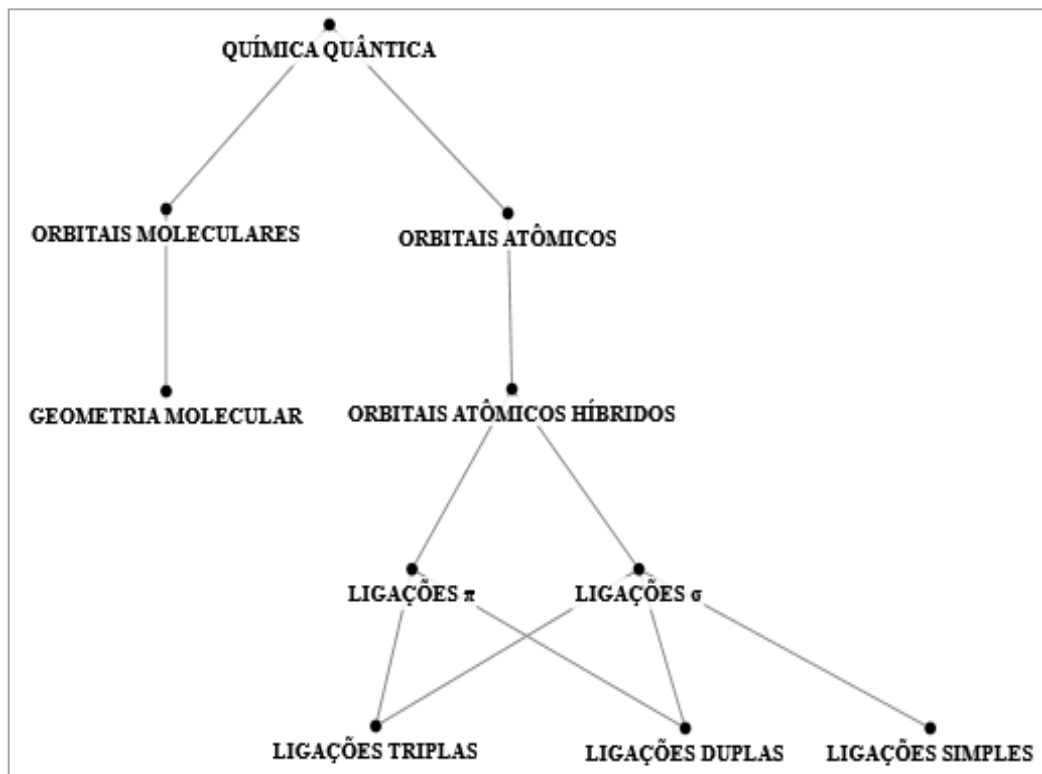
A associação entre o Mapa Conceitual e as análises quantitativas e qualitativas visa a investigação de conceitos desafiadores, aqueles onde houve baixo rendimento, e sua relação hierárquica com os demais conceitos pertencentes à disciplina. Também se pretendeu que com a união entre o Mapa Conceitual e a Porcentagem de Aproveitamento por Conceito - PAc fosse possível investigar a existência de regularidades, dificuldades no mesmo conceito independente da classificação dos estudantes (estudantes com desempenho superior, estudantes aprovados, estudantes com desempenho médio, estudantes reprovados e estudantes com desempenho inferior) e sua relação com os demais conceitos trabalhados na disciplina. Porém, embasados na Teoria da Aprendizagem Significativa, observamos a necessidade de efetuar uma análise mais detalhada.

Já foi mencionado anteriormente (seção 3 - Referencial Teórico), que o conhecimento prévio é considerado o fator isolado mais importante na Aprendizagem Significativa, e que quando se aprende significativamente pode-se usar o conhecimento adquirido em outras situações. A partir desses pressupostos considerou-se investigar a relação estatística dos conceitos prévios, ou seja, quantificar qual a parcela de responsabilidade desses conceitos mais inclusivos hierarquicamente no aprendizado de conceitos menos inclusivos. Contudo, o desafio consiste no fato de que, não são todos os conceitos que apresentam uma “associação percentual direta”. Apesar disso, esses conceitos apresentam uma associação hierárquica conceitual válida, que revela sua importância demonstrada através do Mapa Conceitual. O conhecimento de tais relações forneceu as informações necessárias para serem utilizadas como base para os cálculos do método de análise proposto.

Assim, um determinado conhecimento prévio pode servir de base para o aprendizado de um novo conceito, que pode ser utilizado como conhecimento prévio para outro(s) novo(s) conceito(s), estabelecendo desta forma uma relação dependente. Esta relação é a que objetivamos demonstrar nesta etapa da pesquisa, através da elaboração de um grafo.

No grafo, além de ser possível estabelecer relações com caráter direto e objetivo, é possível determinar qual o tipo de relação que será objeto de estudo. Desta forma adotou-se a relação denominada de *Conceito Estruturante* e *Conceito Estruturado* entre os nós (conceitos). Isso significa que ao considerarmos os nós do grafo, um nó *Estruturante* será aquele que está em hierarquia superior e possui ligação com um ou mais nós na sua descendência. Segue abaixo um exemplo, figura 6 abaixo, utilizando os mesmos conceitos apresentados nas figuras 4 e 5.

Figura 6 - Construção do grafo da relação entre Orbitais Atômicos e Orbitais Moleculares e sua relação com ligações simples, duplas e triplas.



Fonte: Autoria própria.⁴

No grafo da figura 6 o conceito “Química Quântica” é desta forma denominado de *Conceito Estruturante* dos conceitos Orbitais Atômicos e Orbitais Moleculares, conceitos denominados de *Conceitos Estruturados*.

4.5.7 Cálculo da Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc

A partir da construção do grafo, como no Mapa Conceitual, foi possível observar que alguns conceitos pertencentes a relações relevantes não apresentavam valor numérico atribuído, assim com base, na relação entre “*Conceitos Estruturantes*” e “*Conceitos Estruturados*”, propôs-se o cálculo de Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc. Os cálculos de PAIc apoiam-se no fato de que o desempenho obtido na PAc de um “*Conceito Estruturado*” é resultado de um aprendizado dependente de seu “*Conceito Estruturante*”.

A Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc, considera a PAc e a PAIc dos *Conceitos Estruturados*. Para o cálculo de PAIc utilizou-se a seguinte equação:

⁴ O grafo foi elaborado com o programa NodeXL, disponível em (<http://nodexl.codeplex.com>).

$$PAI_c = \frac{(PA_c + p \sum_{i=1}^n PAI_{ci})}{(1 + pn)} \quad (3)$$

Para: $PA_c > 0$ e

Onde:

PAIc = Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito.

PAc = Porcentagem de Aproveitamento por Conceito (do conceito que será calculado).

PAIci = Porcentagem de Aproveitamento Indireto do(s) *Conceito(s) Estruturado(s)*.

n = Quantidade de *Conceitos Estruturados* do *Conceito Estruturante*.

p = peso

A equação proposta considera que a Porcentagem de Aproveitamento por Conceito - PAc tem maior peso em relação às Porcentagens de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc dos *Conceitos Estruturados*. Além disso, considerou-se, na equação 3 acima, o peso $p = \frac{1}{2}$. Ele equivale ao peso que se atribuiu aos *Conceitos Estruturados*, pois se considerou que um *Conceito Estruturado* tem 50% das características em relação ao seu *Conceito Estruturante*. Entretanto, destaca-se que há a possibilidade de atribuir diferentes pesos a depender da relevância de cada *Conceito Estruturado*, o que acarretaria maior especificidade aos valores obtidos, porém o valor atribuído não afeta a relevância da ferramenta de análise que está sendo desenvolvida. Segue abaixo um exemplo embasado no grafo da figura 6.

Uma questão apresenta como tema o conceito de “Ligações π ”, e um estudante obteve uma porcentagem de aproveitamento de 40%. No decorrer da disciplina, foi lhe pedido em outras questões fosse indicado as “Ligações Duplas” e “Ligações Triplas” de determinado composto orgânico e ele obteve respectivamente 65% e 80% de PAc. Sendo assim, para o cálculo do PAIc do conceito “Ligações π ” teremos que:

$$PAI_{\text{Ligações } \pi} = \frac{\left(40 + \frac{1}{2} (65 + 80)\right)}{\left(1 + \frac{1}{2} \cdot 2\right)} = 56,25\%$$

Ainda, observe que quando um *Conceito Estruturante* pertencente ao grafo não apresenta Porcentagem de Aproveitamento por Conceito, ou seja, $PA_c = 0$, a expressão 3 é descrita como:

$$PAI_c = \frac{\sum_{i=1}^n PAI_{ci}}{n} \quad (4)$$

Para:

$$PA_c = 0$$

Onde:

PA_c = Porcentagem de Aproveitamento por Conceito (do conceito que será calculado).

n = Quantidade de *Conceitos Estruturados* do *Conceito Estruturante*.

Desta forma, mesmo não havendo PA_c, é possível efetuar o cálculo da PAI_c, pois esses conceitos contêm uma relação direta de dependência hierárquica conceitual (relação conceitual entre *Conceito Estruturante* e *Conceito Estruturado*). Desta forma, a PAI_c do *Conceito Estruturante* que se deseja calcular será igual à média da PAI_c dos *Conceitos Estruturados*.

4.5.8 Análise do Grafo

As relações estabelecidas através do grafo possibilitaram a investigação de duas novas variáveis indicativas de aprendizagem:

1. A Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito (PAI_c).
2. A relação entre PA_c e PAI_c (para um mesmo conceito), onde se investiga se:
 - PA_c ≤ PAI_c pode ser indicativo de Aprendizagem Significativa,
 - PA_c > PAI_c pode ser indicativo de Aprendizagem Mecânica.

Para exemplificarmos, considere as seguintes Porcentagens de Aproveitamento por Conceito **hipotéticas** para dois estudantes demonstradas em tabela abaixo:

Tabela 4 - Porcentagem de Aproveitamento por Conceito hipotético para os Estudantes 1 e 2 (continua).

CONCEITO	Estudante 1 (%)	Estudante 2 (%)
QUÍMICA QUÂNTICA	-	-
ORBITAIS ATÔMICOS	-	-
ORBITAIS MOLECULARES	60	40

Tabela 4 - Porcentagem de Aproveitamento por Conceito hipotético para os Estudantes 1 e 2 (conclusão).

CONCEITO	Estudante 1 (%)	Estudante 2 (%)
ORBITAIS ATÔMICOS HÍBRIDOS	-	-
LIGAÇÕES σ	80	70
LIGAÇÕES π	75	60
LIGAÇÕES SIMPLES	95	60
LIGAÇÕES DUPLAS	80	40
LIGAÇÕES TRIPLAS	85	45
GEOMETRIA MOLECULAR	80	35

Fonte: Autoria própria.

A partir dos valores tabelados e utilizando as equações 3 e 4 pode-se calcular a Porcentagem de Aproveitamento Indireto por conceito - PAIc para cada conceito. Segue abaixo em tabela os valores obtidos.

Tabela 5 - Porcentagem de aproveitamento por conceito direto e indireto.

CONCEITO	Estudante 1		Estudante 2	
	PAC (%)	PAIc (%)	PAC (%)	PAIc (%)
QUÍMICA QUÂNTICA	-	70.3	-	48.2
ORBITAIS ATÔMICOS	-	80.7	-	56.4
ORBITAIS MOLECULARES	60	66,6	40	38,3
ORBITAIS ATÔMICOS HÍBRIDOS	-	80.7	-	56.4
LIGAÇÕES σ	80	83	70	59
LIGAÇÕES π	75	78.7	60	53.7
LIGAÇÕES SIMPLES	95	95	60	60
LIGAÇÕES DUPLAS	80	80	40	40
LIGAÇÕES TRIPLAS	85	85	45	45
GEOMETRIA MOLECULAR	80	80	35	35

Fonte: Autoria própria.

O estudante 1 obteve PAC < PAIc, para os conceitos: “Orbitais Moleculares”, “Ligações σ ” e “Ligações π ”. Assim, a obtenção do resultado pode nos dar indicativos que a concepção

conceitual inicial do estudante foi modificada ou fortalecida, pois o entendimento dos *Conceito(s) Estruturante(s)* é necessário à resolução das questões posteriores (com *Conceitos Estruturados*) apresentadas. Utilizando a mesma premissa, foi possível calcular a PAI_c dos conceitos Química Quântica, Orbitais Atômicos e Orbitais Atômicos Híbridos, que não apresentavam questões com a sua temática conceitual direta, mas que estão presentes e fazem parte da construção conceitual que permitirá ao aluno responder às questões subsequentes em hierarquia.

O estudante 2 obteve P_{Ac} > PAI_c, para os conceitos “Orbitais Moleculares”, “Ligações σ ” e “Ligações π ”. A obtenção deste resultado pode nos dar dois indicativos. Primeiramente pode ser que o estudante ainda traga dúvidas em conceitos estruturantes que estão se perpetuando nos *Conceitos Estruturados*. O segundo fato a ser observado, pode ser um indicativo de que o estudante aprendeu o *Conceito Estruturante* o suficiente apenas para responder à questão específica que trabalha este conceito, porém, não conseguiu aplicar este conhecimento em um novo contexto. Em outras palavras, este ser um indicativo de Aprendizagem Mecânica.

Do mesmo modo como o apresentado para o estudante 1, foi possível calcular a PAI_c dos conceitos “Elétrons”, “Orbitais Atômicos” e “Orbitais Atômicos Híbridos”, que não apresentavam questões com a sua temática conceitual direta. Também, ao observamos todos os valores de PAI_c, concluímos que o menor valor reside no conceito de “Orbitais Moleculares”. Desta maneira, se o objetivo é que o estudante 2 tenha uma boa fundamentação sobre “Geometria Molecular”, por exemplo, esse pode ser um conteúdo fundamental a ser reforçado.

É oportuno destacar que em ambos os casos apresentados, os conceitos “Orbitais Moleculares”, “Ligações Simples”, “Ligações Duplas”, “Ligações Triplas” e “Geometria Molecular” apresentam P_{Ac} = PAI_c, já que eles não apresentam *Conceitos Estruturados* (no exemplo elaborado). Desta forma, a equação 3 apresentará a seguinte forma.

$$PAI_c = \frac{P_{Ac}}{1} \quad (5)$$

Para: $n = 0$

É importante também reforçar que o grafo elaborado para o cálculo de PAI_c demonstra somente as relações hierárquicas entre os *Conceitos Estruturantes* e *Conceitos Estruturados* existentes. Já o Mapa Conceitual, além de demonstrar relações de hierarquia, demonstra

relações conceituais estabelecidas através dos termos de ligação. Por exemplo, o Mapa Conceitual da figura 4 apresenta as seguintes proposições descritas no quadro abaixo:

Quadro 3 - Exemplos de proposições contidas no Mapa Conceitual da relação entre Orbitais Atômicos e Orbitais Moleculares e sua relação com ligações simples, duplas e triplas.

CONCEITO INICIAL	TERMO DE LIGAÇÃO	CONCEITO FINAL
ORBITAIS ATÔMICOS HÍBRIDOS SP ²	coexistem com	ORBITAIS P PUROS
ORBITAIS ATÔMICOS HÍBRIDOS SP	coexistem com	ORBITAIS P PUROS
ORBITAIS P PUROS	podem combinar-se lateralmente originando	LIGAÇÕES π

Fonte: Autoria própria.

No grafo da figura 6 os dois conceitos iniciais descritos no quadro 3 (“Orbitais Atômicos sp²” e o “Orbitais Atômicos sp”) foram unificados ao conceito de “Orbitais Atômicos Híbridos sp³”) e a relação entre ele e o conceito “Ligação π ” é direta, ou seja, não passa pelo conceito “Orbitais p puros”. No Mapa Conceitual a diferenciação entre conceitos, apesar de parecer um detalhe, é relevante para a Aprendizagem Significativa, pois faz parte dos processos de reconciliação integrativa e diferenciação progressiva contidos nesta teoria. Esse detalhamento pode contribuir, por exemplo, para a construção de novos significados, reconciliando-os, como no entendimento do que são Hidrocarbonetos ou diferenciando-os, como no reconhecimento do que são Alcanos, Alcenos e Alcinos. O entendimento desses conceitos por consequência pode contribuir para o aprendizado de mecanismos de reação (Substituição, Eliminação, Adição, etc.) e assim por diante. No entanto, tais relações estabelecidas no grafo, mais diretas, são suficientemente relevantes para o desenvolvimento da ferramenta de análise que se está propondo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Cálculo da Taxa de Aproveitamento - TA

A Taxa de Aproveitamento, obtida através dos critérios descritos na seção 4.5.1- Cálculo da Taxa de Aproveitamento - TA, é fundamental para o desenvolvimento da ferramenta de análise proposta, contudo algumas investigações relevantes considerando-a foram unicamente realizadas, tais como: a investigação de tendências e porcentagem de reprovação de cada ano/turma pertencente ao universo de análise.

5.1.1 Investigação da tendência de notas durante o percurso P1, P2 e P3 por ano (2015 a 2019)

A partir dos valores Taxa de Aproveitamento - TA julgou-se oportuno investigar se existiriam diferentes tendências para os diferentes grupos classificados, pois, apesar das avaliações não apresentarem um conjunto de conceitos fixos, porque consideram o desenvolvimento de cada turma, acreditou-se que esta observação implicaria em uma primeira investigação acerca da diferenciação do aproveitamento conceitual estudantil.

Desta forma, a Taxa de aproveitamento - TA, de cada avaliação (P1, P2 e P3), de cada ano/turma (2015 a 2019), para cada grupo de estudantes classificados (seção 4.5.1.1 - estudantes aprovados, reprovados, desempenho médio, desempenho superior e desempenho inferior) foi expressa graficamente. Como o objetivo foi investigar possíveis **tendências** de cada grupo de estudantes, como, por exemplo, notas gradativamente maiores nas avaliações dos grupos de “estudantes com desempenho superior” em preeminência aos demais grupos, cada um dos pontos que representa a nota de cada grupo de estudantes nas avaliações P1, P2 e P3 foi unido. Segue abaixo em tabela os valores dos quartis (Q₁ e Q₃) da amostra de cada ano/turma e em seguida, utilizando as categorizações estudantis descritas, a representação gráfica de cada ano/turma analisado(a).

Tabela 6 - Amostra e quartis das turmas de 2015 a 2019 (continua).

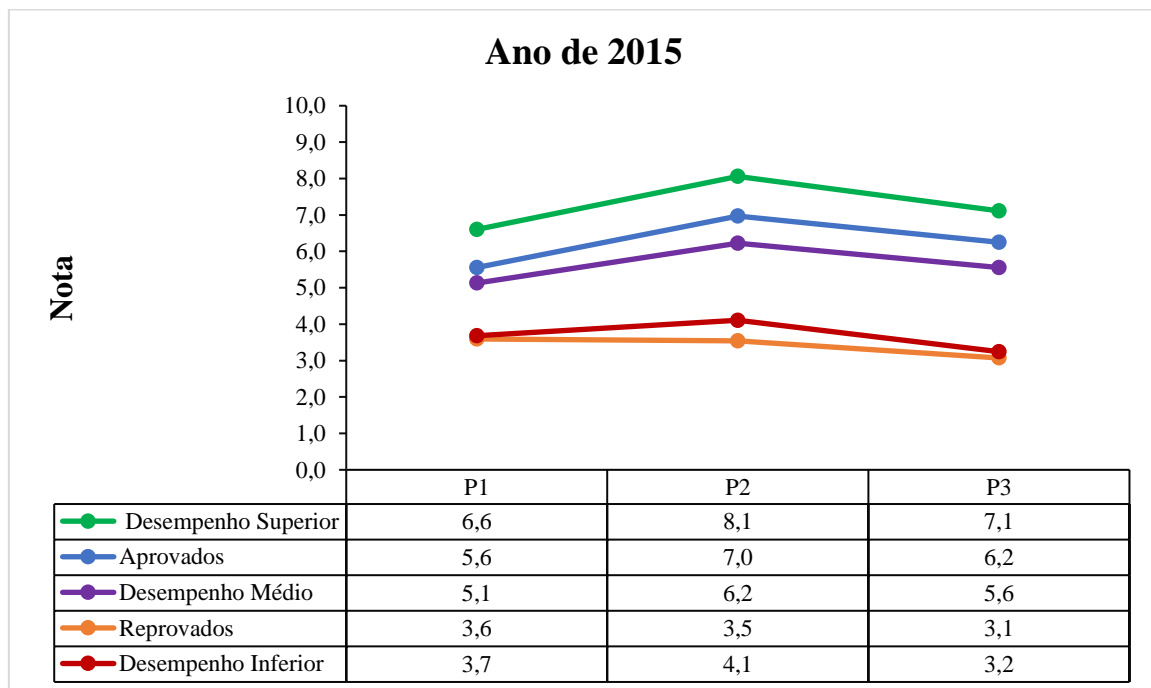
Ano/ Turma	Amostra/Estudantes	Q ₁ (nota)	Q ₃ (nota)
2015	46	5,1	6,5
2016	34	3,0	5,7

Tabela 6 - Amostra e quartis das turmas de 2015 a 2019 (conclusão).

Ano/ Turma	Amostra/Estudantes	Q ₁ (nota)	Q ₃ (nota)
2017	39	4,3	6,7
2018	52	3,9	5,7
2019	44	4,7	6,3

Fonte: A autoria própria.

Gráfico 2 - Nota por avaliação e classificação da turma de 2015.



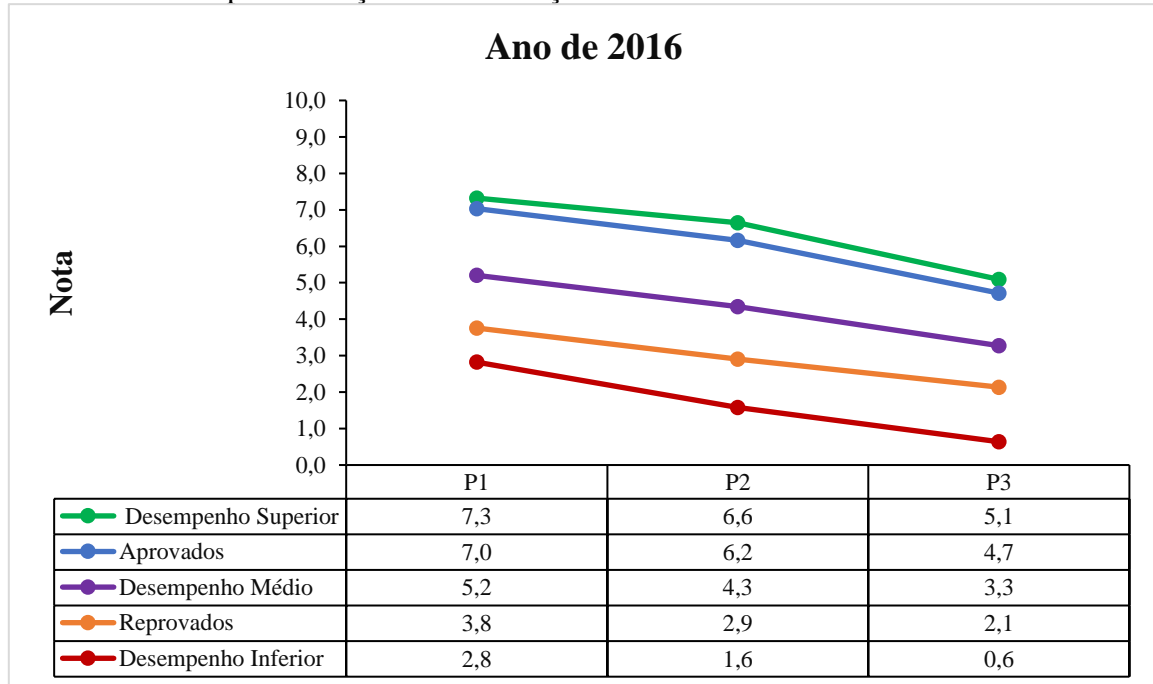
Fonte: A autoria própria.

No primeiro gráfico se destaca que no geral (exceto para os grupos de estudantes reprovados) as notas da $P1 < P2$. Também é possível observar que as notas da $P2 > P3$ para todos os grupos estudantis, desta forma a tendência de notas entre os grupos estudantis é semelhante. Neste ano os estudantes com desempenho inferior obtiveram médias superiores aos estudantes reprovados, isso pelo fato de a amostra de estudantes reprovados ser menor que a amostra de estudantes com desempenho inferior. Em outras palavras, mesmo estudantes com menor desempenho (em relação amostra deste ano) conseguiram aprovação.

A tendência geral observada para os grupos de estudantes com desempenho superior, aprovados e desempenho médio é de ascensão das notas ($P3 > P1$) e a do grupo de estudantes reprovados e desempenho inferior é de queda ($P3 < P1$). O observado pode indicar que os estudantes dos três primeiros grupos mencionados possuem conhecimentos prévios relevantes para o aprendizado em Química Orgânica em relativa superioridade ao do grupo de estudantes

reprovados e estudantes com desempenho inferior. Assim, o grupo de estudantes com desempenho superior, aprovados e desempenho médio podem estar conseguindo promover a interação entre o conhecimento prévio e o novo conhecimento com maior efetividade.

Gráfico 3 - Nota por avaliação e classificação da turma de 2016.



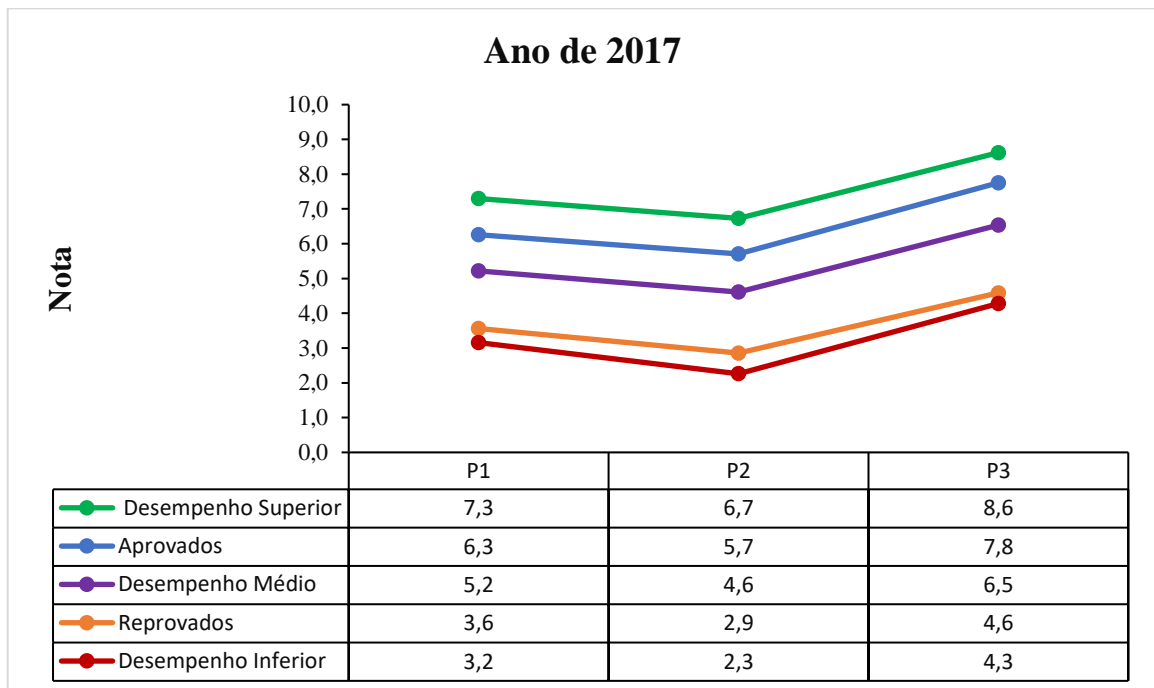
Fonte: Autoria própria.

Diferentemente do primeiro gráfico, no segundo se destaca que a nota da P1 > P2, e que as notas da P2 > P3, desta forma, há queda das notas ao longo do semestre para todos os grupos estudantis, e a **tendência** de notas entre os diferentes grupos é semelhante.

Ainda, para este ano $Q_1 = 3,0$ e $Q_3 = 5,7$, indicando um desempenho estudantil inferior comparado ao ano anterior, onde $Q_1 = 5,1$ e $Q_3 = 6,5$. Como as médias atingidas pelos estudantes no ano de 2016 são menores do que as dos estudantes de 2015, os estudantes com médias (considerando as três avaliações) acima de 5,7 - terceiro quartil deste ano- são considerados estudantes com desempenho superior, e os estudantes com média abaixo de 3,0 - primeiro quartil desse ano (considerando as três avaliações) são considerados de desempenho inferior.

Neste gráfico a **tendência** geral de notas observada para todos os grupos estudantis classificados é de queda. Este fato observado pode indicar que, independentemente do grupo estudantil classificado, está ocorrendo uma dificuldade no relacionamento entre as novas tarefas de aprendizagem e os conhecimentos prévios relevantes para o aprendizado em Química Orgânica.

Gráfico 4 - Nota por avaliação e classificação da turma de 2017.

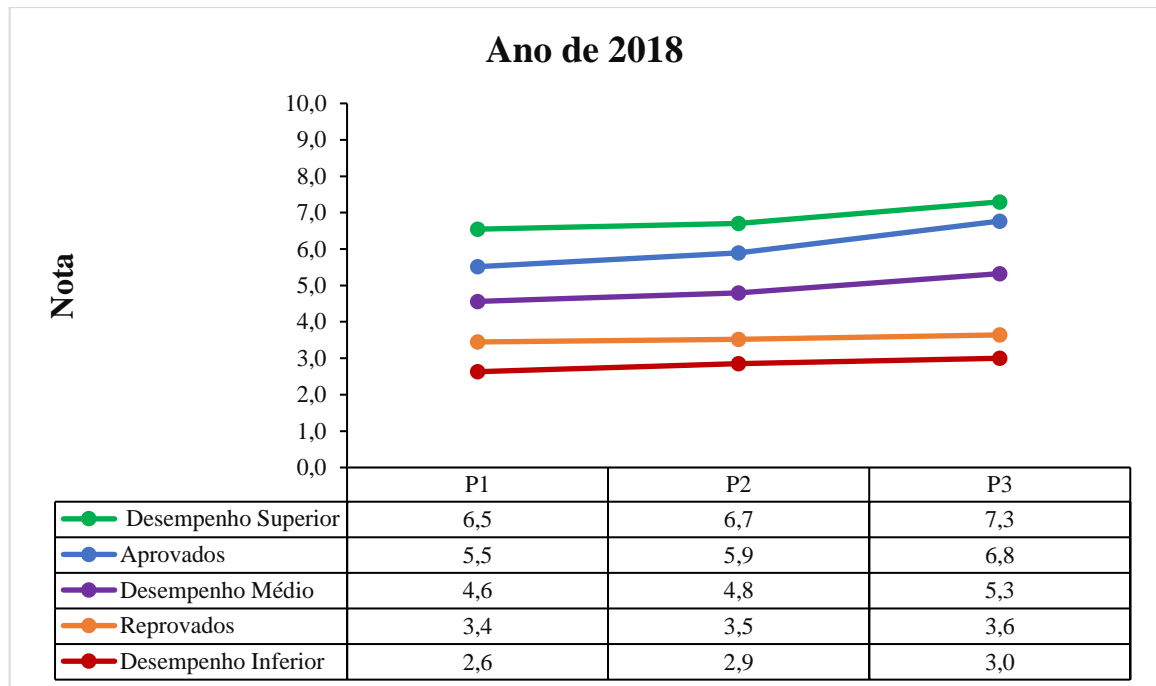


Fonte: Autoria própria.

Na turma de 2017, similarmente a turma de 2015 e diferentemente da turma de 2016 as notas da P1 > P2, no entanto, as notas da P2 < P3, observação que difere dos dois anos anteriores. Essa **tendência** (queda de notas da P1 para a P2 e aumento de notas da P2 para a P3) é observada em todos os grupos estudantis deste ano. O primeiro quartil para este ano ($Q_1=4,3$) tem valor abaixo do valor do ano de 2015 e valor acima do valor de 2016. Desta forma, entre os três anos até então comentados, apesar de em 2017 o terceiro quartil apresentar o maior valor ($Q_3= 6,7$), 2015 ainda continua sendo um ano comparativamente superior, pois seu Q_1 superior indica que mesmo os estudantes considerados com desempenho inferior apresentam melhores rendimentos.

Neste gráfico a tendência geral de notas observada para todos os grupos estudantis é de ascensão. Este fato observado pode indicar que independente do grupo estudantil classificado e o resultado obtido (aprovação/ reprovação) os estudantes estão conseguindo relacionar seus conhecimentos prévios relevantes as novas tarefas de aprendizagem, com maior efetividade do que os estudantes do ano anterior.

Gráfico 5 - Nota por avaliação e classificação da turma de 2018.



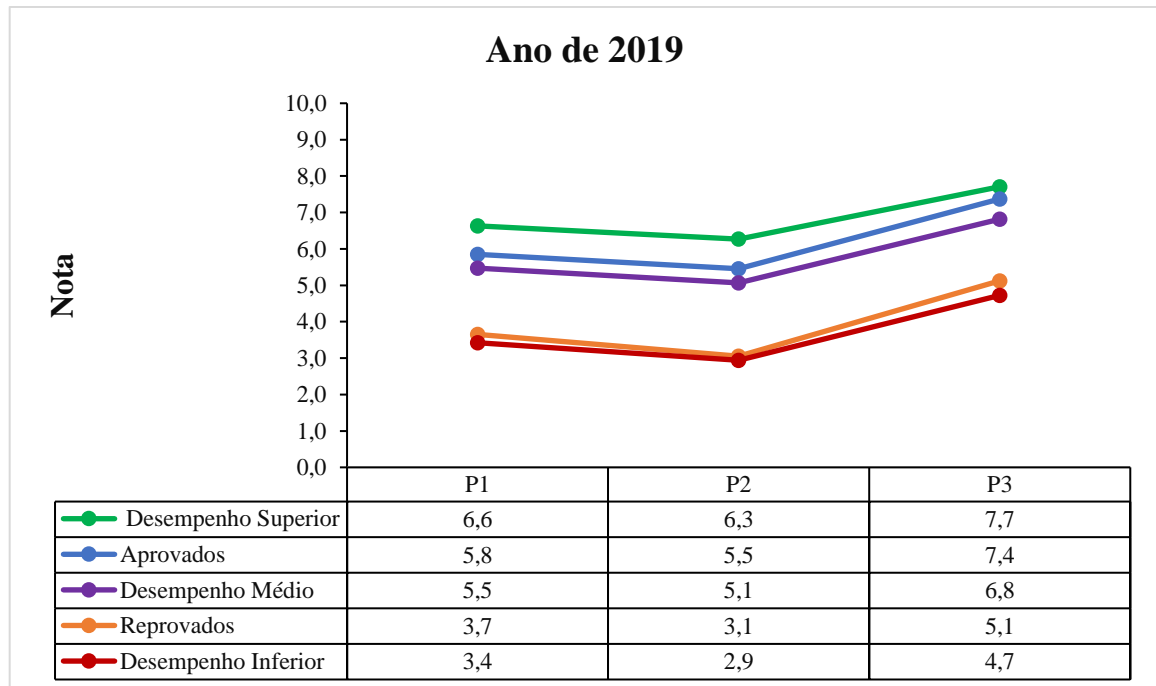
Fonte: Autoria própria.

A turma de 2018, assim como a turma de 2015, apresentou notas da $P1 < P2$, porém este crescimento foi discreto. O crescimento das notas continuou e essa turma, assim como a turma de 2017, apresentou notas da $P2 < P3$. As turmas dos anos de 2015 e 2018 são as até então mencionadas onde os estudantes apresentaram maiores taxas de aproveitamento (notas). As notas da turma de 2018 para todos os grupos estudantis (exceto para o grupo dos estudantes com desempenho inferior) estão ligeiramente acima das apresentadas pelos estudantes de 2015, porém dois aspectos diferem estas duas turmas. Primeiramente a turma de 2018 apresenta aumento de notas no percurso P1, P2 e P3, já na turma de 2015, há ascensão de notas da P1 para a P2, mas queda da P2 para a P3. Em segundo, lugar as notas apresentadas pelos estudantes de desempenho médio para a turma de 2015 estão acima da média (notas > 5), enquanto para os estudantes de 2018 isso só ocorre na P3. Além disso, o primeiro quartil para 2015 é $Q_1 = 5,1$ e para 2018 $Q_1 = 3,9$. O primeiro quartil, como mencionado anteriormente, foi utilizado para definir o grupo de estudantes que apresentou desempenho inferior, referente a amostra de cada ano/turma. Desta forma, $Q_1 2015 > Q_1 2018$ implica que mesmo os estudantes considerados com desempenho inferior no ano de 2015 estão conseguindo se aproximar da média do curso, e conseguir a aprovação. Deste modo, em relação à aprovação o ano de 2015 é superior.

Na turma de 2018, assim como as demais turmas anteriores, apresenta **tendências** de notas entre os grupos estudantis semelhantes. A tendência geral observada para todos os grupos estudantis deste ano é de ascensão. Este fato observado pode indicar que, independentemente

do grupo estudantil classificado e das notas observadas em relação a outros anos, os estudantes de 2018 estão conseguindo relacionar seus conhecimentos prévios relevantes as novas tarefas de aprendizagem.

Gráfico 6 - Nota por avaliação e classificação da turma de 2019.



Fonte: Autoria própria.

A turma de 2019, assim como as turmas de 2016 e 2017, apresenta notas da $P1 > P2$. Similarmente as turmas de 2017 e 2018, nesta turma, $P2 < P3$. A turma de 2019 e 2015 apresentam o valor do terceiro quartil similar, em 2015 $Q_3 = 6,5$ e em 2019 $Q_3 = 6,3$. Para o primeiro quartil há uma ligeira, porém, importante diferença: em 2015, $Q_1 = 5,1$ (acima da média) e em 2019 $Q_1 = 4,7$ (abaixo da média). Tal valor significa que em 2019 o grupo de estudantes com desempenho inferior obteve rendimentos próximos à média, mas abaixo do necessário para a aprovação, caracterizando desta forma um maior índice de reprovações. Assim como as demais turmas, a turma de 2019 apresenta **tendências** de notas entre os grupos estudantis semelhantes.

A tendência geral observada para todos os grupos de estudantes deste ano é de ascensão. O observado pode indicar que os estudantes, independente do grupo classificado, estão conseguindo promover a interação entre o conhecimento prévio e o novo conhecimento com maior efetividade. Do ponto de vista da aprendizagem significativa, não levando somente em consideração a aprovação, reprovação e sim a interação entre conhecimento prévio e novo conhecimento, este ano apresenta superioridade em relação ao grupo de 2015, onde os grupos

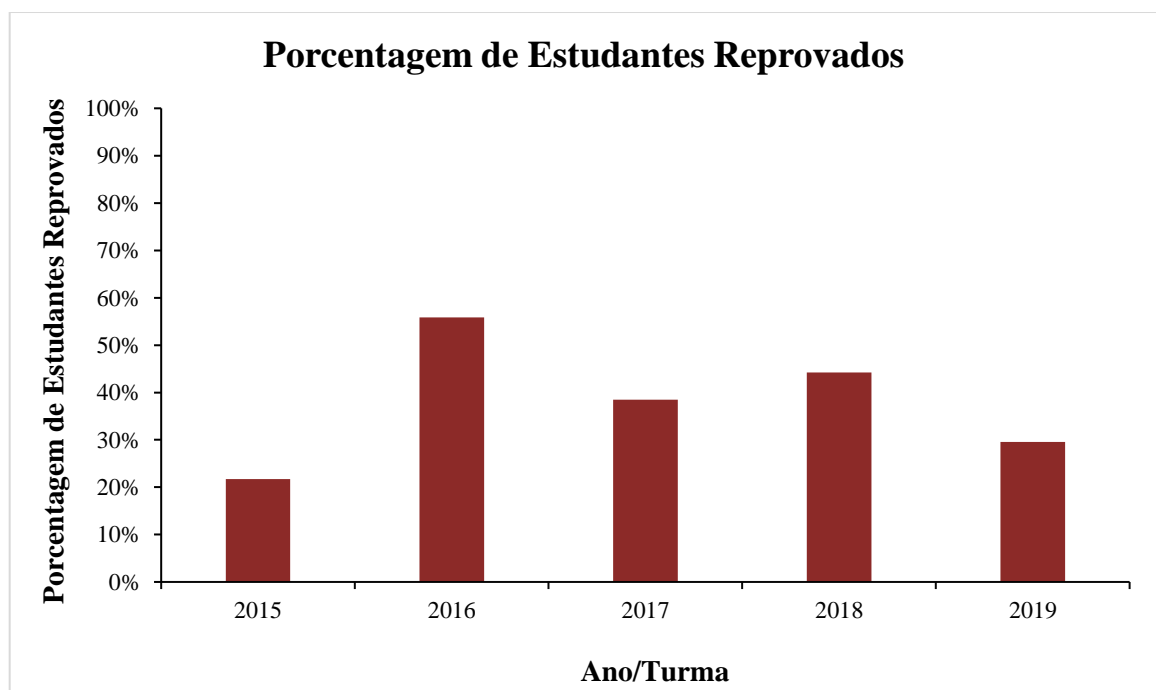
de estudantes reprovados e desempenho inferior apresentam tendência geral de queda, o que pode indicar uma dificuldade em relacionar conhecimentos prévios a novos conhecimentos.

Dado o exposto temos que partindo dos gráficos plotados foi possível concluir que apesar do aproveitamento (nota) em cada grupo de estudantes diferir, a “**tendência**” apresentada pelos diferentes grupos é a mesma, ou seja, todos os grupos de estudantes em cada ano possuem tendência de queda e ascensão de notas similares. Como exposto inicialmente, esperava-se que diferentes tendências de notas pudessem ser um primeiro indicativo de conjunto de conceitos onde a maioria dos estudantes estaria apresentando dificuldades. A presença de um padrão de similaridade no comportamento das notas nos diferentes grupos estudantis indica que análises mais detalhadas e objetivas devam ser realizadas, para que os objetivos propostos fossem atingidos.

5.1.2 Investigação da percentagem de reprovação por turma / ano (2015 a 2019)

Além da investigação das tendências das notas mencionadas anteriormente, considerando a amostra de cada turma / ano, foi calculada a taxa de reprovação (estudantes com taxa de aproveitamento, $TA < 5$) para cada ano.

Gráfico 7 - Percentagem de estudantes reprovados em cada turma/ano.



Fonte: Autoria própria.

De fato, pela análise do gráfico 7 é possível observar que a turma do ano de 2015 foi a que obteve o menor índice de reprovação. Vemos também que 2016, foi o ano com maior índice de reprovação. Considerando que o estilo de avaliação é o mesmo e o grau de dificuldade das questões semelhante, os índices de reprovação do gráfico 7 podem ser indicativos das turmas que não apresentaram conhecimentos prévios relevantes para a aprendizagem de Química Orgânica.

Como a Teoria da Aprendizagem Significativa explicita a importância dos conhecimentos prévios para a aprendizagem, buscou-se investigar o desempenho dos estudantes nos conceitos iniciais da disciplina, pois a tendência entre os grupos pode ser semelhante, mas as Taxas de Aproveitamento (principalmente às iniciais que contêm conceitos que fundamentam a disciplinas) não são. Para tanto deu-se enfoque para a primeira avaliação.

A análise somente da primeira avaliação (P1) de cada ano forneceu um dado interessante e preocupante. Ao considerarmos as primeiras avaliações - P1 de todas as turmas, observou-se que 88% dos estudantes reprovados na disciplina obtiveram nota inferior à média nesta avaliação, enquanto somente 27% dos estudantes aprovados obtiveram nota inferior à média na P1. Ou seja, 88% dos estudantes reprovados já davam indícios de dificuldade na primeira avaliação.

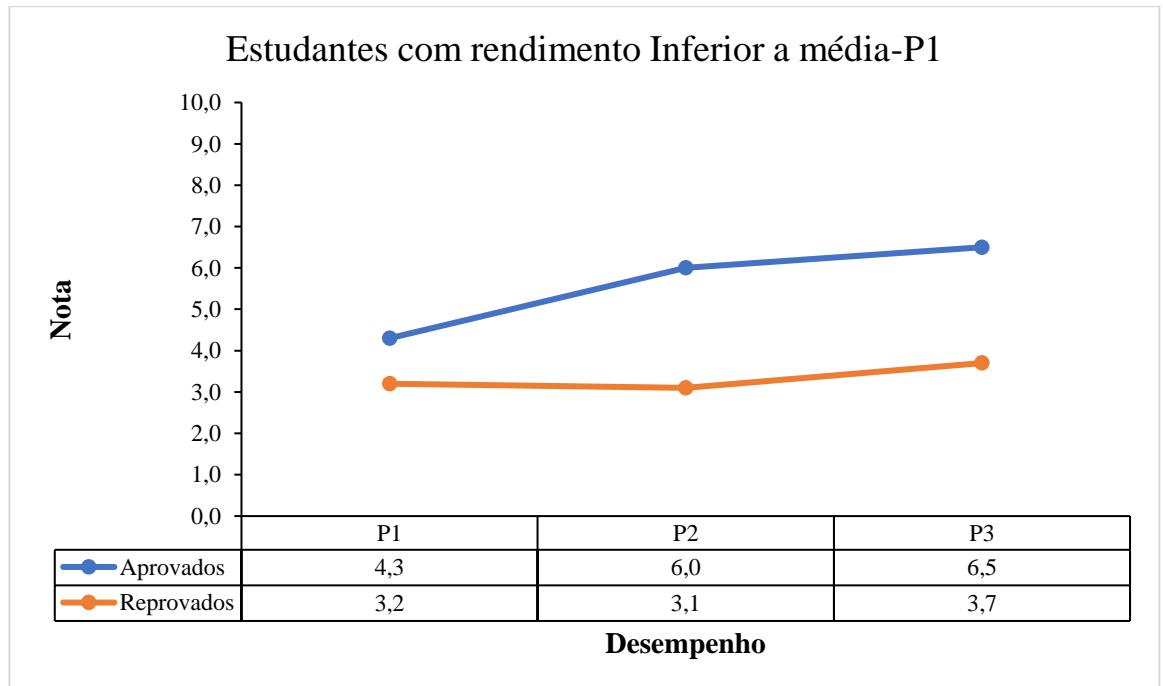
A partir desses dados foi elaborado um gráfico considerando o comportamento de desempenho no percurso da disciplina (P1, P2 e P3) somente desses dois grupos, (estudantes aprovados e reprovados que obtiveram rendimento inferior à média na P1). Tal gráfico ilustra qual o caminho (em relação às taxas de aproveitamento) diferencia estudantes que tiveram um início difícil (abaixo da média) mais que conseguiram se recuperar na disciplina dos que não conseguiram.

A partir da investigação do gráfico 8 abaixo, é possível notar que o grupo de estudantes aprovados manteve sempre desempenho superior em todas as avaliações, inclusive na P1. A diferença percentual média, na primeira avaliação, entre os estudantes que tiveram rendimento inferior à média, mas que passaram na disciplina daqueles que não passaram excede 10%, na segunda avaliação a diferença entre os dois grupos é quase o dobro, e na terceira avaliação 1,76 vezes.

Esses dados permitem duas possíveis explicações, a primeira é a de que esse grupo de estudantes (reprovados) já trazia dúvidas em conceitos anteriores fundamentais ao aprendizado de Química Orgânica. A segunda é a de que este grupo não conseguiu assimilar a demanda de novos conceitos requeridos para o aprendizado da disciplina. Independente da origem, ambas as possibilidades estão associadas e demonstram a importância do conhecimento prévio. A

diferença de aproveitamento inicial pode parecer pouca, porém a identificação de quais conceitos são responsáveis por essa diferença percentual pode significar uma melhor orientação na construção significativa de conhecimentos dos estudantes.

Gráfico 8 - Desempenho de estudantes aprovados e reprovados que obtiveram rendimento inferior à média na P1.



Fonte: Autoria própria.

Desta forma, compreende-se que os dados de Taxa de Aproveitamento são orientadores, e necessários para as investigações posteriores, mas sozinhos não respondem em quais conceitos os estudantes apresentam maior/menor dificuldade, nem como tais dificuldades impactam no aprendizado da disciplina. Para tanto seguimos com as demais etapas de análise.

5.2 Classificação Conceitual

O programa da disciplina apresenta a descrição de 56 conceitos a serem trabalhados (obtidos através da descrição contida no programa da disciplina de Química Orgânica I – Anexo 1) durante o semestre, dos quais 30 foram utilizados para a categorização das questões avaliativas, pois se caracterizam como tema **central** dessas questões.

É importante ressaltar que nenhuma menção em avaliações foi feita aos seis últimos conceitos contidos no programa: Reações de Álcoois, Conversão de Álcoois em Haletos de Alquila, Álcoois a partir de Compostos Carbonílicos, Oxidação de Álcoois, Epóxidos e

Compostos Organometálicos. Contudo, tais temas não deixaram de ser trabalhados, pois foram transferidos para a disciplina de Química Orgânica II. Este fato, que se repetiu ao longo de todos os anos investigados, reforça, como já indicado na introdução teórica, que a Química Orgânica possui muitos conceitos a serem trabalhados em um tempo reduzido.

5.3 Porcentagem de Aproveitamento por Conceito - PAc

A associação entre a categorização conceitual das questões às taxas de aproveitamento permitiu a obtenção da Porcentagem de Aproveitamento Conceitual ou Porcentagem de Aproveitamento por Conceito - PAc. Segue abaixo (tabela 7) os dados estabelecidos através desta associação considerando a categorização da amostra já descrita anteriormente na seção 4.5.1.1. Investigação Complementar.

É importante destacar que as Porcentagens de Aproveitamento por Conceito das reações de Hidrogenação, Hidroalogenação, Halogenação, Hidratação Catalisada por ácido, Oximercuração-Desmercuração, Hidroboração-Oxidação e Adição Oxidativa de Alcenos foram utilizadas para a obtenção da Porcentagem de Aproveitamento por Conceito - PAc das “Reações de Adição”. Também, as das Porcentagens de Aproveitamento dos conceitos - PAc dos conceitos Hidratação Catalisada por Ácido, Oximercuração-Desmercuração, Hidroboração-Oxidação e Adição Oxidativa de Alcenos, reações que levam a formação de álcoois, foram utilizadas para determinar a Porcentagem de Aproveitamento por Conceito - PAc, do conceito de “Síntese de Álcoois a Partir de Alcenos”.

Os dados da PAc (tabela 7) foram expressos graficamente colocando os conceitos trabalhados (eixo x) em ordem hierárquica conceitual de apresentação. Ainda o grupo de estudantes com desempenho superior e inferior expressos graficamente (gráfico 9 a seguir) foram obtidos a partir da união dos valores dos grupos determinados na análise de cada turma/ano investigada(o). Desta forma as características de cada ano/turma são preservadas e assim estes grupos podem ser comparados.

Tabela 7 - Porcentagem de aproveitamento conceitual entre os cinco grupos classificados (continua).

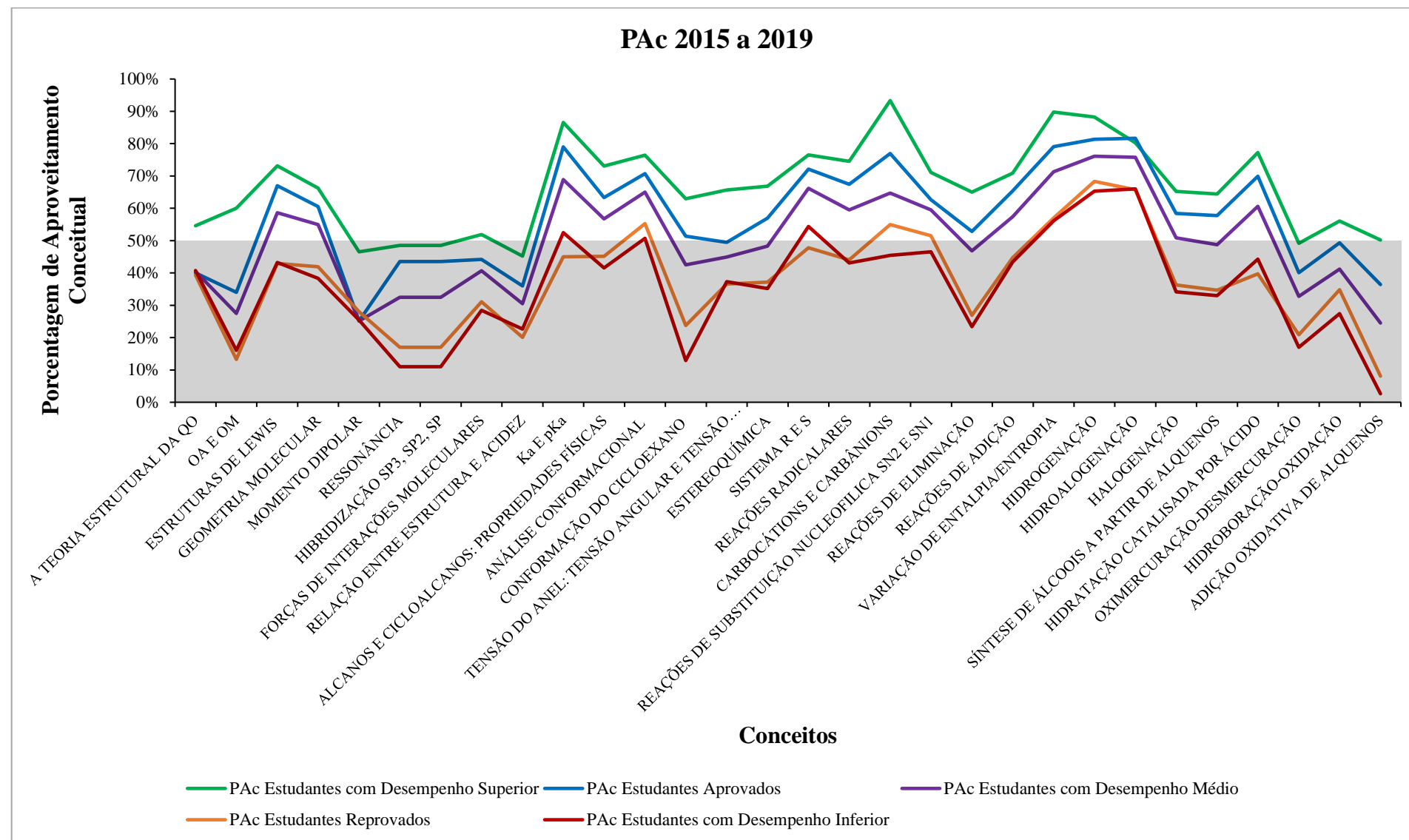
Conceito	PAc Desempenho Superior	PAc Aprovados	PAc Desempenho Médio	PAc Reprovados	PAc Desempenho Inferior
A Teoria Estrutural da Química Orgânica	55%	40%	40%	39%	41%
Orbitais Atômicos e Moleculares	60%	34%	28%	13%	16%
Hibridização sp^3, sp^2 e sp	49%	44%	33%	17%	11%
Estrutura de Lewis + Carga Formal	73%	67%	59%	43%	43%
Geometria Molecular	66%	61%	55%	42%	38%
Momento Dipolar	47%	25%	25%	28%	25%
Estruturas de Ressonância	49%	44%	33%	17%	11%
Força de Interações Moleculares	52%	44%	41%	31%	28%
Relação entre Estrutura e Acidez	45%	36%	30%	20%	23%
A Força de Ácidos e Bases: K_a e pK_a	87%	79%	69%	45%	53%
Alcanos e Cicloalcanos: Propriedades Físicas	73%	63%	57%	45%	42%
Análise Conformacional	76%	71%	65%	55%	51%
Conformações do Cicloexano	63%	51%	42%	24%	13%
Estabilidades Relativas dos Cicloalcanos: Tensão do Anel, Tensão Angular e Tensão Torsional	66%	49%	45%	37%	37%
Estereoquímica	67%	57%	48%	37%	35%
Nomenclatura de Enantiômeros: o Sistema R e S	77%	72%	66%	48%	54%
Reações Radicais	75%	67%	60%	44%	43%
Carbocátions e Carbânions	93%	77%	65%	55%	45%

Tabela 7 - Porcentagem de aproveitamento conceitual entre os cinco grupos classificados (conclusão).

Conceito	PAc Desempenho Superior	PAc Aprovados	PAc Desempenho Médio	PAc Reprovados	PAc Desempenho Inferior
Reações de substituição nucleofílica S_N2 e S_N1	71%	63%	59%	52%	47%
Reações de Eliminação E2 e E1	65%	53%	47%	27%	23%
Reações de Adição	71%	65%	57%	45%	43%
Variação de Entalpia-Entropia	90%	79%	71%	57%	56%
Hidrogenação	88%	81%	76%	68%	65%
Hidroalogenação	80%	82%	76%	66%	66%
Halogenação	65%	58%	51%	36%	34%
Síntese de Álcoois a Partir de Alcenos	64%	58%	49%	35%	33%
Hidratação Catalisada por Ácido	77%	70%	61%	40%	44%
Oximercuração- Desmercuração	49%	40%	33%	21%	17%
Hidroboração-Oxidação	56%	49%	41%	35%	27%
Adição Oxidativa de Alcenos	50%	36%	25%	8%	3%

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 9 - Dados de porcentagem de aproveitamento por conceito - PAc levando-se em consideração toda a amostra.



Fonte: Autoria própria.

A parte sombreada do gráfico 9 ressalta as porcentagens de aproveitamento conceitual igual ou abaixo da média, e através de sua análise e análise da tabela 7 foi possível fazer uma série de comparações, que serão apresentadas a seguir.

5.3.1 Análise de todos os grupos estudantis classificados em relação as Porcentagens de Aproveitamento por Conceito - PAc

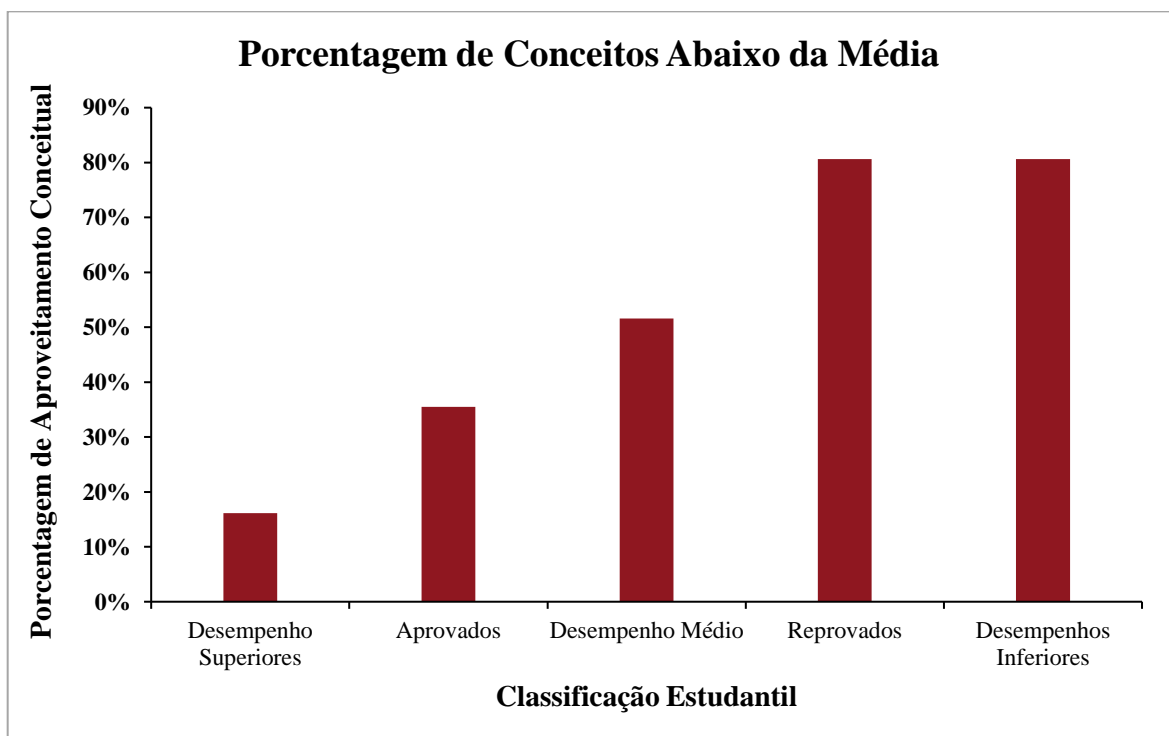
A análise de todas as classificações estudantis promovidas foi efetuada a partir dos valores de Porcentagem de Aproveitamento - PAc expressas no gráfico 9, e da média para a aprovação na disciplina ($Média \geq 5$), foi utilizada como referência. Assim tem-se que: os conceitos onde Porcentagem de Aproveitamento por Conceito - PAc ≤ 5 para todos os grupos estudantis são: “Momento Dipolar”, “Ressonância”, “Hibridização sp^3 , sp^2 e sp ”, “Relação entre Estrutura e Acidez”, “Oximercuração-Desmercuração” e “Adição Oxidativa de Alcenos”. Seguindo a análise temos que os conceitos onde todos os grupos estudantis, exceto o grupo de estudantes com desempenho superior, apresentam Porcentagem de Aproveitamento por Conceito, PAc ≤ 5 são, além dos citados anteriormente: “A Teoria Estrutural da Química Orgânica”, “Orbitais Atômicos (OA) e Orbitais Moleculares (OM)”, “Forças de Interações Moleculares” e “Tensão do Anel: Tensão Angular e Tensão Torsional”. Estes são, portanto conceitos que diferenciam o grupo de estudantes com desempenho superior dos demais grupos de estudantes. Assim, o observado pode indicar que este grupo de estudantes possui uma melhor compreensão (melhor conhecimento prévio) nesses conceitos, que exceto pelo conceito de Oximercuração e Desmercuração fazem parte do conteúdo inicial da disciplina (avaliado na P1).

Ainda, os conceitos onde, exceto o grupo de estudantes com desempenho superior e aprovados, apresentam Porcentagem de Aproveitamento por Conceito, PAc ≤ 5 são, além dos anteriormente citados: “Análise Conformacional”, “Estereoquímica”, “Reações de Eliminação” e “Síntese de Álcoois a partir de Alcenos”. Estes são os conceitos que (em relação à média) diferenciam estudantes com desempenho superior e estudantes aprovados dos estudantes com desempenho médio, estudantes reprovados e estudantes com desempenho inferior. Os conceitos de “Análise Conformacional”, “Estereoquímica”, por exemplo, requerem o domínio de representações e pensamento abstrato (desenvolvimento da competência representacional). (PADALKAR; HEGARTY, 2015). O conceito de “Reações de Eliminação” requer que o estudante promova a reconciliações e diferenciações com o tópico apresentado anteriormente, o tópico de “Reações de Substituição Nucleofílica”.

Além disso, os conceitos em que somente os grupos de estudantes reprovados e estudantes com desempenhos inferiores apresentam Porcentagem de Aproveitamento por Conceito, $P_{Ac} \leq 5$ são: “Estruturas de Lewis”, “Geometria Molecular”, “Alcanos e Cicloalcanos: Propriedades Físicas”, “Reações Radicalares”, “Reações de Adição”, “Halogenação” e “Hidratação Catalisada por Ácido”. Os três primeiros conceitos mencionados (“Estruturas de Lewis”, “Geometria Molecular”, “Alcanos e Cicloalcanos: Propriedades Físicas”) são conhecimentos prévios relevantes para a representação e análise de compostos orgânicos. Os demais conceitos são apresentados ao final da disciplina, portanto, o seu baixo aproveitamento deve apresentar relação com o não estabelecimento de conhecimentos anteriores (conhecimentos prévios necessários à sua aprendizagem).

Os conceitos de “ K_a e pK_a ” e “Sistema *R* e *S*”, são os únicos onde a Porcentagem de Aproveitamento por Conceito - $P_{Ac} \leq 5$ somente para o grupo de estudantes reprovados. Ainda, o conceito de “Carbocátions e Carbânions”, é o único onde a Porcentagem de Aproveitamento por Conceito - $P_{Ac} \leq 5$ somente para o grupo de estudantes com desempenho inferior.

Gráfico 10 - P_{Ac} abaixo da média por classificação estudantil.



Fonte: Autoria própria.

Ao analisarmos a Porcentagem de Aproveitamento por Conceito - P_{Ac} abaixo da média para cada grupo de estudantes (gráfico 10 acima) vemos que para os estudantes **reprovados** e com estudantes com **desempenhos inferiores** essa taxa é de 81%, para os estudantes com

desempenho médio é de 52%, para os estudantes **aprovados** é de 35% e para os estudantes com **desempenhos superiores** 16%, como demonstrado no gráfico 10 acima.

Apesar desses dados analisados começarem a ser significativos, é oportuno relembrar que as questões avaliativas foram classificadas conforme o **tema central** de que tratavam, mas que a resolução de uma única questão requer do estudante o conhecimento prévio não de um, mas de variados conceitos. Assim sendo, é seguro afirmar que um determinado conceito classificatório possui relações que até então não foram investigadas, e entende-se que a exposição dessas relações pode ser reveladora, portanto não devem ser desconsideradas. Desta forma, os motivos das PAC obtidas através da classificação das questões pelo tema central de que tratam devem ser analisados em um contexto que considere sua relação conceitual. Isto posto, análises mais detalhadas utilizando o Método de Mapeamento de Conceitos foram realizadas e serão tratadas na próxima seção.

5.4 Construção do Mapa Conceitual da Disciplina e Associação com a Porcentagem de Aproveitamento por Conceito - PAC

O Mapa Conceitual foi elaborado visando de realizar uma averiguação sistemática dos conceitos pertencentes a disciplina. Por meio desta relevante ferramenta de ensino, as redes proposicionais, relações de subordinação, superordenação, bem como reconciliações integrativas e diferenciações progressivas utilizadas na Teoria da aprendizagem Significativa tornaram-se visíveis e puderam desta maneira serem melhor investigadas. Além disso, tal representação gráfica permitiu que se fizesse a associação entre as PAC obtidas por meio do exame das situações de ensino (avaliações) e os conceitos pertencentes a rede proposicional.

O Mapa Conceitual da disciplina foi elaborado seguindo os critérios descritos na seção 3.3, e está disponível no anexo B e anexo C. A representação do Mapa Conceitual da disciplina traz ao lado dos conceitos descritos na tabela 7 a respectiva PAC associada por grupo estudantil classificado, e responde a seguinte pergunta focal: quais os principais conceitos trabalhados na disciplina de Química Orgânica I e sua relação com os demais conceitos pertencentes a disciplina?

Abaixo está descrita a tabela de clareza proposicional - TCP do Mapa Conceitual elaborado. Cada uma das proposições foi analisada quanto sua clareza semântica e correção conceitual. As colorações atribuídas fazem menção a cada capítulo trabalhado (usando como referência o livro Solomons e Fryhle 10ª edição), e os conceitos destacados em negrito são aqueles pertencentes ao programa da disciplina.

Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (continua).

Conceito Inicial	Termo de Ligação	Conceito Final
Química Orgânica I	estuda dos compostos de	Carbono
Química Orgânica I	estuda as ligações químicas de acordo com a	Regra do Octeto
Química Orgânica I	estuda as ligações químicas de acordo com a	Química Quântica
Química Orgânica I	aborda as	Reações de Equilíbrio Ácido-Base
Química Orgânica I	apresenta os aspectos tridimensionais das moléculas através da	Estereoquímica
Estereoquímica	estuda os	Isômeros
Carbono	está situado no segundo período, família IV da tabela periódica e apresenta	Tetravalência
Tetravalência	faz parte da	Teoria Estrutural da Química Orgânica
Regra do Octeto	é obedecida por átomos do segundo período e pode ser atendida através de	Ligação Iônica
Regra do Octeto	é obedecida por átomos do segundo período e pode ser atendida através de	Ligação(ões) Covalente(s)
Ligações Simples	são	Ligação(ões) Covalente(s)
Ligações Duplas	são	Ligação(ões) Covalente(s)
Ligações Triplas	são	Ligação(ões) Covalente(s)
Ligação(ões) Covalente(s)	podem ser	Ligações Covalentes Polares
Ligação(ões) Covalente(s)	podem ser	Ligações Covalentes Apolares

Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (continuação).

Conceito Inicial	Termo de Ligação	Conceito Final
Ligação(ões) Covalente(s)	ocorre entre átomos com valor semelhante/igual de	Eletronegatividade
Carbono	está situado entre o mínimo e o máximo da escala de	Eletronegatividade
Eletronegatividade	com diferença menor que $\approx 1,7$ e >0 gera	Ligações Covalentes Polares
Ligações Covalentes Polares	podem originar moléculas com	Polaridade
Polaridade	podem originar moléculas com	Momento Dipolar
Momento Dipolar	podem levar a	Forças de Interações Moleculares
Forças de Interações Moleculares	podem resultar de	Interações Dipolo-Dipolo
Forças de Interações Moleculares	podem resultar de	Forças de London
Forças de Interações Moleculares	podem resultar de	Ligações de Hidrogênio
Moléculas Orgânicas	interagem entre si através de	Forças de Interações Moleculares
Polaridade	das moléculas depende da	Geometria molecular
Química Quântica	estabelece que elétrons possuem energia definida por correspondentes	Funções de Onda (ψ)
Funções de Onda (ψ)	possibilitam calcular a	Probabilidade ψ^2
Probabilidade ψ^2	define a densidade eletrônica dos	Orbitais Atômicos
Orbitais Atômicos	s e p podem gerar	Orbitais Atômicos Híbridos sp^3
Orbitais Atômicos	s e p podem gerar	Orbitais Atômicos Híbridos sp^2
Orbitais Atômicos	s e p podem gerar	Orbitais Atômicos Híbridos sp

Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (continuação).

Conceito Inicial	Termo de Ligação	Conceito Final
Orbitais Atômicos Híbridos sp^2 e sp	coexistem com	Orbitais p Puros
Orbitais Atômicos	podem originar	Orbitais Moleculares
Orbitais Moleculares	definem a	Geometria Molecular
Probabilidade ψ^2	define a densidade eletrônica dos	Orbitais Moleculares
Orbitais Atômicos	quando interagem frontalmente resultam em	Ligações σ
Orbitais Atômicos Híbridos sp^3	quando interagem frontalmente resultam em	Ligações σ
Orbitais Atômicos Híbridos sp^2	quando interagem frontalmente resultam em	Ligações σ
Orbitais Atômicos Híbridos sp	quando interagem frontalmente resultam em	Ligações σ
Ligações σ	isoladamente, constituem	Ligações Simples
Ligações Simples	são as únicas presentes em	Alcanos
Ligações Simples	são as únicas presentes em	Cicloalcanos
Química Orgânica I	emprega a representação das moléculas orgânicas através de	Fórmula(s) Molecular(es)
Química Orgânica I	emprega a representação das moléculas orgânicas através de	representação das fórmulas estruturais
Representação das Fórmulas Estruturais	pode se dar através das	Fórmulas de Projeção de Fischer
Representação das Fórmulas Estruturais	pode se dar através das	Fórmulas de Projeção de Newman
Representação das Fórmulas Estruturais	pode se dar através das	Fórmulas Condensadas
Representação das Fórmulas Estruturais	pode se dar através das	Estruturas em Bastão
Representação das Fórmulas Estruturais	pode se dar através das	Modelos de Bola e Vareta

Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (continuação).

Conceito Inicial	Termo de Ligação	Conceito Final	
Representação das Fórmulas Estruturais	pode se dar através das	Estruturas de Lewis	
Estruturas de Lewis	podem conter	estruturas de ressonância	
Estruturas de Ressonância	podem ser usadas para demonstrar a	Deslocalização da Carga	
Estruturas de Lewis	permitem o cálculo da	Carga formal	
Estruturas de Lewis	são necessárias para a aplicação da	Teoria RPECV	
Teoria RPECV	é utilizada para prever a	Geometria Molecular	
Estruturas em Bastão	inclui a	Representação em Cavalete	
Carbono	e hidrogênio são os únicos átomos presentes nos	Hidrocarbonetos	
Alcanos	constituem a classe dos	Hidrocarbonetos	
Cicloalcanos	constituem a classe dos	Hidrocarbonetos	
Alcenos	constituem a classe dos	Hidrocarbonetos	
Alcinos	constituem a classe dos	Hidrocarbonetos	
Cicloalcanos	podem constituir famílias chamadas de	Séries homólogas	
Alcanos	podem constituir famílias chamadas de	Séries homólogas	
Séries homólogas	apresentam variação regular de	propriedades físicas	
Orbitas p Puros	podem combinar-se lateralmente originando	Ligações π	
Ligações π	Ligações σ	em associação geram	Ligações Duplas
Ligações π	Ligações σ	em associação geram	Ligações Triplas
Ligações Duplas	representa o grupo funcional dos	Alcenos	
Ligações Triplas	representa o grupo funcional dos	Alcinos	
Reações de Hidrogenação	são utilizadas como referência para o cálculo de	Índice de Deficiência de Hidrogênio	
Alcanos	reagem através de	Reações Radicalares	
Ligações σ	permitem	Livre Rotação	

Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (continuação).

Conceito Inicial	Termo de Ligação	Conceito Final
Livre Rotação	origina diferentes estruturas temporárias denominadas de	Confôrmeros
Livre rotação	está sujeita a uma barreira de energia provocada pela	Tensão Torsional
Tensão Torsional	é consequência de interações por	Hiperconjugação
Tensão Torsional	é consequência de interações por	Impedimento Estérico
Tensão Torsional	causa variações de energia potencial avaliadas por meio da	Análise Conformacional
Análise Conformacional	pode ser representada através de um	Diagrama de Energia Potencial
Análise Conformacional	pode ser exemplificada através da	Análise Conformacional do Butano
Análise Conformacional do Butano	demonstra a conformação	Eclipsada
Análise Conformacional do Butano	demonstra a conformação	Gauche
Análise Conformacional do Butano	demonstra a conformação	Anti
Análise Conformacional	faz uso da	Fórmula de Projeção de Newman
Análise Conformacional	faz uso da	Representação em Cavalete
Cicloalcanos	incluem o	Cicloexano
Cicloalcanos	possuem diferentes estabilidades relativas causadas pela	Tensão do Anel
Estabilidades relativas	são causadas pela	Tensão do Anel

Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (continuação).

Conceito Inicial	Termo de Ligação	Conceito Final
Tensão do anel	inclui a	Tensão Torsional
Tensão do anel	inclui a	Tensão Angular
Cicloexano	apresenta a	Conformação Cadeira
Cicloexano	apresenta a	Conformação Meia Cadeira
Cicloexano	apresenta a	Conformação Barco Torcido
Cicloexano	apresenta a	Conformação Barco
Conformação Cadeira	apresenta	Posições Equatoriais
Conformação Cadeira	apresenta	Posições Axiais
Posições Equatoriais	são mais estáveis que	Posições Axiais
Conformação Cadeira	é livre de	Tensão do Anel
Isômeros	são compostos diferentes que apresentam a mesma	Fórmula Molecular
Isômeros	que apresentam diferentes conectividades são denominados de	Isômeros Constitucionais
Isômeros	com mesma conectividade, mas diferentes arranjos espaciais são denominados de	Estereoisômeros
Estereoisômeros	incluem a	isomeria cis - trans
Estereoisômeros	cujas moléculas são imagens especulares não sobreponíveis entre si são	Enantiômeros
Estereoisômeros	cujas moléculas não são imagens especulares entre si são	Diastereoisômeros
Enantiômeros	são nomeados e distinguidos através do	Sistema R e S
Enantiômeros	em iguais proporções constituem uma	Mistura Racêmica
Enantiômeros	podem ser distinguidos através da sua	Atividade Óptica
Enantiômeros	ocorrem apenas em	Moléculas Quirais

Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (continuação).

Conceito Inicial	Termo de Ligação	Conceito Final
Moléculas Quirais	são aquelas que apresentam um	Centro de Quiralidade
Centro de Quiralidade	podem ocorrer mais de uma vez, caracterizando	Moléculas com Mais de um Centro Estereogênico
Moléculas com Mais de um Centro Estereogênico	podem originar	Compostos Meso
Compostos Meso	apresentam	Plano de Simetria
Compostos Meso	não apresentam	Atividade Óptica
Moléculas Quirais	não apresentam	Plano de Simetria
Moléculas Quirais	apresentam	Atividade Óptica
Moléculas com Mais de um Centro Estereogênico	podem ser representadas por	Fórmulas de Projeção de Fischer
Reações de Equilíbrio Ácido-Base	ocorrem entre moléculas que podem atuar como	Ácidos
Reações de Equilíbrio Ácido-Base	ocorrem entre moléculas que podem atuar como	Bases
Ácidos	podem ser definidos como	Ácido(s) de Lewis
Ácidos	podem ser definidos como	Ácido(s) de Bronsted Lowry
Ácido(s) de Lewis	abrangem a definição de	Ácido(s) de Bronsted Lowry
Ácido(s) de Lewis	quando reage com o carbono se comporta como	Eletrófilo(s)
Ácido(s) de Lewis	tem sua força caracterizada pela(o)	Constante de Acidez- K_a
Ácido(s) de Lewis	tem sua força caracterizada pela(o)	pK_a
Ácido(s) de Bronsted Lowry	tem sua força caracterizada pela(o)	Constante de Acidez- K_a

Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (continuação).

Conceito Inicial	Termo de Ligação	Conceito Final
Ácido(s) de Bronsted Lowry	tem sua força caracterizada pela(o)	pKa
Constante de Acidez- Ka	pode ser expressa pelo correspondente	pKa
Ácido(s) de Bronsted Lowry	reage(m) doando um próton produzindo uma	Base Conjugada
Base Conjugada	pode ser estabilizada através da(s)	deslocalização da carga
Base Conjugada	pode ser estabilizada através da(s)	Estruturas de Ressonância
Deslocalização da Carga	pode ocorrer através de	Efeito Indutivo
Deslocalização da Carga	permite o estabelecimento da	Relação entre Estrutura e Acidez
Bases	podem ser definidas como	Base(s) de Lewis
Bases	podem ser definidas como	Base(s) de Bronsted Lowry
Base(s) de Lewis	abrangem a definição de	Base(s) de Bronsted Lowry
Base(s) de Bronsted Lowry	reage(m) recebendo um próton produzindo um	Ácido Conjugado
Bases(s) de Lewis	quando reage(m) com o carbono se comportam como	Nucleófilo(s)
Alcinos	apresentam hidrogênios fracamente	Ácido(s)
Ligação Covalente	pode sofrer uma quebra heterolítica denominada de	Heterólise de Ligação
Ligação Covalente	pode sofrer uma quebra homolítica denominada de	Homólise de ligação
Homólise de ligação	leva a formação de	Radicais

Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (continuação).

Conceito Inicial	Termo de Ligação	Conceito Final
Heterólise de Ligação	envolvendo o átomo de carbono pode levar a formação de	Carbocátion
Heterólise de Ligação	envolvendo o átomo de carbono pode levar a formação de	Carbânions
Carbocátions	comportam-se como	Ácidos de Lewis
Carbocátions	comportam-se como	Eletrófilos
Carbânions	comportam-se como	Bases de Lewis
Carbânions	comportam-se como	Nucleófilos
Carbocátions	podem apresentar estabilização devida a	Hiperconjugação
Carbocátions	podem apresentar estabilização devida a	Efeito Indutivo
Carbocátions	podem sofrer	Rearranjos
Moléculas Orgânicas	podem ser classificadas em diferentes	Grupos Funcionais
Grupos Funcionais	estudados em Química Orgânica I incluem os	Haleto de Alquila
Grupos Funcionais	estudados em Química Orgânica I incluem os	Alcenos
Grupos Funcionais	estudados em Química Orgânica I incluem os	Alcinos
Grupos Funcionais	estudados em Química Orgânica I incluem os	Álcoois
Haleto de Alquila	dão origem as	Reações de Haleto de Alquila
Reações de Haleto de Alquila	são	Reações de Substituição Nucleofílica
Reações de Substituição Nucleofílica	podem ocorrer via	Mecanismo de Reação S _N 2

Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (continuação).

Conceito Inicial	Termo de Ligação	Conceito Final
Reações de Substituição Nucleofílica	podem ocorrer via	Mecanismo de Reação S_N1
Reações de Substituição Nucleofílica	envolvem a participação de	Nucleófilos
Reações de Substituição Nucleofílica	envolvem a participação de	Grupo de Saída
Mecanismo de Reação S_N2	ocorre com	Inversão de Configuração
Inversão de Configuração	pode modificar a	Estereoquímica
Mecanismo de Reação S_N2	apresenta cinética de reação de	Segunda Ordem
Mecanismo de Reação S_N2	apresenta mecanismo de reação	Concertado
Mecanismo de Reação S_N1	pode gerar como produtos	Mistura Racêmica
Mecanismo de Reação S_N1	apresenta cinética de reação	Primeira Ordem
Mecanismo de Reação S_N1	ocorre via formação de intermediário	Carbocátion
Reações de Substituição Nucleofílica	são reações que competem com as	Reações de Eliminação
Reações de Eliminação	podem levar a síntese de	Alcenos
Reações de Eliminação	podem levar a síntese de	Alcinos

Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (continuação).

Conceito Inicial	Termo de Ligação	Conceito Final
Reações de Haletos de Alquila	são	Reações de Eliminação
Reações de Eliminação	podem ocorrer via	Mecanismo de Reação E2
Reações de Eliminação	podem ocorrer via	Mecanismo de reação E1
Mecanismo de Reação E2	apresenta mecanismo de reação	Concertado
Mecanismo de Reação E2	necessita de orientação	Coplanar
Mecanismo de Reação E2	apresenta cinética de reação de	Segunda Ordem
Mecanismo de Reação E1	ocorre via formação de	Carbocátion
Mecanismo de Reação E1	apresenta cinética de reação de	Primeira Ordem
Alcenos	diastereoisômeros tri ou tetra substituídos podem ser classificados através do	Sistema E-Z
Alcenos	que são diastereoisômeros e dissustituídos são diferenciados através da	Isomeria Cis e Trans
Alcenos	apresentam diferentes	Estabilidades Relativas
Estabilidades Relativas	podem ser avaliadas quantitativamente através da	Entalpia de Reação
Entalpia de Reação	inclui o	Calor de Hidrogenação
Entalpia de Reação	inclui o	Calor de Combustão

Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (continuação).

Conceito Inicial	Termo de Ligação	Conceito Final
Alcenos	dão origem as	Reações de Adição de Alcenos e Alcinos
Alcinos	dão origem as	Reações de Adição de Alcenos e Alcinos
Reações de Adição de Alcenos e Alcinos	incluem a	Reações de Hidrogenação
Reações de Hidrogenação	ocorrem via	Mecanismo de Reação de Hidrogenação
Reações de Adição de Alcenos e Alcinos	incluem a	Reação de Hidroalogenação
Reações de Hidroalogenação	ocorrem via	Mecanismo de Reação de Hidroalogenação
Reações de Adição de Alcenos e Alcinos	incluem a	Reação de Hidratação Catalisada por Ácido
Reação de Hidratação Catalisada por Ácido	ocorre via	Mecanismo de Reação de Hidratação Catalisada por Ácido
Reações de Adição de Alcenos e Alcinos	incluem a	Reação de Hidroboração-Oxidação
Reação de Hidroboração-Oxidação	ocorre via	Mecanismo de Reação de Hidroboração-Oxidação
Reações de Adição de Alcenos e Alcinos	incluem a	Reação de Oximercuração-Desmercuração
Reação de Oximercuração-Desmercuração	ocorre via	Mecanismo de Oximercuração-Desmercuração

Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (continuação).

Conceito Inicial	Termo de Ligação	Conceito Final
Reações de Adição de Alcenos e Alcinos	incluem a	Reação de Halogenação
Reação de Halogenação	ocorre via	Mecanismo de Reação de Halogenação
Reações de Adição de Alcenos e Alcinos	incluem a	Reação de Adição Oxidativa de Alcenos
Reação de Adição Oxidativa de Alcenos	ocorre via	Mecanismo de Reação de Adição Oxidativa de Alcenos
Mecanismo de reação de hidrologenação	apresenta regioquímica	Markovnikov
Mecanismo de Reação de Hidrologenação	leva a formação de	Haletos de Alquila
Mecanismo de Reação de Hidrologenação	pode levar a formação de	Enantiômeros
Mecanismo de Hidratação Catalisada por Ácido	ocorre via formação de intermediário	Carbocátion
Mecanismo de Hidratação Catalisada por Ácido	leva a formação de	Álcoois
Mecanismo de Hidratação Catalisada por Ácido	apresenta regioquímica	Markovnikov
Mecanismo de Hidratação Catalisada por Ácido	pode levar a formação de	Enantiômeros
Mecanismo de Hidroboração - Oxidação	ocorre via formação de	Estados de Transição Cíclicos

Quadro 4 - Tabela de Clareza Proposicional do Mapa Conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado (conclusão).

Conceito Inicial	Termo de Ligação	Conceito Final
Estados de Transição Cíclicos	obtidos a partir da hidroboração levam a	Alquilboranos
Alquilboranos	reagem com H ₂ O ₂ em meio básico para formar	Álcoois
Mecanismo de Reação de Hidroboração - Oxidação	apresenta regioquímica anti-	Markovnikov
Mecanismo de Reação de Hidroboração - Oxidação	pode levar a formação de	Enantiômeros
Mecanismo de Reação de Hidroboração - Oxidação	representa uma adição	Sin
Mecanismo de Reação de Oximercuração-Desmercuration	ocorre via formação de	Intermediários Cíclicos Carregados
Intermediários Cíclicos Carregados	podem ser exemplificados pela formação de	Hidroxialquilmercúrio

Fonte: Autoria própria.

5.5 Construção do Grafo

A associação entre a PAc obtida por meio do exame das situações de ensino (avaliações) e os conceitos pertencentes a rede proposicional (Mapa Conceitual) permitiu que investigássemos a relação dos valores obtidos da Porcentagem de Aproveitamento por Conceito - PAc e os demais conceitos contidos na disciplina. Poderíamos investigar, por exemplo, a qual(is) conceito(s) um determinado conceito onde $PAc \leq 5$ está subordinado e qual(is) conceito(s) ele subordina, buscando entender desta forma qual(is) os conhecimentos prévios necessários ao seu aprendizado bem como ao aprendizado de qual(is) conceitos ele é um conhecimento prévio relevante. Porém, um dos objetivos desta pesquisa é a investigação da propagação das dificuldades estudantis na disciplina de Química Orgânica I e para isso não era

o suficiente entender somente a relação entre as PAc obtidas com os demais conceitos disciplinares, para tal objetivo era necessário atribuir valores ao maior número de conceitos possíveis pertencente ao Mapa Conceitual da disciplina.

Desta forma, para se investigar a propagação dos desempenhos estudantis é que se propõe o cálculo de Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc. Os cálculos propostos não estão previstos no Método do Mapeamento de Conceitos, além disso, esse método apresenta critérios rigorosos de elaboração, como, por exemplo, a obrigatoriedade da existência dos termos de ligações, por essas razões optou-se pelo uso do grafo que, como já anteriormente mencionado, é uma ferramenta de representação gráfica que se ajusta aos propósitos desta pesquisa e serviu de base para os cálculos que se propõe sem que houvesse a descaracterização do Método de Mapeamento de Conceitos.

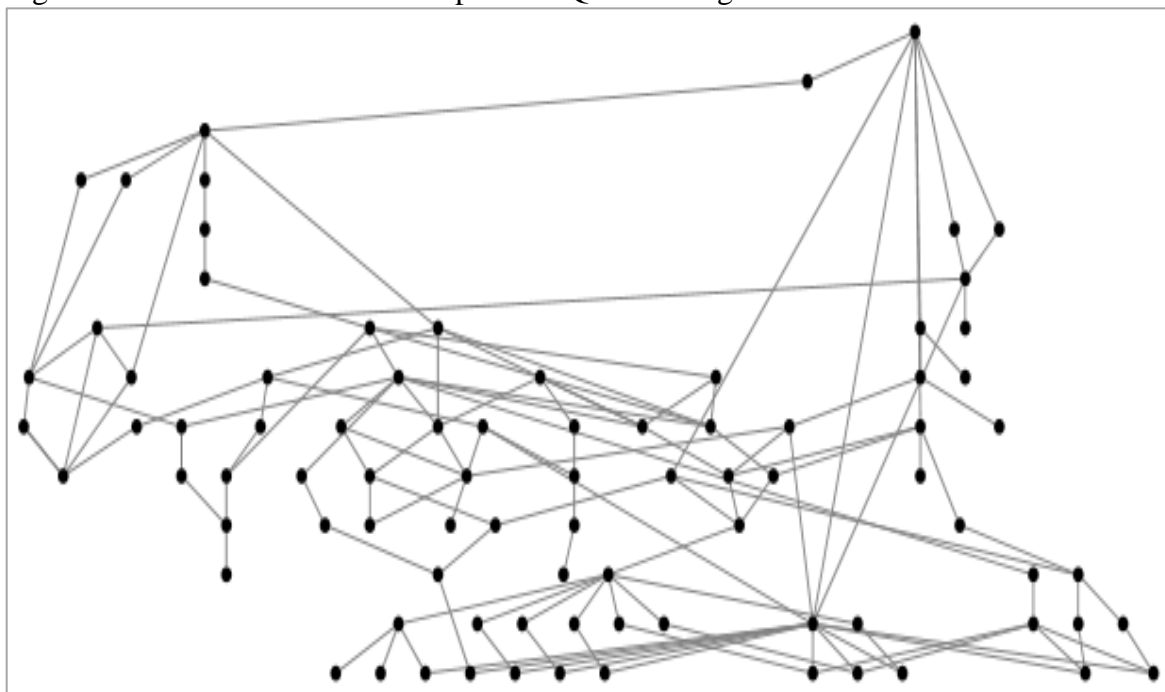
O grafo é uma representação gráfica mais simplificada e sua utilização permitiu que se escolhesse o tipo de relação que desejamos investigar (seção 4.5.6), podendo essa relação estabelecida ser mais direta. Desta maneira, para sua elaboração foram estabelecidas relações entre *Conceito(s) Estruturante(s)* e *Conceito(s) Estruturado(s)*, ou seja, quais os conceitos necessários (*Conceito(s) Estruturante(s)*) para o aprendizado dos conceitos seguintes apresentados na disciplina (*Conceito(s) Estruturado(s)*). Tais relações estabelecidas estão descritas no quadro 5 abaixo.

Neste ponto do trabalho algumas considerações são necessárias. A perspectiva defendida por esta pesquisa é a de que o conceito denominado de *Conceito Estruturante* do ponto de vista teórico é um conhecimento prévio, e deste modo importante, necessário e fundamental a aprendizagem do *Conceito Estruturado* (a ele subordinado). Porém, do ponto de vista pessoal o *Conceito Estruturante* só passará a ser um conhecimento prévio quando de fato este conhecimento se consolida, e por este motivo entende-se que este fator depende da predisposição do estudante em relacionar seu conhecimento prévio a um novo conhecimento significativamente. Contudo, tendo em vista que o Mapa Conceitual foi elaborado com a ajuda de um especialista da disciplina, seguiremos o ponto de vista teórico, pois as relações proposicionais foram estabelecidas com a intenção de estabelecermos uma hierarquia de conhecimentos prévios.

Para a permanência da hierarquia na representação do grafo foi utilizado o *Layout* denominado de Sugiyama (seção 3.4.1). O Algoritmo de Sugiyama é utilizado para a representação de estruturas Hierárquicas. A representação obtida desta forma é constituída de 85 nós (análogos aos conceitos no Mapa Conceitual) e 134 arestas (análogas às ligações do

Mapa Conceitual). A representação da figura 7 abaixo expressa de forma pictórica a complexidade das relações existentes na disciplina de Química Orgânica I.

Figura 7 - Grafo elaborado da disciplina de Química Orgânica I.



Fonte: Autoria própria.

Quadro 5 - Relação entre *Conceitos Estruturantes* e *Conceitos Estruturados* (continua).

Conceito Estruturante	Conceito Estruturado
Moléculas Orgânicas	Carbono
Carbono	Configuração Eletrônica
Configuração Eletrônica	Energia de Ionização
Configuração Eletrônica	Afinidade Eletrônica
Configuração Eletrônica	Raio Atômico
Energia de Ionização	Eletronegatividade
Afinidade Eletrônica	Eletronegatividade
Configuração Eletrônica	Regra do Octeto
Regra do Octeto	Ligações Simples
Regra do Octeto	Ligações Duplas
Regra do Octeto	Ligações Triplas
Configuração Eletrônica	Química Quântica
Química Quântica	Orbitais Atômicos

Quadro 5 - Relação entre *Conceitos Estruturantes* e *Conceitos Estruturados* (continuação).

Conceito Estruturante	Conceito Estruturado
Orbitais Atômicos	Orbitais Atômicos híbridos sp^3 , sp^2 e sp
Orbitais Atômicos híbridos sp^3 , sp^2 e sp	Orbitais Moleculares
Orbitais Moleculares	Ligações Covalentes
Orbitais Moleculares	Ligação σ
Orbitais Moleculares	Ligação π
Ligação σ	Ligações Simples
Ligação σ	Ligações Duplas
Ligação π	Ligações Duplas
Ligação σ	Ligações Triplas
Ligação π	Ligações Triplas
Ligação σ	Livre Rotação
Orbitais Moleculares	Geometria Molecular
Livre Rotação	Confôrmeros
Representação das Fórmulas Estruturais	Confôrmeros
Confôrmeros	Análise conformacional
Análise conformacional	Conformações do Cicloexano
Ligações Simples	Cicloalcanos
Representação das Fórmulas Estruturais	Cicloalcanos
Cicloalcanos	Tensão do Anel: Tensão Angular e Tensão Torsional
Estereoquímica	Cicloalcanos
Cicloalcanos	Série Homóloga
Alcanos	Série Homóloga
Ligações Covalentes Apolares	Alcanos
Ligações Covalentes Apolares	Cicloalcanos
Ligações Simples	Alcanos
Alcanos	Reações de Alcanos
Reações de Alcanos	Reações Radicalares
Reações Radicalares	Mecanismo de Reação Radicalar
Reações de Compostos Orgânicos	Reações de Alcanos
Ligações Duplas	Alcenos

Quadro 5 - Relação entre *Conceitos Estruturantes* e *Conceitos Estruturados* (continuação).

Conceito Estruturante	Conceito Estruturado
Ligações Triplas	Alcinos
Ligações Covalentes	Ligações Simples
Ligações Covalentes	Ligações Duplas
Ligações Covalentes	Ligações Triplas
Ligações Covalentes	Ligações Covalentes Polares
Ligações Covalentes	Ligações Covalentes Apolares
Eletronegatividade	Ligações Covalentes Polares
Ligações Covalentes Polares	Polaridade
Polaridade	Momento Dipolar
Momento Dipolar	Forças de Interações Moleculares
Regra do Octeto	Estruturas de Lewis + Carga Formal
Estruturas de Lewis + Carga Formal	Estruturas de Ressonância
Estruturas de Lewis + Carga Formal	RPECV
Estruturas de Lewis + Carga Formal	Representação das Fórmulas Estruturais
RPECV	Geometria Molecular
Geometria Molecular	Momento Dipolar
Representação das Fórmulas Estruturais	Mecanismos de Reação
Moléculas Orgânicas	Grupos Funcionais
Grupos Funcionais	Alcinos
Grupos Funcionais	Alcinos
Grupos Funcionais	Haleto de Alquila
Grupos Funcionais	Álcoois
Ligações Covalentes	Heterólise de Ligação
Ligações Covalentes	Homólise de Ligação
Heterólise de Ligação	Carbocátions e Carbânions
Carbocátions e Carbânions	Mecanismos de Reação S _N 2 e S _N 1
Carbocátions e Carbânions	Mecanismos de Reações E2 e E1
Carbocátions e Carbânions	Mecanismo de Reação de Hidroalogenação
Carbocátions e Carbânions	Mecanismo de Reação de Hidratação Catalisada por Ácido
Homólise de Ligação	Radicais

Quadro 5 - Relação entre *Conceitos Estruturantes* e *Conceitos Estruturados* (continuação).

Conceito Estruturante	Conceito Estruturado
Radicais	Reações Radicalares
Moléculas Orgânicas	Ácidos
Moléculas Orgânicas	Bases
Ácidos	Reações de Equilíbrio Ácido-Base
Bases	Reações de Equilíbrio Ácido-Base
Reações de Equilíbrio Ácido-Base	Mecanismos de Reação
Reações de Equilíbrio Ácido-Base	Ka-pKa
Reações de Equilíbrio Ácido-Base	Relação entre Estrutura e Acidez
Relação entre Estrutura e Acidez	Raio Atômico
Relação entre Estrutura e Acidez	Eletronegatividade
Relação entre Estrutura e Acidez	Deslocalização da Carga
Efeito Indutivo	Deslocalização da Carga
Estruturas de Ressonância	Deslocalização da Carga
Eletronegatividade	Efeito Indutivo
Efeito Indutivo	Deslocalização da Carga
Raio Atômico	Deslocalização da Carga
Moléculas Orgânicas	Isômeros
Isômeros	Isômeros Constitucionais
Isômeros	Estereoisômeros
Estereoisômeros	Estereoquímica
Estereoisômeros	Sistema R e S
Estereoquímica	Mecanismos de Reação
Moléculas Orgânicas	Mecanismos de Reação
Moléculas Orgânicas	Reações de Compostos Orgânicos
Reações de Compostos Orgânicos	Reações de Haleto de Alquila
Haleto de Alquila	Reações de Haleto de Alquila
Reações de Haleto de Alquila	Reações de Substituição Nucleofílica
Reações de Substituição Nucleofílica	Mecanismos de Reação S _N 2 e S _N 1
Reações de Haleto de Alquila	Reações de Eliminação
Reações de Eliminação	Mecanismos de Reações E2 e E1
Reações de Compostos Orgânicos	Reações de Alcenos e Alcinos

Quadro 5 - Relação entre *Conceitos Estruturantes* e *Conceitos Estruturados* (continuação).

Conceito Estruturante	Conceito Estruturado
Estereoquímica	Alcenos
Alcenos	Reações de Alcenos e Alcinos
Alcinos	Reações de Alcenos e Alcinos
Reações de Alcenos e Alcinos	Reações de Adição de Alcenos e Alcinos
Reações de Adição de Alcenos e Alcinos	Reações de Hidrogenação
Reações de Hidrogenação	Mecanismo de Reação de Hidrogenação
Reações de Hidrogenação	Índice de Deficiência de Hidrogênio
Reações de Hidrogenação	Calor de Hidrogenação
Reações de Adição de Alcenos e Alcinos	Reação de Hidroalogenação
Reação de Hidroalogenação	Mecanismo de Reação de Hidroalogenação
Reações de Adição de Alcenos e Alcinos	Reação de Hidratação Catalisada por Ácido
Reação de Hidratação Catalisada por Ácido	Mecanismo de Reação de Hidratação Catalisada por Ácido
Reações de Adição de Alcenos e Alcinos	Reação de Oximercuração-Desmercuração
Reação de Oximercuração-Desmercuração	Mecanismo de Reação de Oximercuração-Desmercuração
Reações de Adição de Alcenos e Alcinos	Reação de Hidroboração-Oxidação
Reação de Hidroboração-Oxidação	Mecanismo de Reação de Hidroboração-Oxidação
Reações de Adição de Alcenos e Alcinos	Reação de Halogenação
Reação de Halogenação	Mecanismo de Reação de Halogenação
Reações de Adição de Alcenos e Alcinos	Reação de Adição Oxidativa
Reação de Adição Oxidativa	Mecanismo de Reação de Adição Oxidativa de Alcenos
Mecanismos de Reação	Mecanismo de Reação Radicalar
Mecanismos de Reação	Mecanismos de Reação S _N 2 e S _N 1
Mecanismos de Reação	Mecanismos de Reações E2 e E1
Mecanismos de Reação	Mecanismo de Reação de Hidrogenação
Mecanismos de Reação	Mecanismo de Reação de Hidroalogenação
Mecanismos de Reação	Mecanismo de Reação de Hidratação Catalisada por Ácido

Quadro 5 - Relação entre *Conceitos Estruturantes* e *Conceitos Estruturados* (conclusão).

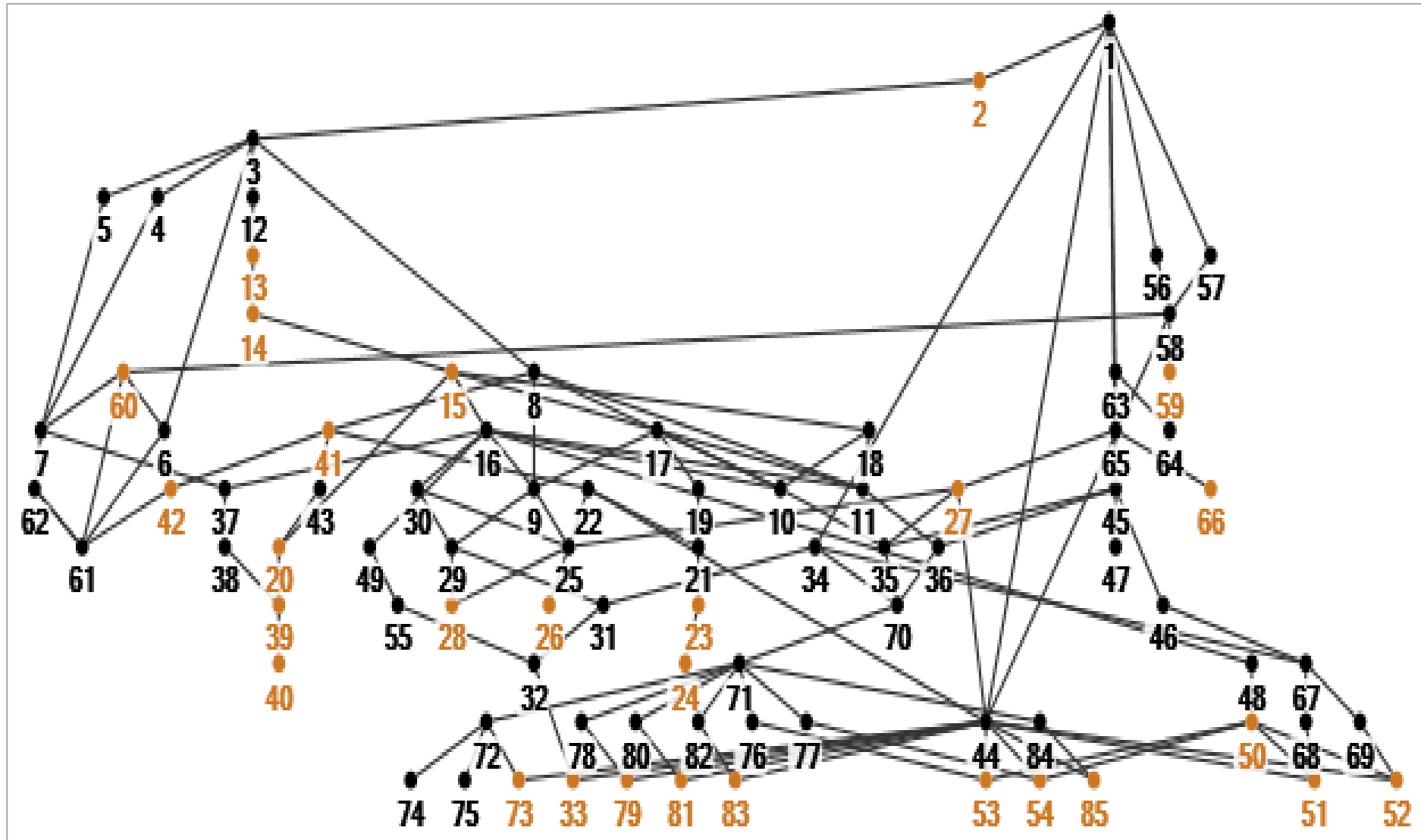
Conceito Estruturante	Conceito Estruturado
Mecanismos de Reação	Mecanismo de Reação de Oximercuração-Desmercuração
Mecanismos de Reação	Mecanismo de Reação de Hidroboração-Oxidação
Mecanismos de Reação	Mecanismo de Reação de Halogenação
Mecanismos de Reação	Mecanismo de Reação de Adição Oxidativa de Alcenos

Fonte: Autoria própria

Como no grafo as relações estabelecidas podem ser diretas, alguns conceitos foram subordinados a conceitos gerais; por exemplo, os conceitos de “Representação das Fórmulas Estruturais” incluem os conceitos de “Fórmulas de Projeção de Newman”, “Fórmulas de Projeção de Fischer”, “Estruturas em Bastão” e “Modelos de Bola e Vareta”. Também, ao conceito de “Estereoquímica” estão subordinados os conceitos de “Diastereoisômeros”, “Enantiômeros”, “Isomeria cis - trans”, “Mistura Racêmica”, “Atividade Óptica”, “Moléculas Quirais”, “Centro de Quiralidade”, “Plano de Simetria”, “Moléculas Com Mais de Um Centro Estereogênico” e “Compostos Meso”. Por fim, o conceito de “Reações de Equilíbrio Ácido-base” inclui os conceitos de “Ácido de Bronsted-Lowry”, “Base de Bronsted-Lowry”, “Ácido Conjugado”, “Base Conjugada”, “Ácido de Lewis”, “Base de Lewis”, “Eletrófilos” e “Nucleófilos”.

Para uma melhor visualização das relações entre nós/vértices (equivalente aos conceitos) e arestas (equivalente às relações estabelecidas representadas pelas linhas que ligam os conceitos) do grafo, a cada nó/vértice foi atribuído uma numeração/código. Além disso, para diferenciar os conceitos que apresentam Porcentagem de Aproveitamento por Conceito - PAC dos demais, foi atribuído a coloração ocre. Segue abaixo, o grafo representado na figura 8 com a descrição mencionada acima e em seguida, no quadro 6, a relação entre os conceitos e a numeração atribuída.

Figura 8 - Grafo da disciplina de Química Orgânica I elaborado, com conceitos numerados e com conceitos que apresentam PAc em destaque.



Fonte: Autoria própria.

Quadro 4 - Numeração dos conceitos a que cada nó no grafo se refere (continua).

Código	Conceitos
1	Moléculas Orgânicas
2	Carbono
3	Configuração Eletrônica
4	Energia de Ionização
5	Afinidade Eletrônica
6	Raio Atômico
7	Eletronegatividade
8	Regra do Octeto
9	Ligações Simples
10	Ligações Duplas
11	Ligações Triplas
12	Química Quântica
13	Orbitais Atômicos
14	Orbitais Atômicos híbridos sp^3 , sp^2 e sp
15	Orbitais Moleculares
16	Ligações Covalentes
17	Ligação σ
18	Ligação π
19	Livre Rotação
20	Geometria Molecular
21	Confôrmeros
22	Representação das Fórmulas Estruturais
23	Análise Conformacional
24	Conformações do Cicloexano
25	Cicloalcanos
26	Tensão do anel: Tensão Angular e Tensão Torsional
27	Estereoquímica
28	Série Homóloga
29	Alcanos
30	Ligações Covalentes Apolares

Quadro 6 - Numeração dos conceitos a que cada nó no grafo se refere (continuação).

Código	Conceitos
31	Reações de Alcanos
32	Reações Radicalares
33	Mecanismo de Reação Radicalar
34	Reações de Compostos Orgânicos
35	Alcenos
36	Alcinos
37	Ligações Covalentes Polares
38	Polaridade
39	Momento Dipolar
40	Forças de Interações Moleculares
41	Estruturas de Lewis
42	Estruturas de Ressonância
43	RPECV
44	Mecanismos de Reação
45	Grupos Funcionais
46	Haleto de Alquila
47	Álcoois
48	Heterólise de Ligação
49	Homólise de Ligação
50	Carbocátions e Carbânions
51	Mecanismos de Reação S_N2 e S_N1
52	Mecanismos de Reações E2 e E1
53	Mecanismos de Reação de Hidroalogenação
54	Mecanismo de Reação de Hidratação Catalisada por Ácido
55	Radicais
56	Ácidos
57	Bases
58	Reações de Equilíbrio Ácido-Base
59	K_a - pK_a
60	Relação entre Estrutura e Acidez

Quadro 6 - Numeração dos conceitos a que cada nó no grafo se refere (conclusão).

Código	Conceitos
61	Deslocalização da Carga
62	Efeito Indutivo
63	Isômeros
64	Isômeros Constitucionais
65	Estereoisômeros
66	<i>Sistema R e S</i>
67	Reações de Haletos de Alquila
68	Reações de Substituição Nucleofílica
69	Reações de Eliminação
70	Reações de Alcenos e Alcinos
71	Reações de Adição de Alcenos e Alcinos
72	Reações de Hidrogenação
73	<i>Mecanismo de Reação de Hidrogenação</i>
74	Índice de Deficiência de Hidrogênio
75	Calor de Hidrogenação
76	Reações de Hidroalogenação
77	Reação de Hidratação Catalisada por Ácido
78	Reação de Oximercuração-Desmercuração
79	<i>Mecanismo de Oximercuração-Desmercuração</i>
80	Reação de Hidroboração-Oxidação
81	<i>Mecanismo de Hidroboração-Oxidação</i>
82	Reação de Halogenação
83	<i>Mecanismo de Halogenação</i>
84	Reação de Adição Oxidativa
85	<i>Mecanismo de Reação de Adição Oxidativa a Alcenos</i>

Fonte: Autoria própria.

5.6 Cálculo da Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc

Para o cálculo de Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc foram utilizadas as equações 3,4 e 5 descritas na seção 4.5.7 - Cálculo da Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc. Como dito na seção 5.3 - Porcentagem de Aproveitamento por Conceito - PAc, a PAc expressa para o conceito “Reações de Adição” foi obtida através das PAc individuais dos conceitos que compõem este conceito mais geral, ou seja, as PAc individuais dos conceitos de “Hidrogenação”, “Hidroalogenação”, “Halogenação”, “Hidratação Catalisada por Ácido”, “Oximercuração-Desmercuração”, “Hidroboração-Oxidação” e “Adição Oxidativa de Alcenos” que foram utilizadas. O mesmo ocorreu para o conceito de “Síntese de álcoois a partir de Alcenos”. Como a PAc expressa para este conceito foi obtido através das PAc dos conceitos que o compõem, (Hidratação Catalisada por Ácido, Oximercuração - Desmercuração, Hidroboração-Oxidação e Adição Oxidativa de Alcenos, reações que levam a formação de álcoois), as PAc individuais dos conceitos que compõem este conceito mais geral é que foi utilizado.

Os cálculos consideram o conhecimento prévio relevante necessário ao aprendizado do novo conhecimento, que uma vez que se tenha aprendido significativamente, o estudante consegue de transferir o conhecimento a outras situações. (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980). Segue abaixo em tabela os valores obtidos para cada classificação estudantil efetuada.

Tabela 8 - Valores de PAc e PAIc para cada grupo estudantil classificado (continua).

Código	Conceito	Superiores		Aprovados		Médio		Reprovados		Inferiores	
		PAc	PAIc	PAc	PAIc	PAc	PAIc	PAc	PAIc	PAc	PAIc
1	Moléculas Orgânicas		67%		58%		52%		39%		40%
2	Carbono	55%	55%	40%	40%	40%	39%	39%	35%	41%	36%
3	Configuração Eletrônica		56%		40%		36%		28%		26%
4	Energia de Ionização		49%		31%		30%		29%		26%
5	Afinidade Eletrônica		49%		31%		30%		29%		26%
6	Raio Atômico		0%		0%		0%		0%		0%
7	Eletronegatividade		49%		31%		30%		29%		26%
8	Regra do Octeto		67%		59%		52%		39%		37%
9	Ligações Simples		72%		61%		55%		43%		41%
10	Ligações Duplas		66%		59%		52%		39%		37%
11	Ligações Triplas		66%		59%		52%		39%		37%
12	Química Quântica		58%		38%		31%		16%		16%
13	Orbitais Atômicos	60%	58%	34%	38%	28%	31%	13%	16%	16%	16%
14	Orbitais Atômicos híbridos sp^3 , sp^2 e sp	49%	54%	44%	46%	33%	36%	17%	22%	11%	17%
15	Orbitais Moleculares	60%	64%	34%	50%	28%	43%	13%	31%	16%	30%
16	Ligações Covalentes		69%		58%		52%		41%		38%
17	Ligação σ		69%		61%		54%		41%		38%
18	Ligação π		66%		59%		52%		39%		37%
19	Livre Rotação		72%		64%		57%		45%		38%
20	Geometria Molecular	66%	60%	61%	51%	55%	47%	42%	38%	38%	34%
21	Confôrmeros		72%		64%		57%		45%		38%
22	Representação das Fórmulas Estruturais		70%		60%		54%		42%		38%
23	Análise conformacional	76%	72%	71%	64%	65%	57%	55%	45%	51%	38%

Tabela 8 - Valores de PAc e PAIc para cada grupo estudantil classificado (continuação).

Código	Conceito	Superiores		Aprovados		Médio		Reprovados		Inferiores	
		PAc	PAIc	PAc	PAIc	PAc	PAIc	PAc	PAIc	PAc	PAIc
24	Conformações do Cicloexano	63%	63%	51%	51%	42%	42%	24%	24%	13%	13%
25	Cicloalcanos		70%		56%		51%		41%		40%
26	Tensão do Anel: Tensão Angular e Tensão Torsional	66%	66%	49%	49%	45%	45%	37%	37%	37%	37%
27	Estereoquímica	67%	68%	57%	58%	48%	50%	37%	39%	35%	37%
28	Série Homóloga	73%	73%	63%	63%	57%	57%	45%	45%	42%	42%
29	Alcanos		74%		65%		59%		45%		43%
30	Ligações Covalentes Apolares		72%		61%		55%		43%		41%
31	Reações de Alcanos		75%		67%		60%		44%		43%
32	Reações Radicalares		75%		67%		60%		44%		43%
33	Mecanismo de Reação Radicalar	75%	75%	67%	67%	60%	60%	44%	44%	43%	43%
34	Reações de Compostos Orgânicos		70%		61%		55%		41%		38%
35	Alcenos		66%		59%		52%		39%		37%
36	Alcinos		66%		59%		52%		39%		37%
37	Ligações Covalentes Polares		49%		31%		30%		29%		26%
38	Polaridade		49%		31%		30%		29%		26%
39	Momento Dipolar	47%	49%	25%	31%	25%	30%	28%	29%	25%	26%
40	Forças de Interações Moleculares	52%	52%	44%	44%	41%	41%	31%	31%	28%	28%
41	Estruturas de Lewis + Carga Formal	73%	64%	67%	57%	59%	49%	43%	35%	43%	33%
42	Estruturas de Ressonância	49%	49%	44%	44%	33%	33%	17%	17%	11%	11%
43	RPECV		60%		51%		47%		38%		34%
44	Mecanismos de Reação		68%		60%		53%		40%		37%
45	Grupos Funcionais		69%		60%		53%		41%		38%
46	Haletos de Alquila		68%		58%		53%		40%		35%

Tabela 8 - Valores de PAc e PAIc para cada grupo estudantil classificado (continuação).

Código	Conceito	Superiores		Aprovados		Médio		Reprovados		Inferiores	
		PAc	PAIc	PAc	PAIc	PAc	PAIc	PAc	PAIc	PAc	PAIc
47	Álcoois		0%		0%		0%		0%		0%
48	Heterólise de Ligação		80%		70%		62%		49%		45%
49	Homólise de Ligação		75%		67%		60%		44%		43%
50	Carbocátions e Carbânions	93%	80%	77%	70%	65%	62%	55%	49%	45%	45%
51	Mecanismos de Reação S _N 2 e S _N 1	71%	71%	63%	63%	59%	59%	52%	52%	47%	47%
52	Mecanismos de Reações E2 e E1	65%	65%	53%	53%	47%	47%	27%	27%	23%	23%
53	Mecanismo de Reação de Hidroalogenação	80%	80%	82%	82%	76%	76%	66%	66%	66%	66%
54	Mecanismo de Reação de Hidratação Catalisada por Ácido	77%	77%	70%	70%	61%	61%	40%	40%	44%	44%
55	Radicais		75%		67%		60%		44%		43%
56	Ácidos		67%		58%		51%		36%		38%
57	Bases		67%		58%		51%		36%		38%
58	Reações de Equilíbrio Ácido-Base		67%		58%		51%		36%		38%
59	K _a -pK _a	87%	87%	79%	79%	69%	69%	45%	45%	53%	53%
60	Relação entre Estrutura e Acidez	45%	46%	36%	34%	30%	30%	20%	23%	23%	24%
61	Deslocalização da Carga		0%		0%		0%		0%		0%
62	Efeito Indutivo		0%		0%		0%		0%		0%
63	Isômeros		77%		72%		66%		48%		54%
64	Isômeros Constitucionais		0%		0%		0%		0%		0%
65	Estereoisômeros		77%		72%		66%		48%		54%
66	Sistema R e S	77%	77%	72%	72%	66%	66%	48%	48%	54%	54%
67	Reações de Haleto de Alquila		68%		58%		53%		40%		35%
68	Reações de Substituição Nucleofílica		71%		63%		59%		52%		47%

Tabela 8 - Valores de PAc e PAIc para cada grupo estudantil classificado (conclusão).

Código	Conceito	Superiores		Aprovados		Médio		Reprovados		Inferiores	
		PAc	PAIc	PAc	PAIc	PAc	PAIc	PAc	PAIc	PAc	PAIc
69	Reações de Eliminação		65%		53%		47%		27%		23%
70	Reações de Alcenos e Alcinos		66%		59%		52%		39%		37%
71	Reações de Adição de Alcenos e Alcinos		66%		59%		52%		39%		37%
72	Reações de Hidrogenação		88%		81%		76%		68%		65%
73	Mecanismo de Reação de Hidrogenação	88%	88%	81%	81%	76%	76%	68%	68%	65%	65%
74	Índice de Deficiência de Hidrogênio		0%		0%		0%		0%		0%
75	Calor de Hidrogenação		0%		0%		0%		0%		0%
76	Reação de Hidroalogenação		80%		82%		76%		66%		66%
77	Reação de Hidratação Catalisada por Ácido		77%		70%		61%		40%		44%
78	Reação de Oximercuração-Desmercuração		49%		40%		33%		21%		17%
79	Mecanismo de Reação de Oximercuração-Desmercuração	49%	49%	40%	40%	33%	33%	21%	21%	17%	17%
80	Reação de Hidroboração-Oxidação		56%		49%		41%		35%		27%
81	Mecanismo de Reação de Hidroboração-Oxidação	56%	56%	49%	49%	41%	41%	35%	35%	27%	27%
82	Reação de Halogenação		65%		58%		51%		36%		34%
83	Mecanismo de Reação de Halogenação	65%	65%	58%	58%	51%	51%	36%	36%	34%	34%
84	Reação de Adição Oxidativa		50%		36%		25%		8%		3%
85	Mecanismo de Reação de Adição Oxidativa de Alcenos	50%	50%	36%	36%	25%	25%	8%	8%	3%	3%

Fonte: Autoria própria.

5.7 Análise dos Grafos

Após os cálculos, os conceitos onde a Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc não puderam ser calculados, pois não apresentavam PAc ou *Conceitos Estruturados* com valor de PAc associado, (6-Raio Atômico, 47-Álcoois, 61-Deslocalização da Carga, 62-Efeito Indutivo, 64-Isômeros Constitucionais, 74-Índice de Deficiência de Hidrogênio e 75-Calor de Hidrogenação) foram retirados do conjunto.

Considerando que a média para a aprovação do curso de Bacharelado em Química do IQSC-USP é igual a cinco, realizamos uma classificação da amostra com base em intervalos de valores de Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc. Assim sendo, aos conceitos onde:

- $PAIc \geq 50\%$, atribuiu-se a coloração verde,
- $40\% \leq PAIc < 50\%$, atribuiu-se a coloração amarela,
- $20\% \leq PAIc < 40\%$, atribuiu-se a coloração laranja e
- $PAIc < 20\%$, atribuiu-se a coloração vermelha.

Ainda, os vértices que possuem valor de Porcentagem de Aproveitamento por Conceito - PAc foram representados por círculos, e os demais vértices por triângulos. A seguir, são apresentados os grafos construídos para cada grupo estudantil classificado conforme indicado na seção 4.5.1.1 -estudantes com desempenho superior, estudantes aprovados, estudantes com desempenho médio, estudantes reprovados e estudantes com desempenho inferior.

5.7.1 Grafo do Grupo de Estudantes com Desempenho Superior e Estudantes Aprovados

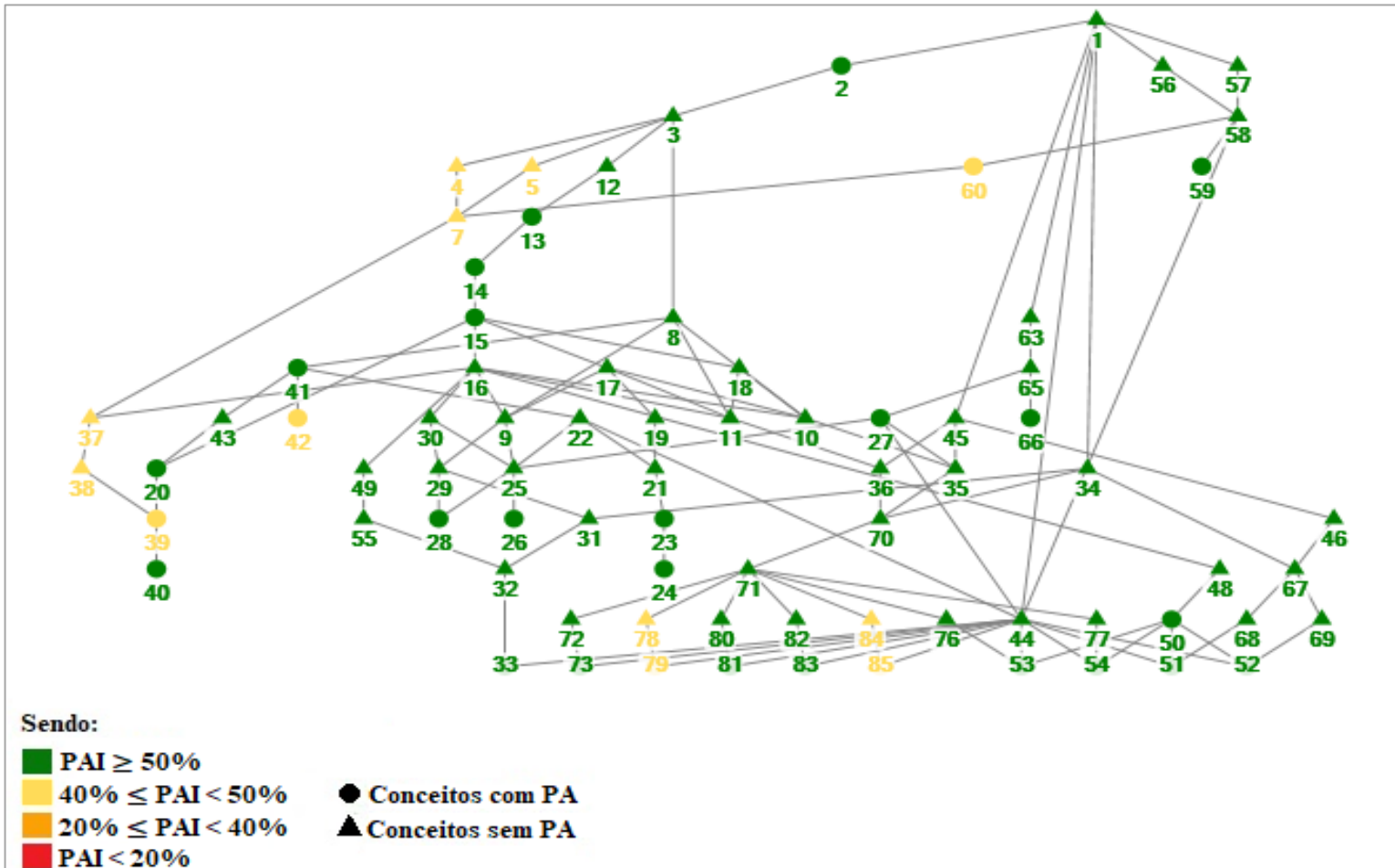
No primeiro grafo (fig.9), que representa as, Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc dos estudantes com desempenho superior, é possível identificar que há poucos conceitos em que esse grupo de estudantes apresentam $PAIc \leq 5$. Neste grafo há somente duas classificações (intervalos de valores de PAIc): verde e amarela.

Iniciando pela classificação que representa o menor intervalo de valor de PAIc para este grupo de estudantes (coloração amarela), têm-se os conceitos de: 4-Energia de Ionização, 5-Afinidade Eletrônica, 7-Eletronegatividade, 37-Ligações Covalentes Polares, 38-Polaridade, 39-Momento Dipolar, 42-Estruturas de Ressonância, 60-Relação entre Estrutura e Acidez, 78/79-Reação e Mecanismo de Oximercuração-Desmercuração e 84/85-Reação e Mecanismo de Adição Oxidativa a Alcenos. O restante dos conceitos está na classificação verde.

A análise deste grafo indica que os estudantes com desempenho superior apresentam poucos conceitos em hierarquia superior abaixo da média. Deste modo este grupo de estudantes apresenta melhores conhecimentos prévios; conhecimentos estes que estruturarão a disciplina. Apesar de existirem poucos conceitos em hierarquia superior classificados com a coloração amarela, é possível observar as consequências dos aproveitamentos dessa faixa de classificação através da propagação da coloração, por exemplo: os conceitos 4-Energia de Ionização, 5-Afinidade Eletrônica e 60-Relação entre Estrutura e Acidez, são *Conceitos Estruturantes* para o conceito 7-Eletronegatividade, que é vez é o *Conceito Estruturante* para o conceito 37-Ligações Covalentes Polares. O conceito 37-Ligações Covalentes Polares por sua vez é *Conceito Estruturante* para o conceito 38-Polaridade. O conceito 38-Polaridade por sua vez é *Conceito Estruturante* para o conceito 39-Momento Dipolar e este conceito por fim é *Conceito Estruturante* para o conceito 42-Estruturas de Ressonância.

O conceito 42-Estruturas de Ressonância também está na classificação amarela e apresenta como *Conceito Estruturante* o conceito 41-Estruturas de Lewis e Carga formal, que está na classificação verde. A diferença de classificação indicada pela coloração pode advertir que os estudantes estão tendo dificuldades em aplicar o aprendizado do conceito estruturante (41-Estruturas de Lewis e Carga formal) em outros contextos, como para desenhar Estruturas de Ressonância. Ainda, a coloração amarela apresentada nos conceitos 78/79-Reação e Mecanismo de Oximercuração-Desmercuração e 84/85-Reação e Mecanismo de Adição Oxidativa a Alcenos, que estão na base do grafo (hierarquia inferior) e entre os últimos conceitos trabalhados na disciplina, pode indicar uma maior complexidade do tema ou uma falha na apresentação do conteúdo.

Figura 9 - Grafo do grupo de estudantes com desempenho superior.



Fonte: Autoria própria.

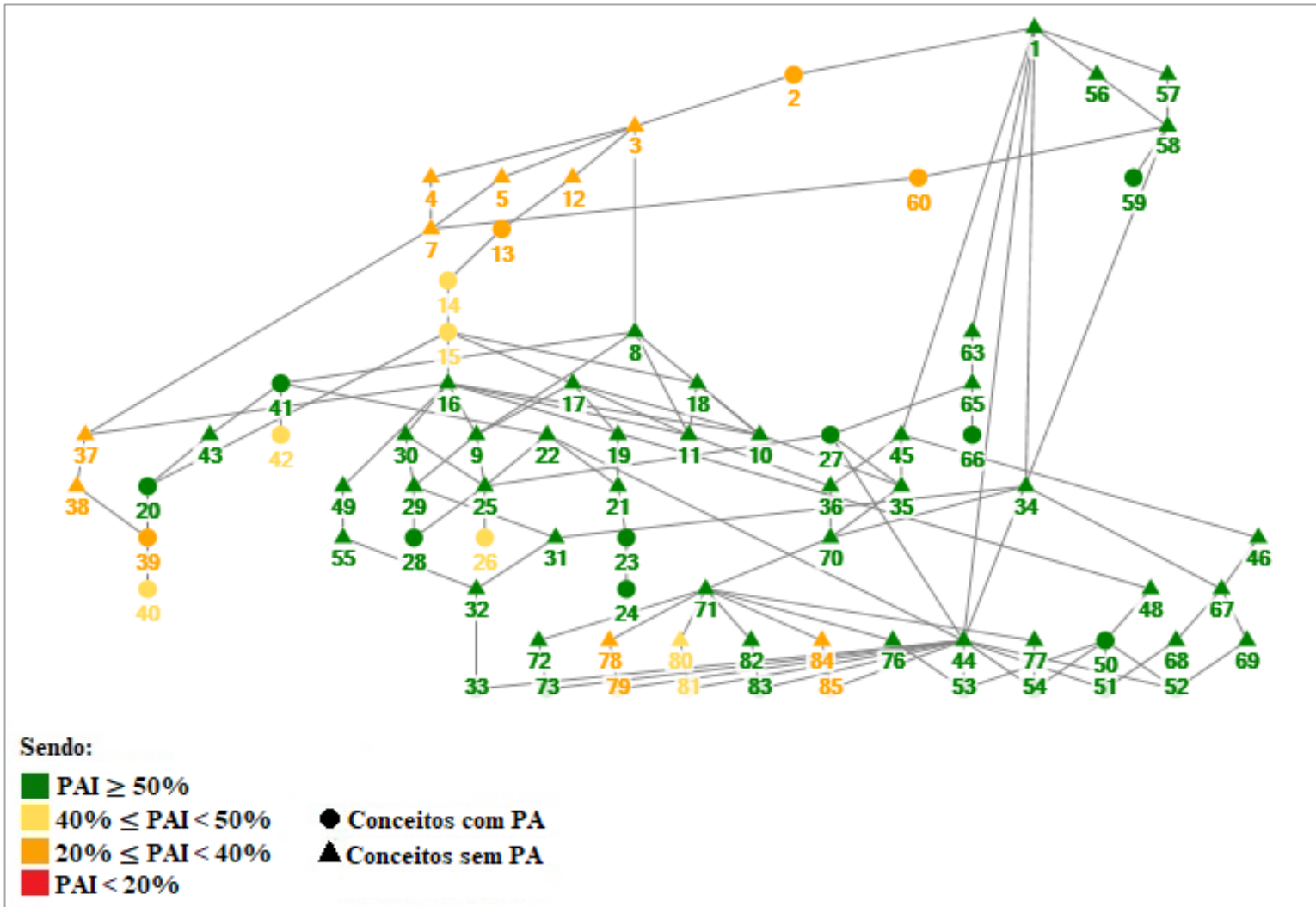
O segundo grafo (fig.10), representa a PAIc dos estudantes aprovados. O grupo de estudantes com desempenho superior está incluso neste grupo de estudantes, portanto, os grafos para estes dois grupos são semelhantes, porém há algumas diferenças que serão comentadas. Primeiramente neste grafo há ocorrência de três classificações: verde, amarela e laranja. Iniciando pela classificação que representa o menor intervalo de valor de PAIc para este grupo de estudantes (laranja), têm-se os conceitos de: 2-Carbono, 3-Configuração Eletrônica, 4-Energia de Ionização, 5- Afinidade Eletrônica, 7-Eletronegatividade, 12-Química Quântica, 13- Orbitais Atômicos 37-Ligações Covalentes Polares, 38-Polaridade, 39-Momento Dipolar, 60-Relação entre Estrutura e Acidez, 78/79- Reação e Mecanismo de Oximercuração-Desmercuração e 84/85-Reação e Mecanismo de Adição Oxidativa a Alcenos.

No intervalo de classificação amarelo, estão os conceitos:14-Orbitais Atômicos Híbridos sp^3 , sp^2 e sp , 15-Orbitais Moleculares, 26-Tensão do Anel: Tensão Angular e Tensão Torsional, 40-Forças de Interações Moleculares, 42-Estruturas de Ressonância, e 80/81-Reação e Mecanismo de Reação de Hidroboração-Oxidação. Os conceitos restantes estão na classificação verde.

Os conceitos contidos no menor intervalo de classificação dos estudantes aprovados é similar aos conceitos contidos no menor intervalo de classificação dos estudantes com desempenho superior. Porém, para os estudantes aprovados inclui-se a este intervalo de classificação os conceitos 2 -Carbono, 3-Configuração Eletrônica, 12-Química Quântica e 13- Orbitais Atômicos. Para os estudantes com desempenho superior os conceitos 2-Carbono e 3-Configuração Eletrônica estão em hierarquia superior, o que evidencia que os baixos rendimentos/ dificuldades para o grupo de estudantes aprovados se inicia antes (em conhecimentos prévios anteriores), do que para os estudantes com desempenho superior.

O mesmo raciocínio pode ser utilizado para os conceitos 12-Química Quântica e 13- Orbitais Atômicos Apesar de estarem um pouco abaixo em hierarquia, os rendimentos apresentados em 2-Carbono, 3-Configuração Eletrônica, afetam o aprendizado de 12-Química Quântica e 13-Orbitais Atômicos, pois estes conceitos apresentam uma relação direta, ou seja, o conceito 2-Carbono é *Conceito Estruturante* para o 3-Configuração Eletrônica, *Estruturante* para o conceito 12-Química Quântica, sendo *Estruturante* para o 13-Orbitais Atômicos.

Figura 10 - Grafo do grupo de estudantes aprovados.



Fonte: Autoria própria.

Ainda se encontram na menor escala de classificação os conceitos 78/79-Reação e Mecanismo de Oximercuração-Desmercuração e 84/85-Reação e Mecanismo de Adição Oxidativa a Alcenos. Como já dito para estudantes aprovados tal classificação, pode indicar uma maior complexidade do tema ou uma falha na apresentação do conteúdo.

Também é necessário destacar que apesar de o conjunto de conceitos contidos nos menores intervalos de classificação para estudantes com desempenho superior e aprovados serem semelhantes, os intervalos de classificação não são. O menor intervalo de classificação para estudantes com desempenho superior apresenta coloração amarela, onde $40\% \leq \text{PAI} < 50\%$, e o menor intervalo de classificação para estudantes aprovados é o laranja, onde $20\% \leq \text{PAI} < 40\%$. Desta forma, estudantes com desempenho superior apresentam melhores rendimentos em posições iniciais (conhecimentos prévios).

Analogamente a classificação dos estudantes com desempenho superior, o conceito 42-Estruturas de Ressonância também está na classificação amarela. Como dito anteriormente, a classificação pode indicar que os estudantes estão tendo dificuldades em aplicar o aprendizado do conceito estruturante (41-Estruturas de Lewis e Carga formal) em outros contextos, como para desenhar Estruturas de Ressonância, o que indica que a aprendizagem nestes conceitos não está bem estabelecida e pode ter sido mecânica.

O conceito 26-Tensão do Anel: Tensão Angular e Tensão Torsional, que para os estudantes com desempenho superior estava na classificação verde, está para estudantes aprovados na classificação amarela. O conceito 26 tem como *Conceito Estruturante* o conceito 25-Cicloalcanos que possui vários *Conceitos Estruturantes*, dentre eles o conceito 22-Representação das Fórmulas Estruturais. A análise da Tensão do Anel requer sua representação, e a classificação amarela no conceito 26-Tensão do Anel: Tensão Angular e Tensão Torsional pode indicar que os estudantes estão tendo dificuldade em aplicar o conhecimento sobre Representações a um novo contexto, ou seja, que essa aprendizagem está sendo mecânica. Além dos conceitos citados acima, os conceitos 14-Orbitais Atômicos Híbridos sp^3 , sp^2 e sp , 15-Orbitais Moleculares, 40-Forças de Interações Moleculares também estão na classificação amarela e ligados a áreas com classificação laranja, ou seja, é possível observar as consequências dos aproveitamentos dessas regiões através da propagação da coloração.

O cálculo de Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc e a classificação dos conceitos em faixas de PAIc com colorações distintas permitiu que os grafos para esses dois grupos de estudantes fossem comparados visualmente. Desta forma, é possível notar que para o grupo de estudantes aprovados na parte superior do grafo há uma região onde

os conceitos apresentam coloração laranja. Tal fato significa que esses estudantes apresentam menores rendimentos em conceitos prévios da disciplina de Química Orgânica I. O grafo dos estudantes com desempenho superior também apresenta uma coloração distinta do resto do grafo em sua parte superior, porém essa região é menor e a coloração observada está em uma faixa de Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc que caracteriza um maior rendimento em comparação a estudantes aprovados, assim os estudantes com desempenho superior apresentam (segundo a PAIc), melhores pontos de partidas, ou seja, melhores conhecimentos prévios, portanto maiores possibilidades de o relacionarem a novos conhecimentos e aprenderem de forma significativa.

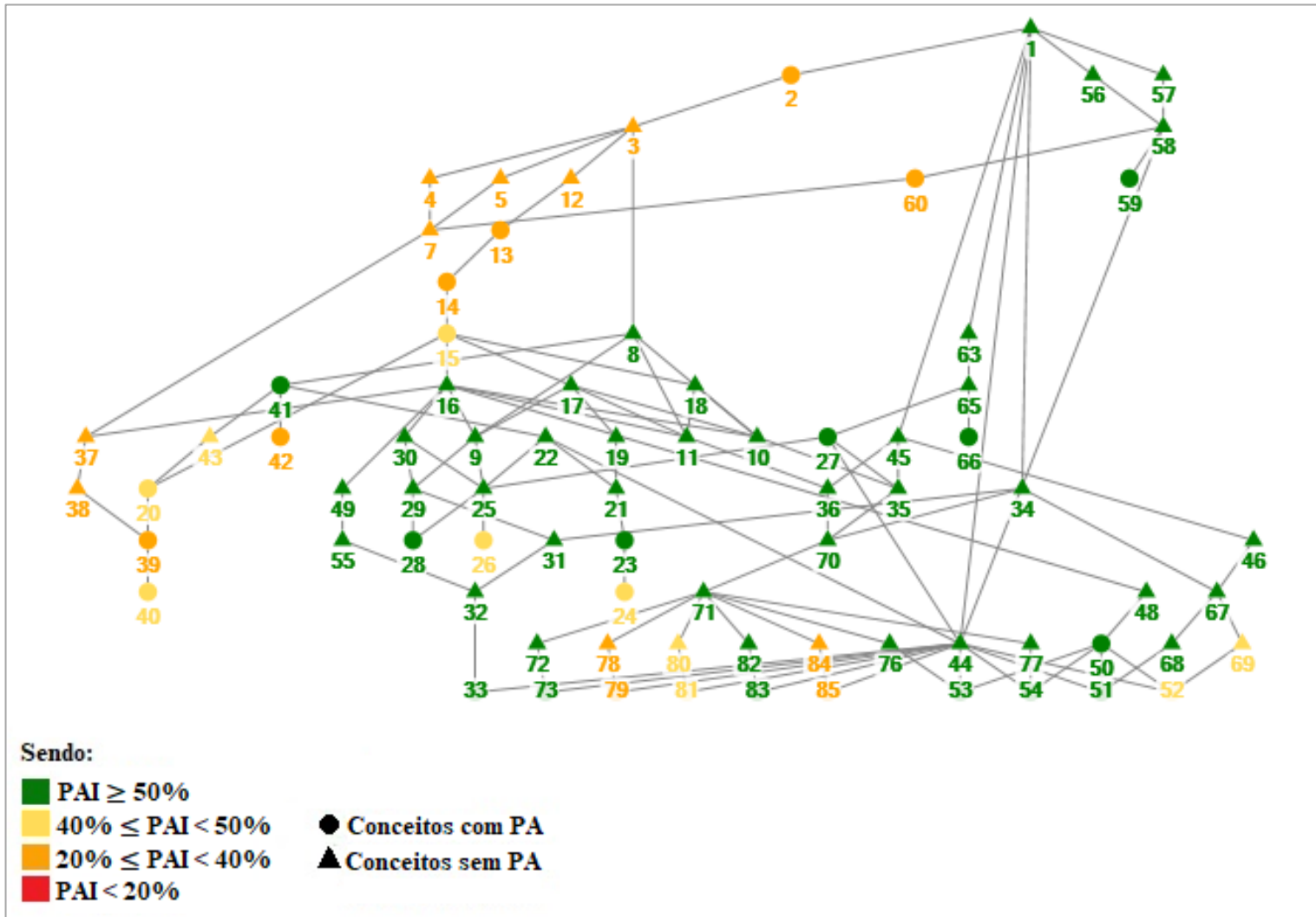
5.7.2 Grafo do Grupo de Estudantes com Desempenho Médio

No terceiro grafo (fig.11), que representa a Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc dos estudantes com desempenho médio, assim como para o grafo dos estudantes aprovados, há três classificações: verde, amarela e laranja. Começando pela classificação que representa o menor intervalo de valor de PAIc para este grupo de estudantes (laranja), têm-se os conceitos de: 2-Carbono, 3-Configuração Eletrônica, 4-Energia de Ionização, 5-Afinidade Eletrônica, 7-Eletronegatividade, 12-Química Quântica, 13-Orbitais Atômicos, 14-Orbitais Atômicos híbridos sp^3 , sp^2 e sp , 37-Ligações Covalentes Polares, 38-Polaridade, 39-Momento Dipolar, 42-Estruturas de Ressonância, 60-Relação entre Estrutura e Acidez, 78/79-Reação e Mecanismo de Oximercuração-Desmercuração e 84/85-Reação e Mecanismo de Adição Oxidativa a Alcenos.

No intervalo de classificação amarelo, estão os conceitos: 15-Orbitais Moleculares, 20-Geometria Molecular, 24-Conformações do Cicloexano, 26-Tensão do Anel: Tensão Angular e Tensão Torsional, 40-Forças de Interações Moleculares, 41-Estruturas de Lewis, 43-RPECV, 52-Mecanismos de Reações E2 e E1, 69-Reações de Eliminação, e 80/81-Reação e Mecanismo de Reação de Hidroboração-Oxidação. Os conceitos restantes estão na classificação verde.

Ao compararmos o grafo dos estudantes aprovados com o dos estudantes com desempenho médio, considerando o conjunto de conceitos contidos na menor escala de classificação de cada um desses grupos (laranja para ambos), observamos que ela é similar. A diferença consiste no fato de que para os estudantes com desempenho médio soma-se a classificação laranja os conceitos de 14-Orbitais Atômicos híbridos sp^3 , sp^2 e sp e 42-Estruturas de Ressonância, que para os estudantes aprovados estão em escala superior (amarela).

Figura 11 - Grafo dos estudantes com desempenho médio.



Fonte: Autoria própria.

Ao compararmos os conceitos pertencentes a escala amarela no grafo dos estudantes aprovados com o dos estudantes com desempenho médio somente os conceitos 15-Orbitais Moleculares, 26-Tensão do Anel: Tensão Angular e Tensão Torsional e 80/81-Reação e Mecanismo de Reação de Hidroboração-Oxidação pertencem, para ambos à mesma escala. Soma-se a escala amarela os conceitos 20- Geometria Molecular, 24- Conformações do Cicloexano, 41-Estruturas de Lewis + Carga Formal, 43- RPECV e 52/69-Reações de Eliminação e Mecanismos de reação de Eliminação E2 e E1, que no grafo dos estudantes aprovados está classificado em uma escala superior, a escala verde.

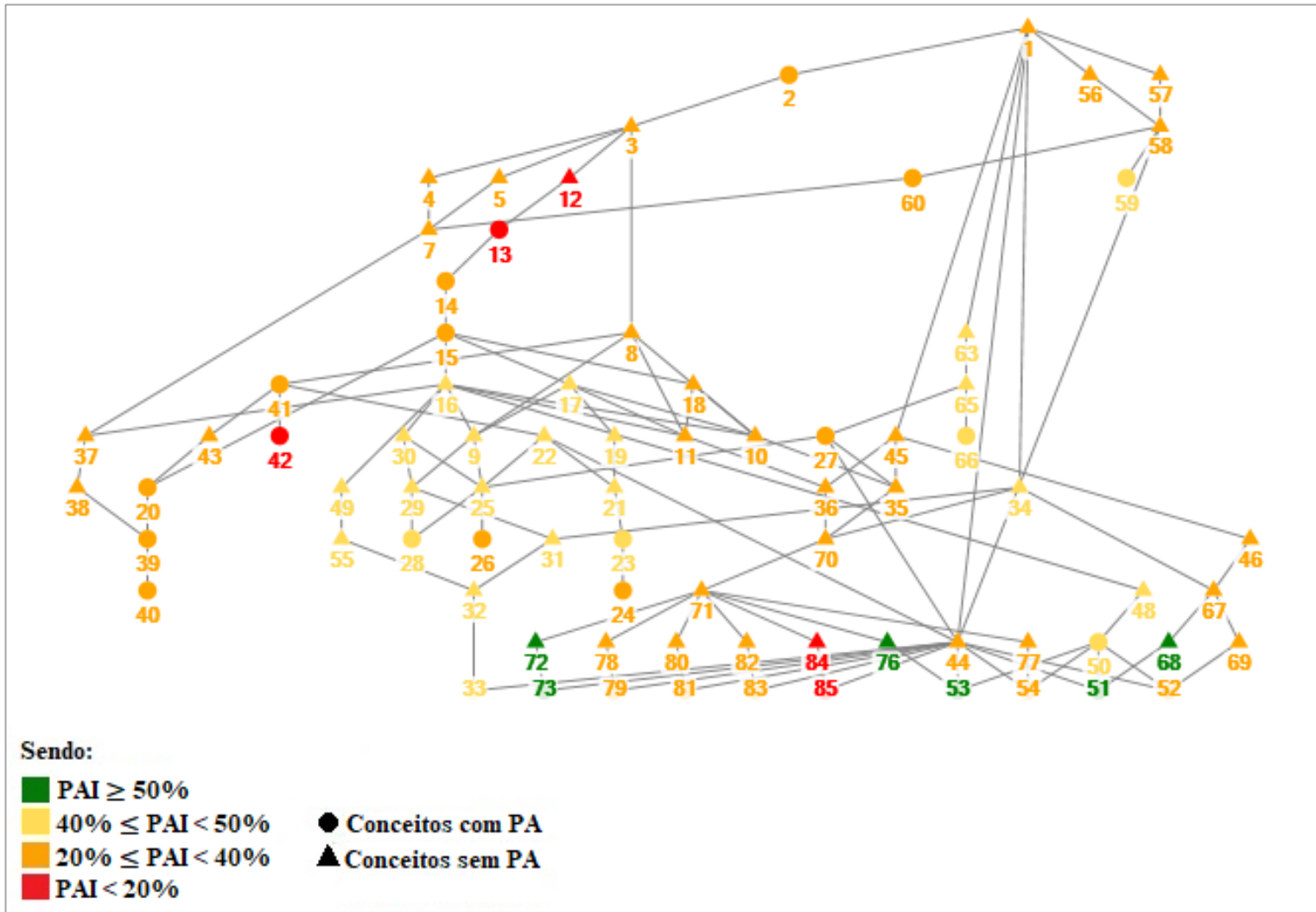
Conforme o desempenho dos grupos investigados diminui, a classificação da Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc em conceitos do topo do grafo, onde estão os conceitos que fundamentam os demais a serem aprendidos, ou seja, os conhecimentos prévios, também diminuem. Tal fato pode ser observado tanto através da presença de mais cores no grafo (colorações atribuídas as faixas de classificações de PAIc) quanto pelo aumento dessas regiões coloridas que demonstram a propagação através dos conceitos dos baixos rendimentos em conhecimentos prévios.

5.7.3 Grafo do Grupo de Estudantes Reprovados e de Estudantes com Desempenho Inferior

No quarto grafo (fig. 12), que representa a Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc dos estudantes reprovados, tem-se as quatro classificações definidas: verde, amarela, laranja e vermelho. Iniciando pela classificação que representa o menor intervalo de valor de PAIc para este grupo de estudantes (vermelha), têm-se os conceitos de: 12-Química Quântica, 13-Orbitais Atômicos, 42- Estruturas de Ressonância e 84/85-Reação e Mecanismo de Adição Oxidativa a Alcenos

No intervalo de classificação laranja, estão os conceitos: 1-Moléculas Orgânicas, 2-Carbono, 3-Configuração Eletrônica, 4-Energia de Ionização, 5-Afinidade Eletrônica, 7-Eletronegatividade, 8-Regra do Octeto, 10-Ligações Duplas, 11-Ligações Triplas, 14-Orbitais Atômicos Híbridos sp^3 , sp^2 e sp , 15-Orbitais Moleculares, 18-Ligação π , 20-Geometria Molecular, 24-Conformações do Cicloexano, 26-Tensão do anel: Tensão Angular e Tensão Torsional, 27-Estereoquímica, 35-Alcenos, 36-Alcinos, 37-Ligações Covalentes Polares, 38-Polaridade, 39-Momento Dipolar, 40-Forças de Interações Moleculares, 41-Estruturas de Lewis, 43-RPECV, 44-Mecanismos de Reação, 45-Grupos Funcionais, 46-Haletos de Alquila, 52- Mecanismos de Reações E2 e E1, 54-Mecanismo de Reação de Hidratação Catalisada por

Figura 12 - Grafo do grupo de estudantes reprovados.



Fonte: Autoria própria.

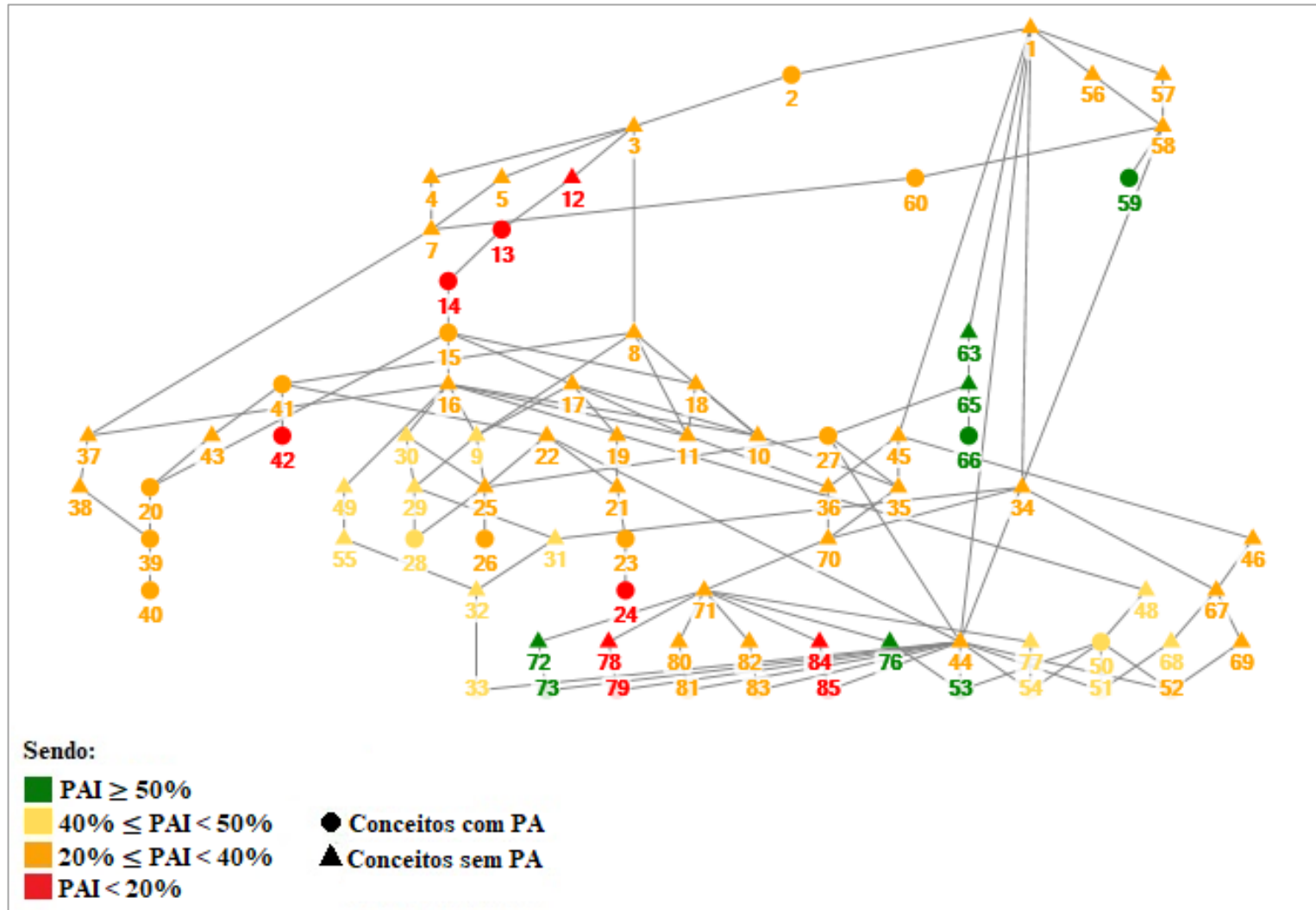
Ácido, 56- Ácidos, 57- Bases, 58- Reações de Equilíbrio Ácido-Base, 60-Relação entre Estrutura e Acidez, 67-Reações de Haletos de Alquila, 69-Reações de Eliminação, 71-Reações de Adição de Alcenos e Alcinos, 77-Reação de Hidratação Catalisada por Ácido, 78/79-Reação e Mecanismo de Oximercuração-Desmercuração, 80/81-Reação de Mecanismo de Hidroboração-Oxidação, 82/83- Reação e Mecanismo de Halogenação.

No intervalo de classificação amarela, estão os conceitos: 9-Ligações Simples, 16-Ligações Covalentes, 17-Ligação σ , 19-Livre Rotação, 21-Confôrmeros, 22-Representação das Fórmulas Estruturais, 23-Análise Conformacional, 25-Cicloalcanos, 28-Série Homóloga, 29-Alcanos, 30-Ligações Covalentes Apolares, 31-Reações de Alcanos, 32-Reações Radicalares, 33-Mecanismo de Reação Radicalar, 34-Reações de Compostos Orgânicos, 48-Heterólise de Ligação, 49-Homólise de Ligação, 50-Carbocátions e Carbânions, 55-Radicais, 59- K_a - pK_a , 63-Isômeros, 65-Estereoisômeros, 66-Sistema *R* e *S*. Somente os conceitos a seguir pertencem à classificação verde: 51-Mecanismos de Reação S_N2 E S_N1 , 68-Reações de Substituição Nucleofílica, 76/53-Reação e Mecanismo de Hidroalogenação e 72/73- Reação e Mecanismo de Reação de Hidrogenação.

Os conceitos com classificação verde estão na base de grafo, e como exceto por eles os demais conceitos do grafo estão em classificações inferiores (colorações laranja, amarela e vermelha) é pouco provável que o rendimento obtido seja proveniente de Aprendizagem Significativa. A Aprendizagem Significativa ocorre quando há a integração entre o conhecimento prévio (situado em hierarquia superior) e o novo conhecimento (situado em hierarquia inferior) resultando em mudança conceitual. O conhecimento prévio é o principal fator a afetar a aprendizagem, e para esse grupo de estudantes sua qualidade é inferior.

O quinto e último grafo (fig14.), representa a PAIc dos estudantes com desempenho inferior. Este grupo de estudantes está incluso nos grupos de estudantes reprovados, portanto, os grafos para estes dois grupos são semelhantes. Apesar disso, algumas diferenças devem ser pontuadas. Os conceitos 14-Orbitais Atômicos Híbridos sp^3 , sp^2 e sp , 24-Conformações do Cicloexano e 78/79-Reação e Mecanismo de Oximercuração-Desmercuração que para os grupos de estudantes reprovados estava na classificação laranja, no grupo de estudantes com desempenho inferior está na classificação vermelha. Os conceitos 19-Livre Rotação, 21-Confôrmeros, 22-Representação das Fórmulas Estruturais, 23-Análise Conformacional, que para os grupos de estudantes reprovados estava na classificação amarela, no grupo de estudantes com desempenho inferior caiu para a classificação laranja.

Figura 13 - Grafo do grupo dos estudantes com desempenho inferior.



Fonte: Autoria própria.

Porém, os conceitos 59-Ka-pKa, 63-Isômeros, 65-Estereoisômeros e 66- Sistema *R e S*, que para os grupos de estudantes reprovados estava na classificação amarela, no grupo de estudantes com desempenho inferior subiu para a classificação verde. Tal dado pode indicar que mesmo os estudantes com o desempenho inferior continuam a estudar, porém, como a Química Orgânica é acumulativa, eles apresentam sucesso em questões que não requerem assimilação de conceitos anteriores ou que são mais fáceis de aprender e reproduzir mecanicamente. Outro fator é que a amostra deste grupo de estudantes é menor.

5.8 Discussão dos Grafos

Independente do grafo do grupo estudantil analisado, os conceitos 78/79-Reação e Mecanismo de Oximercuração-Desmercuração e 84/85-Reação e Mecanismo de Adição Oxidativa a Alcenos, estão nas menores escalas de classificação. Como já mencionado anteriormente, estes conceitos estão na base do grafo (hierarquia inferior) e entre os últimos conceitos trabalhados na disciplina. O baixo rendimento apresentado por todos os grupos estudantis classificados pode indicar uma maior complexidade do tema ou a ocorrência de uma falha na ordem, ou apresentação do conteúdo.

Os conceitos 12-Química Quântica e 13-Orbitais Atômicos, exceto no grafo dos estudantes com desempenho superior, também aparecem na menor escala de classificação de cada grupo estudantil. Estes conceitos estão localizados na parte superior do grafo, ou seja, são conhecimentos prévios relevantes para os conceitos que estão em sua hierarquia inferior. O fato destes conceitos estar na menor escala de classificação para a maioria dos grupos é preocupante, pois o conceito de Química Quântica, em conjunto com o conceito de Regra do octeto, fundamenta o entendimento dos estudantes sobre as Ligações Químicas, conceito essencial para toda a Química e de extrema relevância para a Química Orgânica. Os mecanismos de reações, por exemplo, tratam da quebra e formações de ligações Químicas

Destaca-se nesse momento que o programa da disciplina de Química Orgânica I (Anexo A) utiliza o termo “Mecânica Quântica”, porém considera-se que o termo “Química Quântica”, utilizado nesta pesquisa, apresente maior coerência com os conceitos trabalhados na disciplina, que se referem a sua utilização para a aprendizagem de Ligações Químicas bem como de estrutura Molecular.

Os grafos dos estudantes reprovados e com desempenho inferiores apresentam classificações que diferem consideravelmente dos demais, portanto, análises comparativas

complementares entre o grupo de estudantes aprovados (que inclui o grupo de estudantes com desempenho superior) e o grupo de estudantes reprovados (que inclui o grupo de estudantes com desempenho inferior) serão realizadas a seguir.

5.8.1 *Estudantes Aprovados x Estudantes Reprovados*

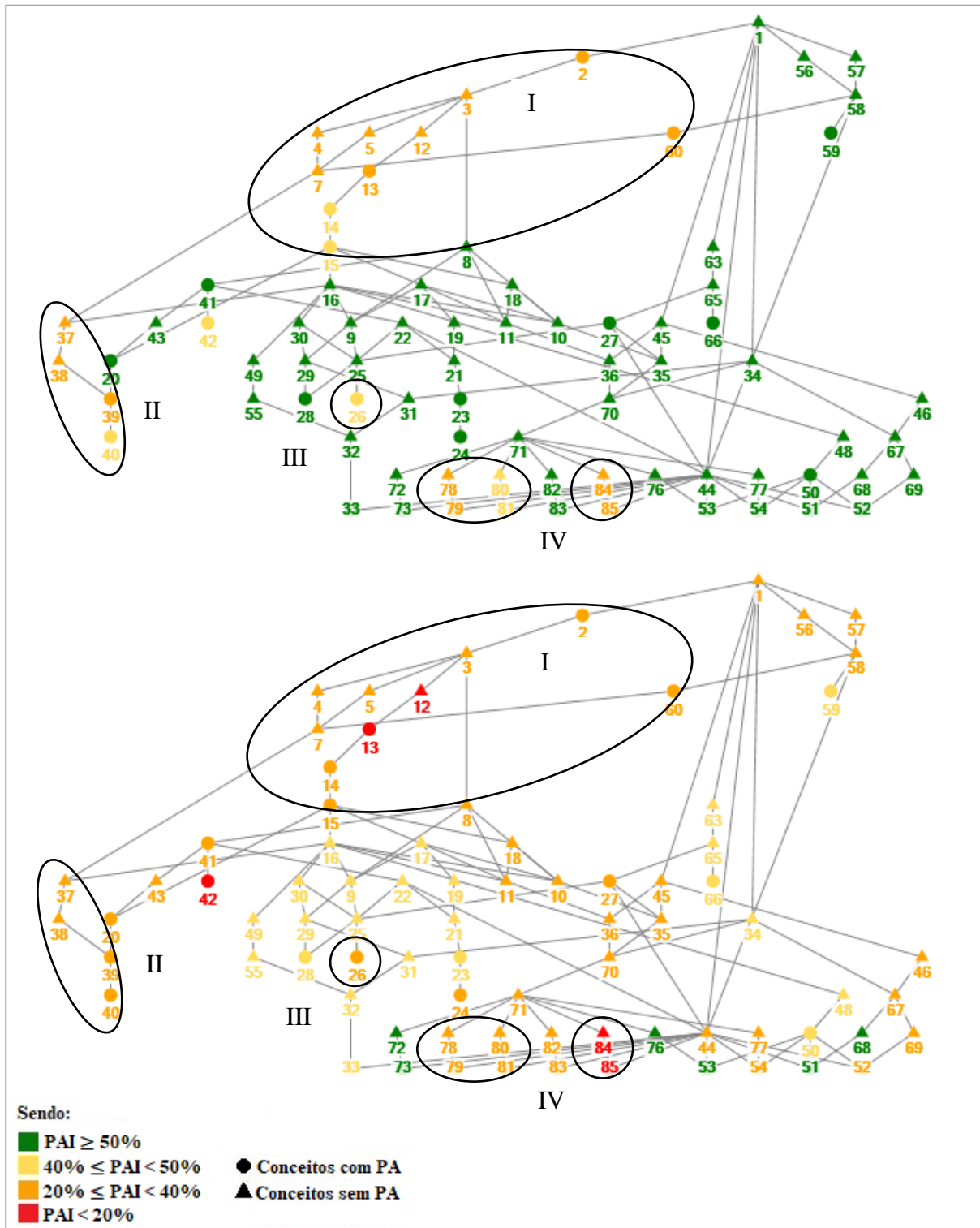
A partir das colorações atribuídas para as faixas de classificações definidas foi feita uma análise comparativa entre o grafo dos estudantes aprovados e o dos estudantes reprovados. Através das colorações em cada grafo foram definidas “regiões conceituais principais” onde estes dois grupos de estudantes apresentaram grau de similaridade ou diferença significativas. As relações entre os conceitos contidos nestas regiões definidas e a relação da região com os demais conceitos pertencentes ao grafo, principalmente em relação às Porcentagens de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc serão discutidas a seguir.

É importante lembrar que as relações estabelecidas no grafo ocorrem entre conceitos, denominados de *Conceito(s) Estruturante(s)* e *Conceito(s) Estruturado(s)*, desta forma do ponto de vista adotado, um *Conceito Estruturante* é aquele que está em hierarquia superior e é necessário para a aprendizagem de um conceito que esteja a ele relacionado e em hierarquia inferior, denominado de *Conceito Estruturado*. Assim, assume-se que o *Conceito Estruturante* do ponto de vista adotado, o teórico (discutido na seção 5.5), é o conhecimento prévio necessário para a aprendizagem de um conceito a ele subordinado, o *Conceito Estruturado*.

5.8.1.1 *Investigação de Regiões de Similaridade*

As áreas circuladas de preto, na figura 14 abaixo, são principais áreas de similaridade em baixos aproveitamentos entre os dois grafos. Essas áreas foram denominadas de I, II, III e IV. A área nomeada de I, representa a maior região do grafo onde há similaridade em baixos aproveitamentos entre esses dois grupos. Essa área compreende os conceitos de 2-Carbono, 3-Configuração Eletrônica, 4-Energia de Ionização, 5-Afinidade Eletrônica, 7-Eletronegatividade, 12-Química Quântica, 13-Orbitais Atômicos, 14-Orbitais Atômicos Híbridos sp^3 , sp^2 e sp , 15-Orbitais Moleculares e 60-Relação entre Estrutura e Acidez.

Figura 14 - Comparação de similaridades em baixos aproveitamentos entre os grafos dos estudantes Aprovados (acima) e Reprovados (abaixo).



Fonte: Autoria própria.

Estes conceitos estão em hierarquia superior no grafo, a maioria deles é revisada no início da disciplina, e todos são amplamente utilizados durante todo o curso, portanto, caracterizam-se como *Conceitos Estruturantes*, ou seja, conhecimentos prévios necessários para o entendimento da disciplina de Química Orgânica I. Apesar da região I destacar a similaridade em baixos aproveitamentos, alguns conceitos contidos nesta área, quando comparamos os dois grafos estudantis investigados, apresentam desigualdades de aproveitamento significativas, como pode ser observado pela diferença das colorações entre eles nesta região.

Em relação à Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc para esses dois grupos de estudantes temos, por exemplo, que o conceito 3-Configurações Eletrônicas, onde para estudantes aprovados a PAIc = 40% e estudantes reprovados a PAIc = 28%, é *Conceito Estruturante* para o conceito 12-Química Quântica. Os estudantes aprovados apresentam nos conceitos 12-Química Quântica e 13-Orbitais Atômicos a PAIc = 38%, já para os estudantes reprovados para os mesmos conceitos a PAIc = 16%. O conceito 13-Orbitais Atômicos é o *Conceito Estruturante* para o conceito 14-Orbitais Atômicos Híbridos sp^3 , sp^2 e sp portanto, o seu rendimento impacta no aprendizado de hibridização. O conceito 14-Orbitais Atômicos Híbridos sp^3 , sp^2 e sp apresenta para estudantes aprovados a PAIc = 46%, e para estudantes reprovados a PAIc = 22%. O conceito 14-Orbitais Atômicos Híbridos sp^3 , sp^2 e sp é o *Conceito Estruturante* para o conceito de 15-Orbitais Moleculares, onde os estudantes aprovados apresentam a PAIc = 50% e os estudantes reprovados a PAIc = 31%.

O impacto, ou seja, a propagação, da diferença de aproveitamento entre esses dois grupos nesses conceitos pode ser investigado através da Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc em conceitos pertencentes a hierarquias inferiores (*Conceitos Estruturados*) aos conceitos mencionados acima. Por exemplo: o conceito 15-Orbitais Moleculares, pertencente a área I, é *Conceito Estruturante* para os conceitos 16-Ligações Covalentes, 17-Ligações σ , 18-Ligações π e 20-Geometria Molecular, que não pertencem à área de similaridade que está sendo analisada, mas são impactados pela falta de compreensão dos conceitos a ela pertencentes. Em todos os conceitos citados a Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc dos estudantes aprovados está acima da média, porém para os estudantes reprovados estão abaixo da média. Seguindo a investigação, temos que os conceitos de 16- Ligações Covalentes, 17-Ligações σ e 18-Ligações π que são *Conceitos Estruturantes* para os conceitos de 9-Ligações Simples, 10-Ligações Duplas e 11-Ligações Triplas. Estes conceitos também são conceitos nos quais para os estudantes aprovados a Porcentagem de

Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc está acima da média, mas para os estudantes reprovados estão abaixo da média.

Ainda, na região I destacada, acompanhamos a propagação da Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc do conceito 3-Configurações Eletrônicas, já mencionado anteriormente, analisando agora outras relações conceituais existentes com ele. O conceito 3-Configurações Eletrônicas, também é *Conceito Estruturante* para o conceito 8-Regra do Octeto (que não pertence à área I definida) onde para estudantes aprovados a PAIc = 59% e para estudantes reprovados a PAIc = 39%. O conceito 8-Regra do Octeto é *Conceito Estruturante* para os conceitos de 9-Ligações Simples (onde para estudantes aprovados a PAIc = 61% e estudantes reprovados a PAIc = 43%), 10-Ligações Duplas e 11-Ligações Triplas (onde para estudantes aprovados a PAIc = 59% e estudantes reprovados a PAIc = 39%) e 41-Estruturas de Lewis (onde para estudantes aprovados a PAIc = 57% e estudantes reprovados a PAIc = 35%). Os conceitos 10-Ligações Duplas e 11-Ligações Triplas são *Conceitos Estruturantes* respectivamente para os conceitos 35- Alcenos e 36- Alcinos, onde para estudantes aprovados a PAIc = 59% e PAIc = 39%, para ambos os conceitos. Os conceitos 35-Alcenos e 36-Alcinos são *Conceitos Estruturantes* para o conceito, 70-Reações de Alcenos e Alcinos.

A área nomeada de II, representa a região do grafo onde também há similaridade em baixos rendimentos entre os dois grupos analisados. Essa área compreende os conceitos de: 37-Ligações Covalentes Polares, 38-Polaridade, 39-Momento dipolar e 40-Forças de Interações Moleculares. Os conceitos de 7-Eletronegatividade (pertencente a área I) e 16-Ligações Covalentes são *Conceitos Estruturantes* para o conceito 37-Ligações Covalentes Polares. Para os dois grupos de estudantes a PAIc para o conceito 7-Eletronegatividade é similar, 31% e 29% respectivamente, já no conceito 16-Ligações Covalentes para o grupo de estudantes aprovados a PAIc = 58% e para o de estudantes reprovados a PAIc = 41%.

O conceito 37-Ligações Covalentes Polares apresenta para estudantes aprovados a PAIc = 31%, e para os estudantes reprovados a PAIc = 29%. Este conceito é *Conceito Estruturante* para o conceito de 38-Polaridade, que é *Conceito Estruturante* para o conceito 39-Momento Dipolar. Os conceitos 38 e 39 apresentam PAIc análogas a do conceito 37-Ligações Covalentes Polares. O conceito 39- Momento Dipolar é *Conceito Estruturante* para o conceito de 40-Forças de Interações Moleculares, onde para estudantes aprovados a PAIc = 44% e para estudantes reprovados a PAIc = 31% e é *Conceito Estruturado* do conceito 20-Geometria Molecular.

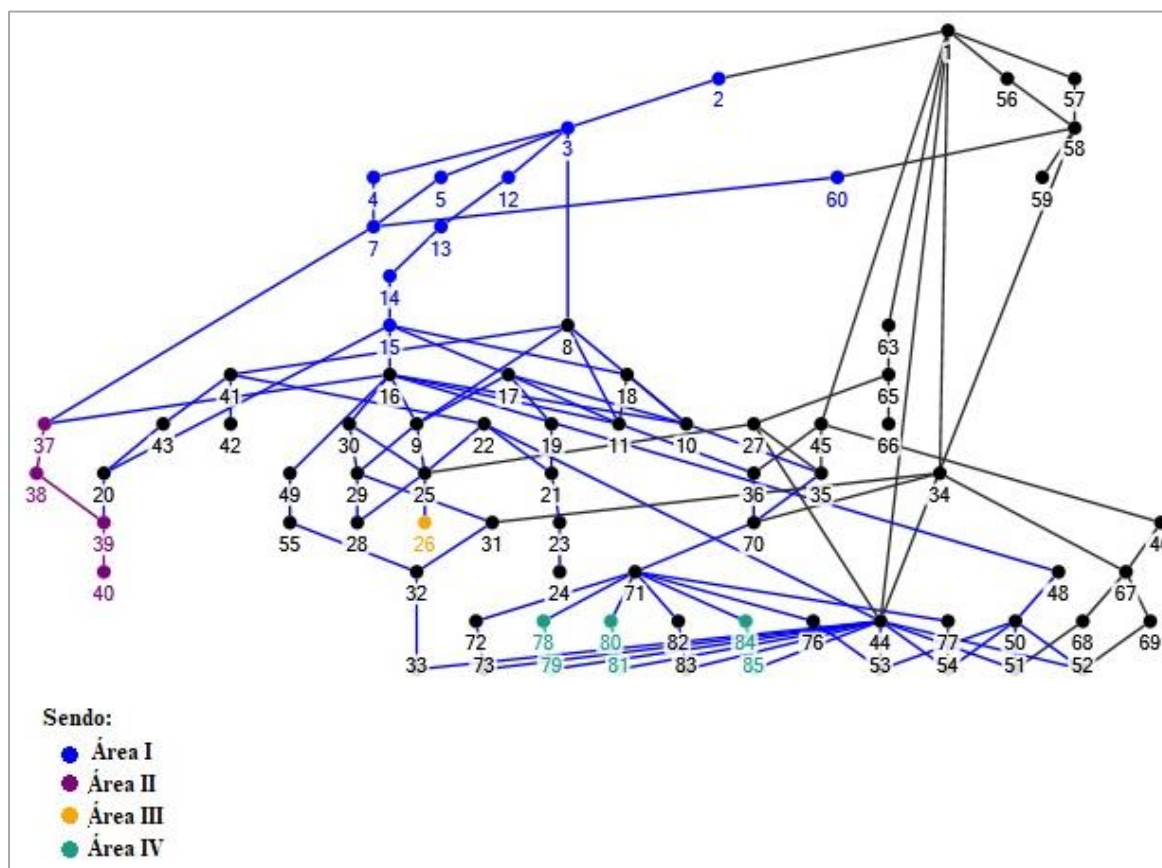
Além das áreas principais mencionadas acima, menores áreas de similaridade de baixos rendimentos também são encontradas. A área nomeada de III, representa um ponto do grafo onde da mesma forma há similaridade em baixo aproveitamento entre esses dois grupos, essa área compreende o conceito de 26-Tensão do Anel: Tensão Angular e Tensão Torsional, onde para os estudantes aprovados a PAIc = 49% e para estudantes reprovados a PAIc = 37%. Este conceito é *Conceito Estruturado* do conceito 25-Cicloalcanos. Mesmo sendo um ponto de dificuldade para esses dois grupos (ambos apresentam rendimento abaixo da média para este conceito) o grupo de estudantes aprovados apresenta rendimento superior, o que é explicitado pela coloração amarela do conceito no grafo (figura 14) dos estudantes aprovados e laranja no grafo dos estudantes reprovados.

A área nomeada de IV, também representa uma região do grafo onde há similaridade em baixos rendimentos entre esses dois grupos. Essa área compreende os conceitos de 78/79-Reação e Mecanismo de Oximercuração - Desmercuração onde para os estudantes aprovados a PAIc = 40% e para estudantes reprovados a PAIc = 21%, 80/81- Reação e Mecanismo de Hidroboração - Oxidação onde para os estudantes aprovados a PAIc = 49% e para estudantes reprovados a PAIc = 25% e 84/85-Reação e Mecanismo de Adição Oxidativa de Alcenos onde para os estudantes aprovados a PAIc = 36%. e para estudantes reprovados a PAIc = 8%. Como ambos os grupos estudantis apresentam baixo aproveitamento, como já mencionada mais de uma vez anteriormente, o que pode estar ocorrendo é uma falha na apresentação ou na ordem de apresentação desses conceitos.

Doravante algumas considerações podem ser feitas. Primeiramente o conceito da região I em maior hierarquia a apresentar diferenças significativas entre os dois grupos investigados, o conceito 3-Distribuição Eletrônica, é *Conceito Estruturante* para dois conceitos dos quais seguem relações conceituais responsáveis (e que se deu ênfase em parágrafos anteriores) pela fundamentação da aprendizagem das duas abordagens sobre ligações químicas exaustivamente utilizadas em Química Orgânica, **Química Quântica** e **Regra do Octeto**. Em segundo lugar, a partir desses dois conceitos, a representação entre nós e arestas do grafo (análogos respectivamente aos conceitos e preposições) se adensa, propagando-se por grande parte do grafo, e conecta-se com as demais áreas II, III e IV de similaridades em dificuldades entre os dois grupos. Em terceiro lugar, as demais áreas de similaridade de dificuldades citadas são menores e estão todas situadas nas extremidades do grafo, assim, conforme as relações estabelecidas, conclui-se que a influência que elas sofrem da área I é maior do que sua capacidade de influenciar outros conceitos pertencentes ao grafo. Desta maneira, para um

melhor entendimento sobre a propagação da Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc considerou-se que uma representação pictórica seria mais apropriada. Segue abaixo (figura 15) o grafo elaborado para explicitar a propagação das Porcentagens de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc nas áreas de similaridades em dificuldades.

Figura 15- Grafo com a propagação das áreas de similaridade em dificuldades.



Fonte: Autoria própria.

Na representação acima, aos nós do grafo (conceitos) das áreas I, II, III e IV atribuem-se as respectivas colorações: azul, roxa, amarela e verde. As arestas (ligações) entre os nós da mesma área receberam a mesma coloração das suas áreas de origem, por exemplo, à aresta entre os conceitos 3 e 12, pertencentes a área I, foi atribuída a coloração azul. O caminho entre as relações entre *Conceitos Estruturantes* e *Conceitos Estruturados* foi colorido a partir das áreas definidas.

Desta forma, embora os dois grupos estudantis apresentem similaridades em regiões de dificuldades, os conhecimentos prévios dos estudantes possuem estabilidades distintas. A relevância do aprendizado significativo de um conhecimento prévio é evidenciada através da propagação das Porcentagens de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc no grafo. Isto

posto, a partir das investigações realizadas conclui-se que **A regra do Octeto** e a **Química Quântica (AO e OM)** são os primeiros conceitos que diferenciam os estudantes aprovados dos estudantes reprovados.

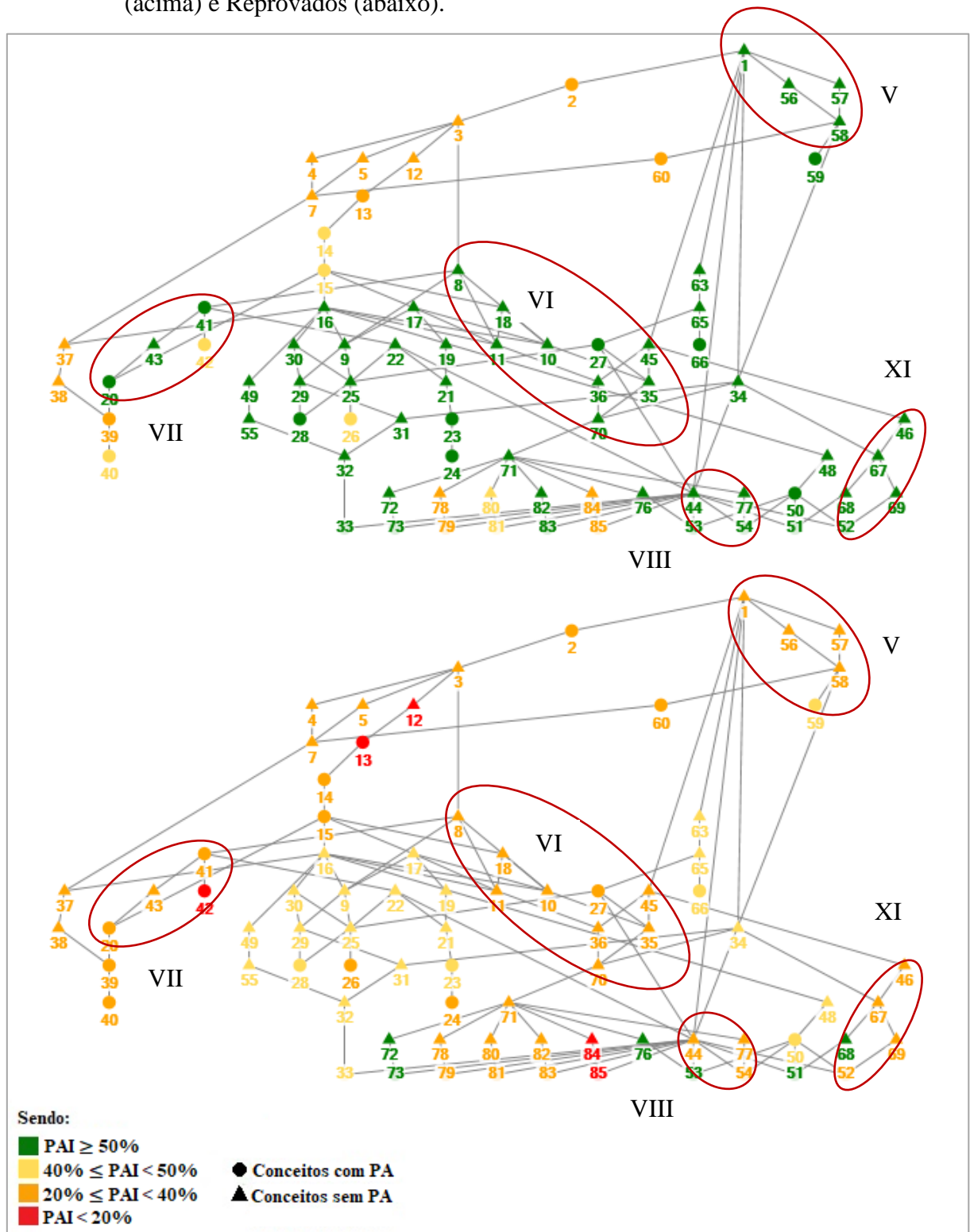
5.8.1.2 Investigação de Regiões Diferenciais

Iniciamos as análises a partir de regiões onde os estudantes apresentaram grau similaridades em baixos aproveitamentos, agora analisaremos as principais regiões onde há diferenças nas classificações de aproveitamentos entre os grafos dos estudantes aprovados e reprovados. Tais regiões foram circuladas de vermelho (fig. 16 abaixo).

A região nomeada de VI já foi comentada nas análises anteriores: ela apresenta relação com as áreas de similaridade definidas. Iniciando pela área VII temos o conceito de 20- Geometria Molecular. Este conceito está ligado a área I, e por isso retomaremos a análise da conexão existente entre ele e esta área. O conceito de 15- Orbitais Moleculares (pertencente a Área I) é *Conceito Estruturante* do conceito 20- Geometria Molecular. O conceito de 41- Estruturas de Lewis é *Conceito Estruturante* para o conceito 43- Teoria de RPECV, que apresenta para estudantes aprovados PAIc = 51% e para os estudantes reprovados PAIc = 38%. O conceito 43- Teoria de RPECV, é *Conceito Estruturante* para o conceito de 20- Geometria Molecular, onde também, para estudantes aprovados a PAIc= 51% e reprovados PAIc = 38%.

O conceito 41-Estruturas de Lewis + Carga Formal, citado acima, além de ser *Conceito Estruturante* para o conceito já citado anteriormente 43-Teoria de RPECV, também é *Conceito Estruturante* para o conceito 42-Estruturas de Ressonância, onde para estudantes aprovados a PAIc = 44% e para estudantes reprovados a PAIc = 17%, e o conceito 22-Representação das Fórmulas Estruturais, onde para estudantes aprovados a PAIc = 60% e para estudantes reprovados a PAIc = 42%. O conceito 22-Representação das Fórmulas Estruturais é *Conceito Estruturante* para os conceitos de 21-Confôrmeros (onde para estudantes aprovados PAIc = 64% e para estudantes reprovados = 45%), 25-Cicloalcanos (onde para estudantes aprovados PAIc = 56% e para estudantes reprovados = 41%) e 44-Mecanismos de Reação (onde para

Figura 16 - Comparação de diferenças de aproveitamento entre os estudantes Aprovados (acima) e Reprovados (abaixo).



Fonte: Autoria própria.

estudantes aprovados PAIc = 60% e para estudantes reprovados = 40%). O conceito 21-Confôrmeros, citado acima, é *Conceito Estruturante* para o conceito de 23-Análise Conformacional, (onde para estudantes aprovados PAIc = 64% e para estudantes reprovados = 45%), é *Conceito Estruturante* para o conceito de 24-Conformações do Cicloexano (onde para estudantes aprovados PAIc = 51% e para estudantes reprovados = 24%). Através da análise da área VII foi possível perceber que os conceitos investigados são aqueles que tratam, portanto, são responsáveis pela construção do aprendizado das **Representações Estruturais**. Consoante as PAIc dos dois grupos analisados esse é outro conceito que diferencia os estudantes aprovados dos estudantes reprovados.

Tanto a área VI, quanto a VII, duas das áreas que diferenciam os grupos de estudantes, sofrem a consequência da propagação das dificuldades da área I. Mais uma vez o fato de duas áreas apontadas como principais em relação a diferenças de Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc entre os estudantes aprovados e estudantes reprovados, portanto, que os diferenciam, estarem inclusas na região de propagação da área I só endossa a importância dos conceitos de **Regra do Octeto e Química Quântica: AO e OM** para o aprendizado dos demais conceitos da disciplina.

A região nomeada de V incluiu os conceitos: 1-Moléculas Orgânicas, 56-Ácidos, 57-Bases, 58-Reações de Equilíbrio Ácido-Base e 59-Ka-pKa. Esse conjunto de conceitos está em hierarquia superior no grafo e, também são caracterizados como *Conceitos Estruturantes* para a disciplina de Química Orgânica I. Analisando a relação dos conceitos contidos na área V, temos que o conceito 1-Moléculas Orgânicas é *Conceito Estruturante* para os conceitos de 56-Ácidos e 57-Bases. Os conceitos 56 e 57 são *Conceitos Estruturantes* para o conceito de 58-Reações de Equilíbrio Ácido-Base, onde para estudantes aprovados a PAIc = 58% e para estudantes reprovados a PAIc = 36%. O conceito de 58-Reações de Equilíbrio Ácido-Base é *Conceito Estruturante* para o conceito 59-Ka e pKa onde para estudantes aprovados a PAIc = 79% e para estudantes reprovados a PAIc = 45%. O conceito 59-Ka e pKa é o conceito onde há a maior diferença de PAIc entre os estudantes aprovados e reprovados (diferença de 34%), este valor indica que os estudantes reprovados apresentam dificuldades em seus *Conceitos Estruturantes*, como demonstra o aproveitamento em 58-Reações de Equilíbrio Ácido-Base. É oportuno lembrar que ao conceito 58-Reações de Equilíbrio Ácido-Base estão subordinados os conceitos de “Ácido de Bronsted-Lowry”, “Base de Bronsted-Lowry”, “Ácido Conjugado”, “Base Conjugada”, “Ácido de Lewis”, “Base de Lewis”, “Eletrófilos” e “Nucleófilos”, constantemente utilizados em Química Orgânica.

Além do conceito 59-Ka e pKa, o baixo aproveitamento no conceito 58-Reações de Equilíbrio Ácido-Base, impacta diretamente o entendimento dos conceitos: 60-Relação entre Estrutura e Acidez (pertencente a Área I), onde para estudantes aprovados a PAIc = 34% e para estudantes reprovados a PAIc = 23% e 44-Mecanismos de Reação, onde para estudantes aprovados a PAIc = 60% e para estudantes reprovados a PAIc = 40%. O conceito 44-Mecanismos de Reação, é *Conceito Estruturante* para o conceito 54/77-Reação e Mecanismo de Reação de Hidratação Catalisada por Ácido onde para estudantes aprovados a PAIc = 70% e para estudantes reprovados a PAIc = 40%, ambos pertencentes a área VIII, outra área onde é possível observar diferenças de aproveitamentos entre os grafos dos grupos analisados.

Ainda, o conceito 60-Relação entre Estrutura e Acidez para ambos os grupos estudantis analisados apresenta a classificação (laranja), o que demonstra que apesar de os estudantes aprovados possuírem classificações melhores na região V, eles estão apresentando dificuldades em aplicar seus conhecimentos prévios sobre Acidez e Basicidade no aprendizado do conceito 60-Relação entre Estrutura e Acidez. Desta forma, a partir da análise da área V e de demais conceitos a ela relacionados, destaca-se mais um tópico que diferencia estudantes aprovados de estudantes reprovados: **Ácidos e Bases**.

Por fim os conceitos 46-Haletos de Alquila, 67-Reações de Haleto de Alquila, que se relacionam com os conceitos 69/52-Reações de Eliminação e Mecanismos de Reação E2 e E1, onde para estudantes aprovados PAIc = 53% e para estudantes reprovados PAIc = 27% também constituem uma área onde a PAIc apresenta diferenças de aproveitamento acentuadamente inferior entre os dois grupos de estudantes investigados. Esses conceitos apresentam ligação com as áreas V e VI, (mencionadas anteriormente) sendo impactados pela aprendizagem dos conceitos pertencentes a elas em maior proporção de que conseguem impactar outros conceitos, já que estão localizados na extremidade do grafo.

Através das análises efetuadas observou-se que tanto na Área I (maior área de similaridade de dificuldades entre estudantes) quanto na Área V (primeira área em hierarquia a diferenciar as dificuldades entre os estudantes) o diferencial entre estudantes aprovados e estudantes reprovados está nas Porcentagens de Aproveitamento Indireto por conceito- PAIc de conceitos estruturantes da disciplina, evidenciando como já mencionado anteriormente segundo a Teoria da Aprendizagem Significativa que o conhecimento prévio é a variável mais importante a afetar a aprendizagem.

5.8 Relação entre PAc e PAIc

A tabela 8, “Valores de PAc e PAIc para cada grupo estudantil classificado”, apresenta os valores de PAc e PAIc para cada grupo de estudantes classificado. Para a análise de PAc em comparação a PAIc foram consideradas os valores tabelados em que a PAc e PAIc de um determinado conceito apresentaram diferenças $\geq 5\%$, isso porque se considerou que as demais diferenças inferiores a este valor estipulado foram pouco expressivas. Assim sendo, os conceitos de 2- Carbono, 14-Orbitais Atômicos Híbridos sp^3 , sp^2 e sp , 15-Orbitais Moleculares, 20-Geometria Molecular, 23-Análise Conformacional, 39-Momento Dipolar, 41-Estruturas de Lewis + Carga Formal e 50-Carbocátions e Carbânions, foram os que atenderam a esse critério. A relação entre *Conceitos Estruturantes* e *Conceitos Estruturados* estabelecida (quadro 4) e utilizada para a elaboração do grafo, serviu de referência para a investigação dos valores obtidos na relação PAc em comparação a PAIc que será discutida a seguir. É importante lembrar que *Conceitos Estruturantes* são os conceitos situados em hierarquia superior e são imprescindíveis ao aprendizado e a resolução de questões contendo os *Conceitos Estruturados*, que estão em hierarquia inferior.

Os conceitos de 2-Carbono, 20-Geometria Molecular, 23-Análise Conformacional, 41-Estruturas de Lewis + Carga Formal e 50-Carbocátions e Carbânions são os que apresentaram $PAc > PAIc$ (vide tabela 9). A obtenção deste resultado pode ser um indicativo de que os estudantes ainda apresentam dúvidas em *Conceitos Estruturantes* que estão se perpetuando nos *Conceitos Estruturados*. Também, o fato de a PAc em *Conceitos Estruturantes* ser maior do que a de *Conceitos Estruturados*, pode indicar que o estudante aprendeu o *Conceito Estruturante* o suficiente somente para responder à questão específica deste conceito, mas, não consegue ou apresenta dificuldade em aplicá-lo em um novo contexto. Em outras palavras, este pode ser um indicativo de Aprendizagem Mecânica. Os conceitos são acumulativos, portanto, dependentes, tal fato explica por que $PAc > PAIc$.

Tabela 9 - Relação entre PAc e PAIc.

CONCEITO	Superiores		Aprovados		Médio		Reprovados		Inferiores		PAc X PAIc
	PAc (%)	PAIc (%)	PAc (%)	PAIc (%)	PAc (%)	PAIc (%)	PAc (%)	PAIc (%)	PAc (%)	PAIc (%)	
2-Carbono	-	-	-	-	-	-			41%	36%	PAc > PAIc
14-Orbitais Atômicos Híbridos sp ³ , sp ² e sp	49%	54%	-	-	-	-	17%	22%	11%	17%	PAc < PAIc
15-Orbitais Moleculares	-	-	34%	50%	28%	43%	13%	31%	16%	30%	PAc < PAIc
20-Geometria Molecular	66%	60%	61%	51%	55%	47%					PAc > PAIc
23-Análise Conformacional	-	-	71%	64%	65%	57%	55%	45%	51%	38%	PAc > PAIc
39-Momento Dipolar	-	-	-	-	25%	30%	-	-	-	-	PAc < PAIc
41-Estruturas de Lewis + Carga Formal	73%	64%	67%	57%	59%	49%	43%	35%	43%	33%	PAc > PAIc
50-Carbocátions e Carbânions	93%	80%	77%	70%	-	-	55%	49%	-	-	PAc > PAIc

Fonte: Autoria própria.

O grupo de estudantes com desempenho Inferior é o único que apresenta PAc em comparação a PAIc para o conceito 2-Carbono. A relação $PAc > PAIc$ pode ser indicativo que os estudantes desse grupo não estão conseguindo aplicar seu conhecimento sobre carbono a novos conceitos, por exemplo, 3-Configuração Eletrônica, *Conceito Estruturado* do conceito 2-Carbono.

O conceito 20-Geometria para todos os grupos apresenta $PAc > PAIc$. Tal fato pode indicar que o estudante não está conseguindo aplicar o aprendizado, por exemplo, para definir o 39- Momento Dipolar (*Conceito Estruturado*) de uma molécula. Também há a possibilidade de que os estudantes tragam dúvidas em *Conceitos Estruturantes* do conceito de 20-Geometria. Este conceito apresenta os conceitos de 15-Orbitais Moleculares e 43-RPECV como seus *Conceitos Estruturantes*. Além disso, da análise dos grafos foi possível notar que ambos os conceitos pertencem à área do grafo caracterizadas por baixos valores de PAIc.

Para todos os grupos de estudantes o conceito de 23-Análise Conformacional apresenta $PAc > PAIc$. O que pode ser indicativo que os estudantes não estão conseguindo aplicar o conhecimento sobre este conceito na resolução de questões que tenham como tema, por exemplo, o conceito de 24-Conformações do Cicloexano, *Conceito Estruturado* por ele. É importante destacar que para o grupo de estudantes aprovados e reprovados a PAc destes conceitos está acima da média, 55% e 51% respectivamente, porém após os cálculos de PAIc o aproveitamento desses grupos ficou abaixo da média, 45% e 38% respectivamente.

O fato que o conceito 41-Estruturas de Lewis + Carga formal apresenta $PAc > PAIc$, pode indicar que os estudantes não estão conseguindo aplicar este conhecimento aos conceitos de 42- Estruturas de Ressonância e 43-RPECV, *Conceitos Estruturados* por este conceito. Além disso, os estudantes com desempenho médio, que apresentam PAc acima da média (59%), apresentam PAIc abaixo da média (49%). Os estudantes aprovados e reprovados que já apresentavam este conceito abaixo da média (ambos os grupos, 43%), apresentam valor de PAIc ainda menor; 35% e 33% respectivamente.

Por fim, o conceito 50-Carbocátions e Carbânions, que também apresenta $PAc > PAIc$, pode indicar que os estudantes estão apresentando dificuldades em aplicar esses conceitos, por exemplo, aos conceitos de 50-Mecanismos de Reação S_N2 e S_N1 , 52- Mecanismos de Reações E2 e E1, 54- Mecanismo de Reação de Hidratação Catalisada por Ácido e 53- Mecanismo de Reação de Hidroalogenação, ou que trazem dúvidas em seu *Conceito Estruturante*, 48-Heterólise de Ligação Apesar disso, para o grupo de estudantes com desempenho superior e

aprovados este conceito apresenta tanto valor de PAc quanto PAIc acima da média. Para o grupo de estudantes reprovados o valor de PAI fica ligeiramente abaixo da média (49%).

Os conceitos 14-Orbitais Atômicos Híbridos sp^3 , sp^2 e sp , 15-Orbitais Moleculares e 39-Momento Dipolar são os que apresentaram $PAc < PAIc$ (ver tabela 9). A obtenção de $PAc < PAIc$ para estes conceitos pode nos dar indicativos que a concepção conceitual inicial do estudante foi modificada ou fortalecida, pois o entendimento dos *Conceitos Estruturantes* é necessário à resolução das questões posteriores (com *Conceitos Estruturados*) apresentadas.

O conceito de 14-Orbitais Atômicos Híbridos sp^3 , sp^2 e sp , tanto para o grupo de estudantes com desempenho superior quanto para o grupo de estudantes reprovados e com desempenho inferior, apresenta $PAc < PAIc$, seria indicativo de que este conceito está conseguindo ser aplicado a novos conceitos que o requerem como *Conceito Estruturante*, (conhecimento prévio). Assim, $PAc < PAIc$, pode significar que este conceito está sendo modificado ou fortalecido através da interação entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio (*Conceitos Estruturantes e Estruturados*). Apesar dessa relação ser um indicativo positivo, os estudantes reprovados e com desempenho inferior já apresentavam baixa PAc neste conceito, 17% e 11% respectivamente e apesar de PAI ter melhorado, 22 e 17%, ela ainda está consideravelmente abaixo da média.

Para o conceito de 25-Orbitais Moleculares $PAc < PAIc$ para o grupo de estudantes aprovados, com desempenho médio, reprovados e inferior, e assim como o conceito descrito anteriormente essa relação poderia ser um indicativo de que este conceito estaria sendo fortalecido através da interação entre *Conhecimentos Estruturantes e Estruturados* (conhecimento prévio e o novo conhecimento). Apesar disso, novamente aqui para os estudantes com desempenho médio, estudantes reprovados e estudantes com desempenho inferior este conceito já apresentava PAc abaixo da média (28%, 13% e 16% respectivamente), e mesmo com o indicativo de melhora demonstrada por PAIc, eles continuam abaixo da média (43%, 31% e 30% respectivamente).

Para finalizar, o grupo de estudantes com desempenho médio é o único que apresenta PAc em comparação a PAIc para o conceito 39-Momento Dipolar, segundo os critérios estabelecidos, ou seja, $PAc \geq PAIc$ com diferença ≥ 5). A relação $PAc < PAIc$ pode ser indicativo que os estudantes desse grupo estão conseguindo aplicar seu conhecimento a novos conceitos, por exemplo, 40-Forças de Interações Moleculares, *Conceito Estruturante* do conceito 39-Momento Dipolar.

Apesar de o universo de conceitos onde foi possível investigar a relação entre PAc e PAIc tenha sido reduzido, acreditamos que tenha sido possível investigar através de uma comparação entre os dados obtidos de PAc x PAIc e o grafo elaborado se tais relações apresentavam indicativo de Aprendizagem Significativa ($PAc < PAIc$) ou mecânica ($PAc > PAIc$).

5.9 Perspectivas dos Resultados obtidos

Uma vez mapeados os conceitos disciplinares através da elaboração do Mapa Conceitual da Disciplina, identificados os conhecimentos prévios da disciplina através da hierarquia conceitual contida no Mapa Conceitual, atribuídos os aproveitamentos conceituais e identificadas as dificuldades conceituais estudantis através da investigação da Porcentagem de Aproveitamento por Conceito - PAc e investigadas as propagações das dificuldades e as regiões conceituais similares e diferenciais entre os grupos estudantis classificados através do grafo elaborado da disciplina e do cálculo de Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc proposto, avaliamos as perspectivas dos resultados obtidos. Embora essa avaliação não esteja diretamente definida como parte dos objetos do trabalho, ela faz parte da motivação desta pesquisa, a qual é a de investigar o porquê a Química Orgânica é uma disciplina desafiadora. Ainda que saibamos que a resposta a esta pergunta é abrangente, inclui muitos outros fatores e não se esgotará com conclusão deste trabalho, consideramos pertinente realizar uma primeira exploração dos resultados obtidos.

Assim sendo, os conceitos ressaltados em análises anteriores, **Química Quântica (OA e OM)**, **Regra do Octeto**, **Representações Estruturais e Ácidos e Bases**, são conhecimentos prévios trabalhados em disciplinas pré-requisitos e revistos no início do curso de Química Orgânica I, deste modo, algumas possibilidades para os resultados notados podem ser avaliadas. Durante a revisão da disciplina, pode ser que o estudante considere que já tenha domínio sobre o assunto, ou que não precise revê-lo no contexto da disciplina, ou até mesmo que ele acompanhe as revisões, mas que não entenda a sua ligação com os demais conceitos que serão apresentados, portanto, desconsidere que ela contenha conceitos que necessariamente ele precise ter domínio. As possibilidades descritas acima exemplificam os fatores enunciados no modelo de aprendizagem de Jarvis e são segundo ele responsáveis pela não aprendizagem. Tais razões descritas são: “presunção, (eu já sei disso), não consideração (eu não preciso saber disso) ou rejeição (eu pensei sobre isso mas, não é relevante que eu saiba)” (1998 apud HAY;

KINCHIN; LYGO-BAKER, 2008, p. 297)⁵. A perspectiva do Modelo de Aprendizagem de Jarvis pode contribuir para o entendimento do porquê a relação entre os conceitos revisados (conhecimentos prévios) e os novos conhecimentos, bem como o entendimento de que a revisão está sendo feita justamente para evidenciar essa relação não está sendo bem-sucedida.

Algumas intervenções, como a utilização do próprio Método de Mapeamento de Conceitos, poderiam, por exemplo, serem utilizadas como exercício metacognitivo a fim de expor ao estudante qual o seu conhecimento (o que eu sei sobre isso?). Este método poderia ser utilizado também para averiguar os conhecimentos prévios dos estudantes acerca dos conceitos destacados anteriormente, explicitando desta maneira sua relevância para o aprendizado significativo da disciplina (é necessário saber disso! Pense sobre isso porque é algo que realmente você deve dominar!).

Outras causas para as Porcentagens de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc observadas podem ser advindas das diversas experiências de aprendizagem estudantis anteriores. Esse fato pode ser melhor elucidado através das observações de Ausubel (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980) sobre alguns fatores que dispõem os estudantes a aprendizagem mecânica. Primeiramente, muitos professores desconsideram respostas se elas não forem cópias literais do conteúdo de aprendizagem apresentado. Em segundo lugar, a ansiedade e resultados malsucedidos de outras disciplinas podem fazer com que o aluno perca a confiança em aprender significativamente. Não é desconhecido, por exemplo, que inúmeras vezes o ensino tradicional no qual os estudantes estão inseridos propicia e até recompensa a aprendizagem mecânica. Em terceiro lugar, quando pressionados, os estudantes passam a omitir suas dúvidas. Sobre o último fator mencionado, é importante considerar que tal pressão pode vir tanto da parte dos professores quanto dos próprios estudantes, pois se observa que aqueles que expõem suas dúvidas muitas vezes não são bem vistos pelos seus colegas. Como melhor disserta Ausubel (1980, p. 36).

[...] os alunos desenvolvem uma disposição para a aprendizagem automática, se passam a sentir-se excessivamente pressionados para demonstrar desembaraço ou omitir suas dificuldades pessoais em compreender genuinamente um determinado assunto, em lugar de admiti-las e gradualmente vencê-las.

Além disso, segundo alguns autores, há outros aspectos relevantes que devam ser considerados no processo de Aprendizagem Significativa, como a Disjunção e a Estase. A disjunção ocorre quando o conhecimento prévio e o novo conhecimento se tornam

⁵ Jarvis, P., Holford, J., & Griffin, C. **The Theory and Practice of Learning**. London: Kogan Page, 1998.

irreconciliáveis, assim, o estudante que anteriormente conseguia compreender um dado conceito mediante a um novo aprendizado, que o utiliza como subsunçor, sente que não domina mais o que aprendeu. Deste modo a sua estrutura de pensamento passa por um momento de reelaboração. Os momentos de disjunção são difíceis e podem fazer com que o aluno tenda a aprendizagem mecânica, portanto, investigar quais momentos da disciplina estão propensos ele pode ajudar o professor a orientar o estudante a superar este desafio. (HAY; KINCHIN; LYGO-BAKER, 2008).

A apresentação das Reações Substituição Nucleofílica de Haletos de Alquila, por exemplo, é seguida da apresentação das Reações de Eliminação de Haletos de Alquila. Quando os processos que favorecem um tipo de reação em detrimento da outra são relatados, o que se observa é que muitas vezes os estudantes sentem-se “perdidos”, como se o conhecimento anterior fosse irreconciliável com o novo conhecimento, dando a impressão de que eles sabiam menos do que antes, ou seja, características pertencentes a disjunção. Neste processo de reorganização conceitual, apesar do esforço em aprender, o que os estudantes vivenciam é a falta momentânea de resultados, portanto legitimar esse processo e investigar os conceitos propensos a ele, pode orientar que eles não desistam de aprender significativamente.

O segundo aspecto citado a ser considerado no processo de Aprendizagem Significativa, a estase conceitual, faz parte da natureza pontuada da aprendizagem. Ela considera o aprendizado como não linear, ou seja, que há longos momentos de estagnação seguidos de momentos de rápida aprendizagem. A estase, portanto, não significa não aprendizagem, ela é um fenômeno previsto nesse processo. A natureza pontuada da aprendizagem é explicitada pela existência dos denominados conceitos de limiares ou conceitos portais. Segundo Kinchin (2010, p. 54) “Limiares são alguns conceitos - chave de uma disciplina que devem ser ultrapassados, antes que um aluno necessite desenvolver sua compreensão além de um nível de iniciante.”

De maneira não detalhada (pois não é o objetivo deste trabalho) e segundo os resultados obtidos, esta pesquisa arisca-se a propor candidatos a conceito portal da disciplina de Química Orgânica I. Um conceito portal é responsável por transformar a visão que se tem de um determinado ramo de conhecimento, ele deve ser um conceito *transformativo, irreversível, integrativo, limitado e potencialmente problemático*. (KINCHIN, 2010).

A partir do gráfico 9, “Dados de porcentagem de aproveitamento por conceito - PAC levando-se em consideração toda a amostra” (exposto na seção 5.3), observou-se que o conceito de “OA e OM” foi o único em que a tendência do grupo estudantes com desempenho superior apresentou clara diferença dos demais grupos classificados. Também, na análise dos grafos

elaborados independente do grupo de estudantes classificado, observou-se que há dificuldade no conceito de “Química Quântica”. Para o aprendizado do conceito **Química Quântica: OA e OM** e do conceito de Regra do Octeto é requerido que os estudantes ao longo da disciplina utilizem dois processos pertencentes a Aprendizagem Significativa, a *Reconciliação Integrativa* e *Diferenciação Progressiva*, por exemplo: A Regra do Octeto e a **Química Quântica: OA e OM** abordam como são estabelecidas as ligações Químicas (*Reconciliação Integrativa*), porém a **Química Quântica: OA e OM** considera a dualidade onda partícula do elétron (*Diferenciação Progressiva*), apesar disso quando é necessário a atribuição da hibridização de um composto orgânico, são às Estruturas de Lewis que se recorre. Ainda, o conceito de **Química Quântica: OA e OM** é um tipo de *Aprendizagem Significativa Superordenada*. Assim sendo, o domínio do Conceito **Química Quântica: OA e OM** é responsável por diferenciar o desempenho superior do desempenho dos demais grupos estudantis classificados e por consequência o entendimento e desenvolvimento da disciplina, pois como demonstrado nas análises descritas nas seções anteriores, este conceito impacta o aprendizado de grande parte da disciplina. Desta maneira este seria o primeiro candidato proposto a conceito portal.

Igualmente, o conceito de e **Ácidos e Bases**, que está na área V do grafo representado pela figura 16 (que trata das principais áreas de diferenças conceituais entre estudantes aprovados e estudantes reprovados) é um conceito que abrange as demais definições de Ácidos e Bases e subordina conceitos importantes como o de Nucleófilos e Eletrófilos. Tal conceito também se enquadra nas características descritas acima para um conceito portal. De modo análogo ao conceito de **Química Quântica: OA e OM**, no processo de aprendizagem deste conceito é requerido que os estudantes ao longo da disciplina utilizem os processos de *Reconciliação Integrativa* e *Diferenciação Progressiva*, por exemplo: Ácidos de Lewis e Ácidos de Bronsted são ácidos (*Reconciliação Integrativa*), porém possuem diferentes características (*Diferenciação Progressiva*). Ainda, o conceito de Ácidos e Bases de Lewis, é um *Conceito Superordenado*, pois abrange as demais definições de Acidez e Basicidade. Desta forma, o domínio do Conceito de **Ácidos e Bases** é também responsável por diferenciar o desempenho dos grupos estudantis classificados e por consequência o entendimento e desenvolvimento da disciplina impactando seu aprendizado, portanto, este seria outro candidato proposto a conceito portal.

Ainda, são diversas as **Representações Estruturais** utilizadas durante a disciplina. (outro conceito em destaque em nossa análise). O tipo de Aprendizagem Significativa utilizada

para a aprendizagem dos diferentes tipos de representação é a aprendizagem *Subordinada Derivativa*, porém após seu domínio as Representações Estruturais tornam-se, em relação à disciplina de Química Orgânica, um tipo de *Aprendizagem Significativa Superordenada*, pois estão diretamente relacionadas a capacidade de escrever e compreender os mecanismos de reação. Além disso, é necessário que os estudantes façam conciliações e diferenciações durante o aprendizado das diferentes representações, que aprendam a realizar a interconversão entre elas, significando em inúmeros casos converter uma representação 2D para uma 3D, fazendo parte de uma competência denominada de Representacional (HORNBUCKLE; GOBIN; THURMAN, 2013). Segundo PADALKAR e HEGARTY (2015, p. 3):

A informação espacial na ciência é frequentemente expressa por meio de representações como diagramas e modelos. Aprender os pontos fortes e as limitações dessas representações e como relacioná-los são aspectos importantes do desenvolvimento da compreensão científica, conhecida como Competência Representacional.

Assim, para que os estudantes possam usufruir dos benefícios que as representações trazem para a comunicação da Química Orgânica e necessário que essa competência seja desenvolvida. Desta maneira, o conceito de **Representações Estruturais** impacta diretamente na comunicação da Química Orgânica e este portanto, é o terceiro conceito apontado como candidato a Conceito Portal da disciplina.

Refletindo sobre intervenções possíveis para o desenvolvimento da competência Representacional é que as sugestões a seguir foram propostas. O desenvolvimento da competência Representacional poderia ser favorecido através da revisão do currículo do curso de Bacharelado em Química, por exemplo: a disciplina de Cristalografia (que atualmente está no sétimo período e trabalha representações, com enfoque que difere da Química Orgânica, mas que pode contribuir com o desenvolvimento da competência representacional, habilidade requerida na disciplina), poderia ser oferecida com maior proximidade da disciplina de Química Orgânica I. Até mesmo a própria disciplina de Geometria Analítica que segundo o programa da disciplina “visa familiarizar os alunos com a geometria analítica no plano e no espaço, com ênfase nos seus aspectos geométricos e suas traduções em coordenadas cartesianas” oferecida no primeiro semestre, poderia ser oferecida no segundo semestre, mais próximo da disciplina de Química Orgânica I. No entanto, entende-se que tais decisões também devem considerar as necessidades de outras disciplinas.

Por fim, pode-se sucintamente apresentar um esboço (pois não é o objetivo desta pesquisa) para o próximo passo, propor uma organização programática que considere o referencial teórico adotado. Sobre isso Ausubel (1980, p. 158) argumenta que:

Uma vez que o problema substantivo organizacional (identificar os conhecimentos básicos organizadores numa dada disciplina) for resolvido, a atenção pode ser dirigida para os problemas de organização programática envolvidos na apresentação sequencial das unidades componentes.

Desta maneira sugere-se que o curso seja organizado segundo os princípios de *Diferenciação Progressiva* e *Reconciliação Integrativa*. Conforme a *Diferenciação Progressiva*, os assuntos mais inclusivos são apresentados primeiramente e então são progressivamente diferenciados. Na *Reconciliação Integrativa* são exploradas as relações entre ideias, demonstrando suas semelhanças e diferenças significativas e reconciliando inconsistências reais ou aparentes. (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980). A Química Orgânica é a disciplina que trata dos compostos de carbono, obtidos por meio de reações detalhadas através dos mecanismos de reações. Desta forma propõe-se que se apresente primeiro os tipos básicos de mecanismos de reações existentes, um número relativamente pequeno, para só depois diferenciá-los progressivamente e reconciliá-los. Após apresentá-los é que seriam trabalhados os conceitos necessários ao seu desenvolvimento tais como os destacados nas análises anteriores, **Química Quântica: OA e OM, Regra do Octeto, Representações Estruturais e Ácidos e Bases**, bem como os conceitos a eles subordinados, deixando dessa forma explícita a relevância desses conhecimentos prévios e sua relação com o desenvolvimento dos mecanismos de reações.

6 CONCLUSÕES

Na Introdução deste trabalho foram declaradas as dificuldades na disciplina de Química Orgânica, como seu enorme corpo de informações vistas em pouco tempo, seus assuntos sequencialmente dependentes, seu caráter acumulativo, necessidade de aprender a reconhecer padrões e visualizar espacialmente diversas estruturas. Destacou-se principalmente que esta disciplina tem sido caracterizada pelas altas taxas de reprovação, que contrastam com sua alta relevância.

Através das avaliações e das notas atribuídas pelo professor da disciplina foi possível investigar a Taxa de Aproveitamento - TA. As questões avaliativas foram então classificadas segundo o conceito central de que tratavam, conceitos estes pertencentes ao programa da disciplina. Assim foi possível associar a Taxa de aproveitamento - TA aos conceitos, obtendo desta forma a Porcentagem de Aproveitamento por Conceito - PAC, demonstrada de forma pictórica através do gráfico 9. As Taxas de Aproveitamento - TA e as Porcentagens de Aproveitamento por Conceito - PAC consistiram em parte importante da pesquisa, mas entendeu-se que como o conhecimento prévio, segundo a teoria da Aprendizagem Significativa, é a variável mais importante a afetar a aprendizagem, as investigações conceituais ganhariam sentido somente com análises que considerassem as relações entre conceitos. Ainda, refletiu-se neste ponto que apesar de uma determinada questão ter sido classificada por um tema central, à sua resolução é requerido o conhecimento de muitos outros conceitos. Este foi mais um motivo pelo qual se julgou importante entender o contexto a que determinado conceito estava relacionado, e para este fim foi elaborado um Mapa Conceitual da disciplina.

O Mapa Conceitual da disciplina (Anexo 2 e 3) foi elaborado com ajuda e supervisão de um especialista e mostrou as relações conceituais, hierarquia, reconciliações progressivas e diferenciações integrativas. Ao lado de cada conceito, onde foi possível atribuir PAC, foram colocados os valores obtidos. Porém, o objetivo do trabalho incluía investigar os impactos dessas dificuldades e para este propósito utilizou-se o Grafo. A utilização do grafo permitiu que escolhêssemos o tipo de relação que gostaríamos de estabelecer e investigar, sem que corrompêssemos o Método de Mapeamento de Conceitos. Seu uso, portanto, não excluiu a necessidade da construção do Mapa Conceitual, que declara o entendimento sobre a disciplina objeto deste estudo. Desta forma, relações diretas entre conceitos que foram denominadas de *Conceitos Estruturantes*, (conceitos em hierarquia superior - conhecimentos prévios, que fundamentam o aprendizado de demais conceitos em hierarquia inferior), e *Conceitos*

Estruturados, (aqueles que utilizarão os Conceitos Estruturados como base para o novo aprendizado) serviram de base para os cálculos que se propõe de Porcentagem de Aproveitamento Indireto por Conceito - PAIc.

O cálculo de PAIc permitiu que fizéssemos novas associações numéricas entre conceitos e porcentagens de aproveitamento, propiciando a análise de áreas de similaridades e diferenças conceituais entre as diferentes classificações estudantis promovidas com maior amplitude (uma maior variedade de conceitos com valor percentual associado) e praticidade, pois nele foi possível se ter uma visão ampla das classificações percentuais conceituais promovidas. Além disso, foi possível investigar a dificuldade em conhecimentos prévios, (porque o grafo manteve a hierarquia conceitual), e o impacto do aproveitamento desses conceitos (propagação das dificuldades).

Em decorrência dessas análises, observou-se que apesar de diferentes grupos apresentarem regiões semelhantes de baixo rendimento, o que os diferenciou foi a classificação desses rendimentos. Estudantes com desempenho superior, aprovados e com desempenho médio apresentaram melhores rendimentos em Conceitos Estruturantes ou posições iniciais. Estudantes com desempenho inferior e reprovados apresentaram menores rendimentos em um número maior de conceitos estruturantes. Outro fato que não pode deixar de ser mencionado é que quando comparamos o grafo dos estudantes aprovados e dos estudantes reprovados, tanto as regiões definidas de similaridades em baixos rendimentos quanto as que apresentam diferenças acentuadas de rendimento tiveram como destaque a presença de Conceitos Estruturantes. Destaca-se, através das análises realizadas, os conceitos de **Regra do Octeto: Orbital Atômico e Orbital Molecular, Química Quântica, Representações das Fórmulas Estruturais e Acidez e Basicidade**. O baixo aproveitamento nestes conceitos indica o baixo entendimento dos estudantes e esse baixo entendimento se propaga para os demais conceitos e impacta no aprendizado de toda a Química Orgânica I.

Admite-se que a busca por respostas a indagação que motivou essa pesquisa, “porque a Química Orgânica é considerada uma disciplina desafiadora?” é ousada, abrangente, envolve outros fatores e não se esgotará, como citado anteriormente neste trabalho. Um exemplo de fator a ser considerado é a perspectiva dos estudantes sobre a sua aprendizagem e desafios enfrentados na disciplina de Química Orgânica I. O próprio referencial teórico adotado afirma que uma das condições para que a Aprendizagem Significativa ocorra é a pré-disposição a aprender, por este motivo considera-se que o ponto de vista estudantil também deva ser

considerado em trabalhos futuros, pois neste trabalho a concepção de aprendizagem foi pautada nas avaliações.

Sendo assim, o objetivo principal do trabalho, que a partir de um estudo de caso com embasamento teórico na teoria da Aprendizagem Significativa, realizar um mapeamento curricular conceitual da disciplina de Química Orgânica I do curso de Bacharelado em Química do IQSC-USP, com o intuito de embasar o desenvolvimento de uma ferramenta diagnóstica conceitual capaz de investigar tanto os tópicos conceituais nos quais os estudantes apresentaram dificuldades, como os impactos destas dificuldades na aprendizagem da disciplina, foi atingido. Somente a partir dessa visão ampla julgamos que seja coerente propor, em estudos futuros, métodos e metodologias educacionais que melhor se adaptem às necessidades observadas, como, por exemplo, o próprio Método de Mapeamento de Conceitos. De acordo com Ausubel (1980, p. 14) “embora o conhecimento da causa não implique uma descoberta imediata de procedimentos de controle, isso contribui na investigação de tais procedimentos.”

Por fim, as maiores contribuições realizadas neste trabalho foram em primeiro lugar a autoavaliação de uma disciplina do ensino superior e em segundo lugar o desenvolvimento de uma ferramenta de Análise Conceitual da disciplina, que auxilie tanto professores a orientar de forma significativa quanto os estudantes a aprender de significativamente. Além disso, embora tenha sido desenvolvida através deste estudo de caso na disciplina de Química Orgânica I, a ferramenta de análise desenvolvida pode ser aplicada em outras disciplinas e constitui importante instrumento para melhorar o processo de ensino-aprendizagem dos estudantes. Para terminar, a Química Orgânica pode ser desafiadora, porém é igualmente polivalente, necessária e fascinante.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, J. G.; CORREIA, P. R. M. Como fazer bons mapas conceituais? Estabelecendo parâmetros de referências e propondo atividades de treinamento. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 13, n. 2, 2013.
- ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interamericana, 1980.
- BROWN, T. L.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E. **Química**: a ciência central. 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
- CLARK, J.; HOLTON, D. A. **A first look at graph theory**. [S. l.]: Allied Publishers, 1995.
- CORMIER, C.; VOISARD, B. Flipped classroom in organic chemistry has significant effect on students' Grades. **Frontiers ICT**, Lausanne, v. 4, p. 1–30, 2018.
- CORREIA, P. R. M.; AGUIAR, J. G.; VIANA, A. D.; CABRAL, G. C. P. Por que vale a pena usar mapas conceituais no ensino superior? **Revista de Graduação da USP**, São Paulo, v. 1, n. 1, 2016.
- DIEGELMAN-PARENTE, A. The use of mastery learning with competency-based grading in an organic chemistry course. **Journal of College Science Teaching**, Washington, v. 40, n. 5, p. 50–58, 2011.
- GROVE, N. P.; BRETZ, S. L. A continuum of learning: from rote memorization to meaningful learning in organic chemistry. **Chemistry Education Research and Practice**, Cambridge, v. 13, n. 3, p. 201–208, 2012.
- HAY, D. B. Using concept maps to measure deep, surface and non-learning outcomes. **Studies in Higher Education**, Abingdon, v. 32, n. 1, p. 39–57, 2007.
- HAY, D.; KINCHIN, I.; LYGO-BAKER, S. Making learning visible: the role of concept mapping in higher education. **Studies in Higher Education**, Abingdon, v. 33, n. 3, p. 295–311, 2008.
- HORNBUCKLE, S. F.; GOBIN, L.; THURMAN, S. N. Spatial reasoning: improvement of imagery and abilities in sophomore organic chemistry. perspective to enhance student learning. **Contemporary Issues in Education Research (CIER)**, Littleton, v. 7, n. 1, p. 45–50, 2013.
- HOROWITZ, G.; RABIN, L. A.; BRODALE, D. L. Improving student performance in organic chemistry: help seeking behaviors and prior chemistry aptitude. **Journal of the Scholarship of Teaching and Learning**, Indiana, v. 13, n. 3, p. 120–133, 2013.
- INSTITUTO DE QUÍMICA DE SÃO CARLOS. **Projeto pedagógico do curso de bacharelado em química - IQSC**. São Carlos, 2021. Disponível em: https://graduacao.iqsc.usp.br/files/PPC_2021_Junho.pdf. Acesso em 30 ago. 2022.

KINCHIN, I. M. Solving Cordelia's dilemma: threshold concepts within a punctuated model of learning. **Journal of Biological Education**, Abingdon, v. 44, n. 2, p. 53–57, 2010.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

LYNCH, D. J.; TRUJILLO, H. Motivational beliefs and learning strategies in organic chemistry. **International Journal of Science and Mathematics Education**, Dordrecht, v. 9, n. 6, p. 1351–1365, 2011.

MICARI, M.; PAZOS, P. Connecting to the professor: impact of the student-faculty relationship in a highly challenging course. **College Teaching**, London, v. 60, n. 2, p. 41–47, 2012.

MORAES, R.; GALIAZZI, M. C. **Análise textual discursiva**. 3. ed. Ijuí: Editora Unijuí, 2016.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. **Aprendizagem Significativa em Revista**, Porto Alegre, v. 1, n. 3, p. 25–46, 2011.

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. **Estatística básica**. 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2010. *E-book*. Disponível em: www.saraivauni.com.br. Acesso em 30 ago. 2022.

NOVAK, J. D. Meaningful learning: the essential factor for conceptual change in limited or inappropriate propositional hierarchies leading to empowerment of learners. **Science Education**, Hoboken, v. 86, n. 4, p. 548–571, 2002.

PADALKAR, S.; HEGARTY, M. Models as feedback: developing representational competence in chemistry. **Journal of Educational Psychology**, Washington, DC, n. 2, 2015. p. 451–467.

PHILLIPS, K. E. S.; GROSE-FIFER, J. A performance enhanced interactive learning workshop model as a supplement for organic chemistry instruction. **Journal of College Science Teaching**, Arlington, v. 40, n. 3, p. 90–98, 2011.

PORTO, P. A. A química no vestibular Fuvest (1980-2018). **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 32, n. 94, 2018.

POZO, J. I.; CRESPO, M. Á. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

RINPOCHE, S. **O livro Tibetano do viver e do morrer**. 1. ed. São Paulo: Palas Athena, 2013.

RUSSELL, J. B. **Química geral**. 2. ed. São Paulo: Pearson Makron Books, 1994. v. 1

SOLOMONS, T. W. G.; FRYHLE, C. B. **Química orgânica**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. v. 1

SOLOMONS, T. H. G.; FRYHLE, C. B.; SNYDER, A. S. **Química orgânica**. 12. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018. v. 1

STEEN, M. **Graph theory and complex networks: an introduction**. [S. l.]: Graph Theory and Complex Networks Maarten van Steen, 2010.

SUGIYAMA, K.; TAGAWA, S.; TODA, M. Methods for visual understanding of hierarchical system structures. **IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics**, New York, v. 11, n. 2, p. 109–125, 1981.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Júpiter - Sistema de Gestão Acadêmica da Pró-reitora de Graduação. Instituto de Química de São Carlos. Físico-Química. **Disciplina: SQF0322 – Química Orgânica I**. São Paulo: Superintendência de Tecnologia da Informação, 2021.

Disponível em:

<https://uspdigital.usp.br/jupiterweb/obterDisciplina?nomdis=&sgldis=SQF0322>. Acesso em 03 nov. 2021.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS. **Projeto pedagógico do curso de bacharelado em química/ química tecnológica- UFSCar**. São Carlos, 2005. Disponível em: https://www.dq.ufscar.br/graduacao/bacharelado/projeto_bqbqt.pdf. Acesso em 30 ago. 2022.

VILLAFANE, S. M.; XU, X.; RAKER, J. R. Self-efficacy and academic performance in first-semester organic chemistry: testing a model of reciprocal causation. **Chemistry Education Research and Practice**, Cambridge, v. 17, n. 4, p. 973–984, 2016.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ANEXO A



Universidade de São Paulo
Brasil



Júpiter - Sistema de Gestão Acadêmica da Pró-Reitoria de Graduação

Instituto de Química de São Carlos

Físico-Química

Disciplina: SQF0322 - Química Orgânica I
Organic Chemistry I

Créditos Aula: 4
Créditos Trabalho: 2
Carga Horária Total: 120 h
Tipo: Semestral
Ativação: 01/01/2013 **Desativação:**

Objetivos

Estudar as várias classes de compostos orgânicos relacionando as estruturas moleculares às propriedades físicas e às reatividades químicas. Estudar as reações dos compostos orgânicos e compreender seus mecanismos através dos fundamentos e conceitos.

Docente(s) Responsável(eis)

3739121 - André Luiz Meleiro Porto
92737 - Roberto Gomes de Souza Berlinck

Programa Resumido

Compostos de carbono e ligações químicas. Grupos funcionais. Nomenclatura de compostos orgânicos. Forças intermoleculares. Reações orgânicas: ácidos e bases. Alcanos: análise conformacional e reações. Estereoquímica: moléculas quirais. Reações iônicas: reações de substituição nucleofílica e de eliminação em haletos de alquila. Intermediários de reações orgânicas. Termodinâmica e cinética de reações de compostos orgânicos. Alcenos e alcinos: reações de eliminação no haletos de alquila. Alcoóis, éteres e epóxidos. Alcoóis a partir de compostos carbonílicos: óxido-redução e compostos organometálicos.

Programa

A teoria estrutural da química orgânica. Ligações químicas: a regra do octeto. Estruturas de Lewis. Carga formal. Ressonância. Mecânica quântica: orbitais atômicos e orbitais moleculares. Hibridização sp^3 , sp^2 e sp . Ligações covalentes carbono-carbono. Representação das fórmulas estruturais. Hidrocarbonetos: alcanos, alcenos e alcinos. Ligações covalentes polares. Polaridade, momento dipolar e forças de interações moleculares: interações dipolo-dipolo, forças de Van der Waals. Ligações de hidrogênio. Reações ácidos e bases. Heterólise e homólise de ligações carbono: carbocátions e carbânions. A força de ácidos e bases: K_a e pK_a . A relação entre estrutura e acidez. Definição de ácidos e bases de Lewis. Alcanos e cicloalcanos: propriedades físicas. Ligações sigma e rotação de ligação. Análise conformacional do butano. Estabilidades relativas dos cicloalcanos: tensão do anel, tensão angular e tensão torsional. Conformações do ciclohexano. Átomos de hidrogênios axiais e equatoriais. Isomerismo cis e trans. Reações químicas dos alcanos. Estereoquímica: isômeros constitucionais e estereoisômeros. Nomenclatura de enantiômeros: o sistema R e S. Atividade óptica. Moléculas com mais de um centro estereogênico. Reações de substituição nucleofílica (SN_2 e SN_1). Nucleófilos e eletrófilos. Grupos abandonadores. Cinética e mecanismo de reação de substituição nucleofílica bimolecular (SN_2). Estereoquímica das reações de SN_2 . Mecanismo da reação de substituição nucleofílica unimolecular (SN_1). Estereoquímica das reações SN_1 . Reações de eliminações de haletos de alquílias ($E1$ e $E2$). Alcenos e alcinos. Propriedades e síntese de alcenos e alcinos, hidrogenação, índice de deficiência de hidrogênio, estabilidades relativas e calores de hidrogenação e de combustão. Sistema E e Z dos alcenos. Reações de adição. A regra de Markovnikov. Síntese de alcoóis a partir de alcenos. Adição de ácido sulfúrico, água e alcoóis aos alcenos. Reações de alcoóis. Conversão de alcoóis em haletos de alquila. Alcoóis a partir de compostos carbonílicos. Oxidação de álcoois. Epóxidos. Compostos organometálicos.

Avaliação

Método

Aulas expositivas e de exercícios.

Critério

A critério do docente (provas, seminários, exercícios, etc).

Norma de Recuperação

70% de presença e média menor do que 5,0 e maior ou igual a 3,0.

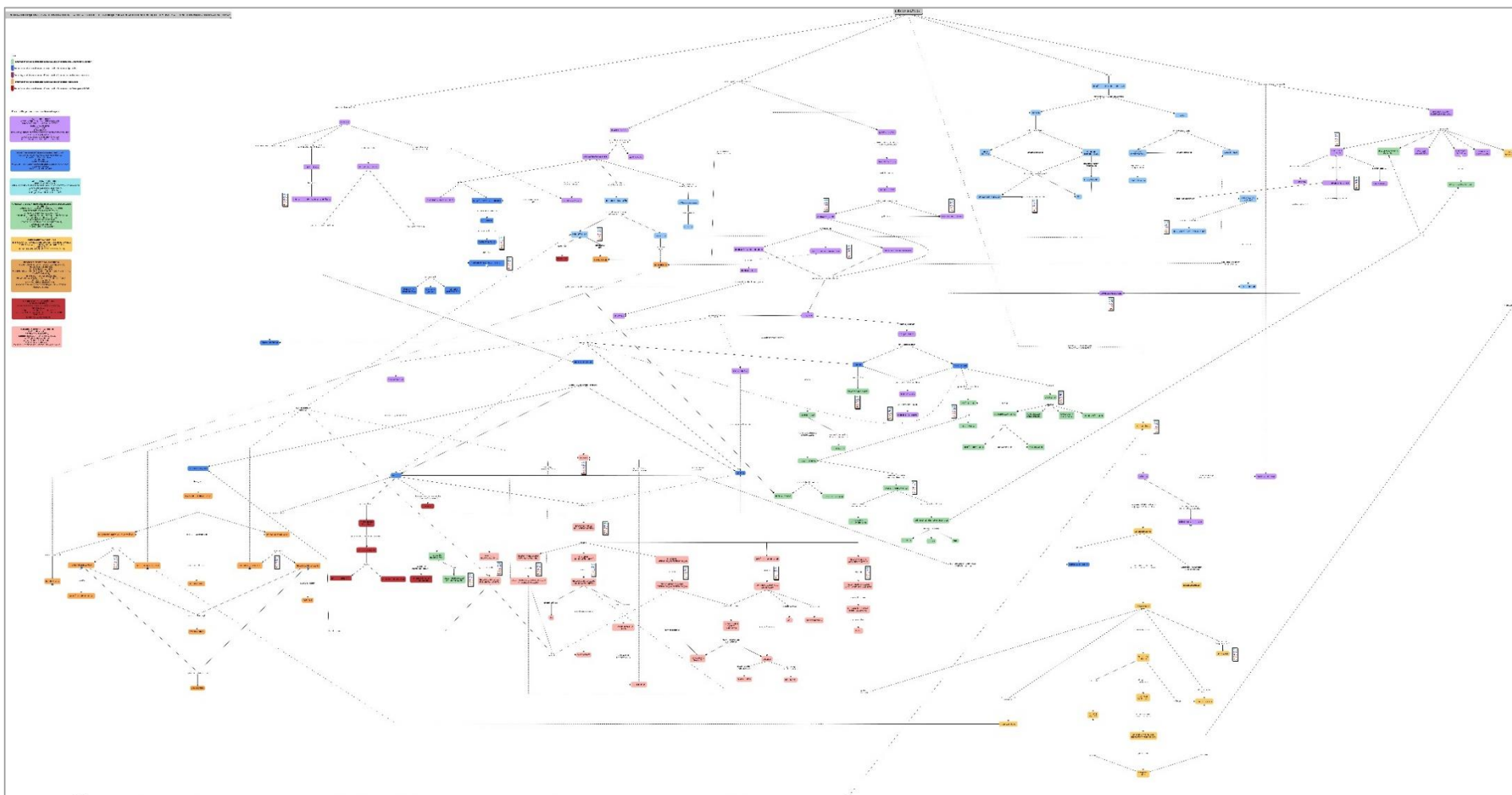
Bibliografia

- 1) SOLOMONS, T. W. G.; FRYHLE, C. B. Química orgânica. Tradução de Maria Lúcia Godinho de Oliveira. 9.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. v.1
- 2) SOLOMONS, T. W. G.; FRYHLE, C. B. Química orgânica. Tradução de Robson Mendes Matos. 8.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005. v.2
- 3) ALLINGER, N. L.; CAVA, M. P. Química orgânica. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1978. 961 p.
- 4) CONSTANTINO, M. G. Química orgânica curso básico universitário. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, c2008. 3 v.
- 5) MCMURRY, J. Química orgânica. 6.ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005. 2v.
- 6) VOLLHARDT, K. P. C.; SCHORE, N. E. Organic chemistry structure and function. 3rd ed. New York: W. H. Freeman, c1999. 1210 p.
- 7) BROWN, W. H.; POON, T. Introduction to organic chemistry. 3rd ed. Hoboken: Wiley, c2005. 1v.
- 8) BRUCE, P. Y. Organic chemistry. 2nd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, c1998. 1v.
- 9) MORRISON, R. T.; BOYD, R. N. Química orgânica. 13.ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1996. 1510 p.
- 10) CLAYDEN, J. Organic chemistry. Oxford: Oxford University, 2001. 1508 p.
- 11) COSTA, P.; PILLI, R. A.; PINHEIRO, S.; VASCONCELLOS, M. Substâncias carboniladas e derivados. 1.ed. Porto Alegre: Artmed, 2003. 411 p.

<https://uspdigital.usp.br/jupiterweb/obterDisciplina?nomdis=&sgldis=SQF0322>

ANEXO B

Figura 17 - Mapa conceitual da disciplina de Química Orgânica I elaborado.



Fonte: Autoria própria.

ANEXO C

Figura 18 - Link para a versão PDF do Mapa Conceitual elaborado.

