



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL - UFFS
CAMPUS REALEZA
CURSO DE QUÍMICA – LICENCIATURA

CAMILA PESENATO MAGRIN

**APLICAÇÃO DA MÉTRICA ESTRELA VERDE NOS COMPONENTES
DE QUÍMICA ANALÍTICA DA UFFS REALEZA/PR**

REALEZA

2018

CAMILA PESENATO MAGRIN

**APLICAÇÃO DA MÉTRICA ESTRELA VERDE NOS COMPONENTES
DE QUÍMICA ANALÍTICA DA UFFS REALEZA/PR**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do
grau de Licenciada em Química da
Universidade Federal da Fronteira Sul

Orientadora: Profa. Dra. Fernanda Oliveira Lima

REALEZA

2018

PROGRAD/DBIB - Divisão de Bibliotecas

Magrin, Camila Pesenato

APLICAÇÃO DA MÉTRICA ESTRELA VERDE NOS COMPONENTES DE QUÍMICA ANALÍTICA DA UFFS REALEZA/PR/ Camila Pesenato Magrin. - 2018.

63 f.:il.

Orientador: Fernanda Oliveira Lima.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Química, PR, 2018.

1. Ensino de Química. 2. Química Verde. 3. Atividades Experimentais. I. Lima, Fernanda Oliveira, orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

CAMILA PESENATO MAGRIN

**APLICAÇÃO DA MÉTRICA ESTRELA VERDE NOS COMPONENTES
DE QUÍMICA ANALÍTICA DA UFFS REALEZA/PR**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de grau de Licenciatura em Química da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em:

___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dra. Fernanda Oliveira Lima – UFFS
Orientadora

Dra. Edinéia Paula Sartori Schmitz – UFFS

Prof^a. Dra. Ananda Fagundes Guarda – UNIVEL

Prof. Dr. Letiére Cabreira Soares – UFFS
Suplente

Dedico este trabalho aos meus pais, Edio e Elaine e à minha irmã Edilaine, por todo apoio, carinho e amor. Pela paciência, compreensão, amizade e força nos momentos de saudade. Enfim, por todo suporte e esforço despendido em favor dos meus sonhos. Obrigada por tudo!
Com amor, Camila.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, saúde e sabedoria. Por ser meu refúgio nos momentos difíceis. Por sempre me proteger e guardar. Pela força que me mantém apta a enfrentar as dificuldades do dia a dia. Senhor, muito obrigado.

Aos meus pais, Edio e Elaine e à minha irmã Edilaine, por serem a melhor família para mim. Obrigada por toda compreensão, apoio, carinho e amor incondicional. Por serem sempre meu maior exemplo e fonte de inspiração para continuar. Por não medirem esforços para que eu pudesse realizar meus sonhos. Ao meu namorado Fabrício, pelas palavras de incentivo, por estar sempre ao meu lado e apoiar meus sonhos, pela compreensão nos momentos de ausência.

Agradeço à Universidade Federal da Fronteira Sul, *Campus Realeza/PR*.

À minha professora, orientadora e amiga, Fernanda, primeiramente por ter aceito o convite de me orientar neste trabalho. Por todas as oportunidades que me deu durante a graduação, por todos os ensinamentos que vão muito além da Química Analítica. Por ser esta pessoa espetacular e que sempre me recebeu sorrindo e por isso alegrava meus dias. Pela preocupação e cuidado que sempre despreendeu em meu favor. Estará sempre em meu coração.

Em nome do professor Letiére, coordenador do Curso de Química, agradeço a todos os professores, por todos os ensinamentos ao longo destes anos, que fizeram de mim não só uma Professora de Química, mas também uma pessoa melhor pois, “se vi mais longe foi por estar sobre ombros de gigantes” (Isaac Newton). À Edinéia, técnica dos laboratórios, pela paciência, solicitude, amizade e ombro amigo durante este período de formação e em seu nome estendo meu agradecimento aos demais técnicos que faziam minhas tardes mais divertidas.

Não podendo esquecer dos meus colegas e amigos Maicon e Rafael, por tornarem esta caminhada mais agradável. Por todos os momentos compartilhados. Pela amizade construída ao longo deste período, que perdure diuturnamente. Em especial a minha colega, amiga e companheira, Thaís, por tornar o convívio domiciliar muito mais leve e doce e por ser está pessoa incrível e fazer tudo com muito amor, és também minha inspiração.

Enfim, agradeço a todos que de contribuíram para a realização deste trabalho e que estiveram comigo durante esta caminhada. Muito obrigada!

“Para alguns, o resultado parecerá insuficiente. Porém, na aritmética da precariedade, Brás Cubas encontrou motivos para celebrar um pequeno saldo. Pouco, dirão muitos. E é verdade. Mas um saldo pequeno já é o mais do que nada” (João Cezar de Castro Rocha).

RESUMO

Ao longo dos anos, muitas das comodidades das quais usufruímos são fruto do desenvolvimento da Química. Por outro lado, existem inconvenientes e preocupações a longo prazo. A Química Verde (QV) surge como um movimento afim de repensar o desenvolvimento químico, de maneira mais responsável e sustentável para todos. Além disso, traz diversas vantagens tecnológicas, ambientais e econômicas. Na QV existem as métricas, com o intuito de avaliar o quão verde são os mais diversos processos desenvolvidos. Uma das métricas é a Estrela Verde (EV) que é considerada holística, pois procura compreender os fenômenos na sua totalidade e globalidade. A EV é a métrica mais recomendada para se trabalhar no ensino de Química, visto suas implicações pedagógicas, simplicidade e diversas potencialidades a serem exploradas. Neste trabalho buscou-se conhecer e aplicar os conceitos da QV analisando as atividades realizadas nos componentes de Química Analítica Experimental (QAE), tanto Qualitativa quanto Quantitativa, desenvolvidas no curso de Química Licenciatura da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *campus* Realeza/PR. Para isso, a métrica EV foi utilizada afim de analisar as práticas experimentais quanto a sua “verdura” química, medida pelo Índice de Preenchimento da Estrela (IPE), de acordo com os princípios da QV. Catalogou-se as atividades e após a construção das estrelas realizou-se um estudo, afim de aumentar o índice das práticas com baixo IPE quando didático e economicamente possível. Ao todo foram construídas 38 EV e destas apenas 11 apresentaram IPE abaixo de 50%, as quais foram o foco deste estudo. Com base nos resultados, foram feitas sugestões para melhorar o IPE e conseqüentemente tornar mais sustentáveis e amigáveis para o planeta estas práticas realizadas em QAE. Efetivamente, houve melhora de 5 estrelas, das 11 estudadas. Portanto, este trabalho de aplicação da métrica EV mostrou-se eficiente na avaliação dos riscos e da “verdura” das práticas realizadas em QAE, incentivando uma mudança de mentalidade na prática Química, visando sempre o menor risco possível.

Palavras-chave: Ensino de Química; Química Verde; Atividades Experimentais.

ABSTRACT

Several amenities that we enjoy nowadays are a result of the chemistry development over the years. On the other hand, there are some drawbacks and long-term concerns. The Green Chemistry (GC) appears as a movement to rethink chemical development in a more responsible and sustainable way for everybody. In addition, it brings economic, technological, environmental advantages. In the GC there are some metrics that are used to evaluate how green the chemical processes are. One of the metrics is the Green Star (GS) that is considered holistic, because it seeks to understand the phenomena in its totality and globality. The GS is the most recommended metric for working in the teaching of chemistry, seeing its pedagogical implications, simplicity and various potentials to be explored. In this work we sought to know and apply the concepts of GC analyzing carried out activities in the components of Experimental Analytical Chemistry (EAC), both qualitative and quantitative, developed during the Chemistry degree of the Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus Realeza/PR*. For this, the GS metric was used to analyze experimental practices regarding its chemical "greenish", measured by the Star's Fill Index (SFI), according to the principles of the GC. The activities were catalogued and after the construction of the Stars, a study was carried out, to increase the index of the practices with low SFI when didactic and economically possible. In the whole were built 38 GS and of these only 11 presented SFI below 50%, which were the focus of this study. Based on the outcome, suggestions were made to improve the SFI and consequently make the practices performed in the EAC more sustainable and environmentally friendly. In fact, there was a 5 stars improvement of the 11 studies. Therefore, this work of application of the GS metric proved to be efficient in the assessment of the risks and the "greenish" of the practices carried out in the EAC, encouraging a change of mentality in the chemical practice, always aiming the least possible risk.

Key-words: Teaching Chemistry; Green Chemistry; Experimental Activities.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrelas Verdes com maior e menor IPE das reações estudadas.....	27
Figura 2 – Estrelas Verdes com IPE igual a 50%.	28
Figura 3 – Estrela Verde 4.4.....	31
Figura 4 – Estrela Verde 4.5.....	31
Figura 5 – Estrelas Verdes 4.5 com Alume de Potássio e A) Fosfato de Sódio; B) Carbonato de Sódio.	32
Figura 6 – Estrela Verde 4.6.....	33
Figura 7 – Estrelas Verdes 4.10 A) Original; B) Sem o auxiliar Álcool Amílico.....	34
Figura 8 – Estrelas Verdes da aula 5 A) Originais; B) Temperatura ambiente.	35
Figura 9 – Estrela Verde 6.1.....	36
Figura 10 – Estrela Verde 6.2.....	36
Figura 11 – Estrela Verde da aula 8.	37
Figura 12 – Estrelas verdes e IPE das reações de acordo com a Tabela 3. A) 1.1. B) 2.1. C) 3.1. D) 4.1. E) 4.2. F) 4.3.....	55
Figura 13 – Estrelas verdes e IPE das reações de acordo com a Tabela 3. A) 4.4. B) 4.5. C) 4.6. D) 4.7. E) 4.8. F) 4.9.....	56
Figura 14 – Estrelas verdes e IPE das reações de acordo com a Tabela 3. A) 4.10. B) 5.1. C) 5.2. D) 5.3. E) 6.1. F) 6.2.....	57
Figura 15 – Estrelas verdes e IPE das reações de acordo com a Tabela 3. A) 6.3. B) 6.4. C) 7.1. D) 7.2. E) 7.3. F) 7.4.....	58
Figura 16 – Estrelas verdes e IPE das reações de acordo com a Tabela 3. A) 7.5. B) 8.1. C) 8.2. D) 9.1. E) 9.2. F) 10.1.....	59
Figura 17 – Estrelas verdes e IPE das reações de acordo com a Tabela 3. A) 10.2. B) 10.3. C) 11.1. D) 12.1. E) 12.2. F) 12.3.....	60
Figura 18 – Estrelas verdes e IPE das reações de acordo com a Tabela 3. A) 13.1. B) 13.2.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Os 12 Princípios da Química Verde.....	18
Tabela 2 – Critérios e pontuação dos princípios para construir a EV.	22
Tabela 3 – Estrelas Verdes que apresentaram aumento de verdura, pelas alterações sugeridas neste estudo.	38
Tabela 4 – Aulas de Química Analítica Experimental.	44
Tabela 5 – Substâncias Químicas utilizadas nas aulas de QAE.	48
Tabela 6 – Códigos e Pontuação dos Perigos.....	62

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACS	<i>American Chemical Society</i> – Sociedade Americana de Química
CAS	<i>Chemical Abstracts Service</i> – Serviço de Sumários Químicos
CCR	Componente Curricular
DDT	Dicloro-Difenil-Tricloroetano
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i> – Agência de Proteção Ambiental Norte Americana
EV	Estrela Verde
FISPQ	Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos
GCI	<i>Green Chemistry Institute</i> – Instituto de Química Verde
IUPAC	<i>International Union for Pure and Applied Chemistry</i> – União Internacional da Química Pura e Aplicada
ONU	Organização das Nações Unidas
PGCC	<i>Presidential Green Chemistry Challenge Awards</i> - Prêmio Presidencial Desafio da Química Verde
QAE	Química Analítica Experimental
QV	Química Verde
UFFS	Universidade Federal da Fronteira Sul

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	A QUÍMICA VERDE NO ENSINO SUPERIOR.....	15
	2.1 Breve Histórico da Química Verde	15
	2.2 A Química Verde no Curso de Química Licenciatura UFFS/Realeza	17
	2.3 Os 12 Princípios da Química Verde	18
	2.3.1 Métricas	20
	2.3.1.1 Estrela Verde	21
3	METODOLOGIA.....	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
	REFERÊNCIAS.....	41
	APÊNDICES.....	44
	ANEXOS	62

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, é impensável viver em um mundo sem as comodidades as quais usufruímos, e que são de alguma maneira ligadas ao desenvolvimento da Química. Paralelo a todos os benefícios alcançados, graças ao avanço científico, há também os inconvenientes gerados por tal. A população, em geral, ainda possui certo estigma sobre as indústrias químicas e petroquímicas, responsabilizando as mesmas pelos atuais problemas ambientais.

A história da Química está total e diretamente ligada à história do desenvolvimento humano. Para qualquer época que se olhe, a Química está presente, trazendo diversos avanços tanto na indústria produtiva, como na medicina e também oferecendo mais segurança e conforto para a sociedade (GREENBERG, 2009, p. VII).

Infelizmente, a Química não é somente utilizada para o desenvolvimento e avanços científicos benéficos. Muitos destes avanços podem ter consequências negativas a vida e ao meio ambiente. Dessa forma, as contribuições para a melhoria da qualidade de vida acabam ficando em segundo plano, quando vem à tona todas as questões ecológicas. O desenvolvimento humano tomou proporções gigantescas e recursos que antes eram considerados inesgotáveis passaram a figurar na lista de “extinção”. Dessa forma, buscando amenizar todos os inconvenientes causados, muito tem-se falado sobre “Química Verde” (QV) nos últimos anos.

Observa-se que a QV é ainda um “ramo” muito recente da Química, mas que vem crescendo e ganhando espaço ano a ano, podendo trazer contribuições tecnológicas, ambientais e econômicas, através da simplificação dos processos, poupando recursos naturais, reduzindo a poluição e os custos. Como forma de disseminar os conceitos embutidos em tal e ampliar estes conhecimentos, para as mais diversas áreas, torna-se importante o estudo histórico da QV, o conhecimento e discussão de seus 12 princípios e em especial das métricas de verdura química.

Um profissional formado de acordo com os princípios da QV estará preparado para o desafio que a indústria, o meio acadêmico e a sociedade passaram a impor nos últimos anos, a busca pela química autossustentável. Com isso, este estudo busca inserir os conceitos da QV e aplicar a métrica Estrela Verde (EV) nos componentes curriculares (CCR's) de Química Analítica Experimental (QAE) do

curso de Química Licenciatura, da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus Realeza/PR*, realizar levantamento de todos os reagentes, produtos e resíduos gerados nos CCR's de QAE e analisar os riscos físicos, ambientais e à saúde de cada substância.

Assim, buscou-se analisar e encontrar alternativas aos problemas em relação aos produtos químicos utilizados para fins de ensino, aplicando a métrica de vedura química e elaborando possibilidades para as atividades experimentais sob o prisma da QV, para que futuramente, estudantes e professores sejam sensibilizados quanto as possibilidades da QV.

2 A QUÍMICA VERDE NO ENSINO SUPERIOR

2.1 Breve Histórico da Química Verde

O livro “Primavera Silenciosa”, publicado por Rachel Carson em 1962, é considerado o marco do movimento ambientalista e que suscitou na proibição do inseticida Dicloro-Difenil-Tricloroetano (DDT) nos Estados Unidos. A autora alertou a população mundial, de maneira clara e coerente, sobre os riscos intrínsecos ao uso de agentes químicos de maneira desenfreada.

Naquela época, os seres humanos haviam mudado sua relação com o mundo natural, e com a Química: “a população atribuía aos químicos, trabalhando em seus aventais brancos engomados em remotos laboratórios, uma sabedoria quase divina”. Acreditava-se que a vida melhoraria por meio da Química e do uso dos produtos químicos, e a tecnologia teria o poder de criar um mundo perfeito. Carson despertou a consciência ambiental, fazendo pensar nos limites da ciência e do progresso tecnológico (CARSON, 2010).

Os danos ambientais causados pelo desenvolvimento humano começaram a ser problematizados somente a partir da década de 70. Em 1972, as preocupações com o meio ambiente ganharam força a partir da Conferência de Estocolmo. Este ano foi tido como o ano em que o direito ambiental passou a ser reconhecido como ramo jurídico. Esta conferência é considerada um marco do alerta sobre os prejuízos da degradação ambiental para o mundo (VIEIRA, 2012).

Em 1991, a agência de proteção ambiental norte-americana – EPA, do inglês, *Environmental Protection Agency* – lançou uma linha de financiamento para projetos de pesquisa que incluíssem a prevenção de poluição em suas rotas sintéticas, caracterizando o nascimento da Química Verde. Em 1995, o Governo dos Estados Unidos instituiu o programa “Prêmio Presidencial Desafio da Química Verde” – PGCC, do inglês *Presidential Green Chemistry Challenge Awards*– com o objetivo de premiar inovações tecnológicas a ser implementadas na indústria para a redução da produção de resíduos na fonte, em diferentes setores da produção (LENARDÃO *et al.*, 2003, p. 123, KOTZ, TREICHEL, WEAVER, 2011, p. 888).

Já em 1997 foi criado o Instituto de Química Verde – GCI, do inglês, *Green Chemistry Institute* – que desde janeiro de 2001, atua em parceria com a Sociedade

Americana de Química (*American Chemical Society, ACS*). Ainda em 1997, a União Internacional da Química Pura e Aplicada – IUPAC, do inglês *International Union for Pure and Applied Chemistry* – organizou a Primeira Conferência Internacional de “Green Chemistry”, em Veneza e em julho de 2001 aprovou a criação do Subcomitê Interdivisional de “Green Chemistry” (LENARDÃO *et al.*, 2003, p. 124, KOTZ, TREICHEL, WEAVER, 2011, p. 888).

Além de tudo isso, em resposta à crescente preocupação pública com os efeitos negativos do modelo industrial, a Organização das Nações Unidas (ONU) iniciou, a partir de Estocolmo em 1972, um ciclo de conferências, além de consultas e estudos para alinhar as nações em torno de princípios e compromissos por um desenvolvimento mais sustentável (VIEIRA, 2012, p. 51).

Em 1982, dez anos depois, a conferência foi realizada em Montenegro Bay, na Jamaica. Em 1992 houve a ECO92, sediada no Brasil, na cidade do Rio de Janeiro. Em 2002 a conferência foi para a África do Sul, na cidade de Joanesburgo. Em 2012, volta para o Brasil, conhecida como Rio+20, por ser novamente realizada no Rio de Janeiro. A próxima conferência está prevista para 2022, na cidade de Doha, no Catar.

Estas conferências tiveram como objetivo em comum a conscientização e a redução das emissões de gases e a produção de resíduos tóxicos, e são iniciativas que demonstram a crescente preocupação mundial com as questões ambientais, dando escopo ao papel das Ciências na atualidade. Todavia, sabe-se de longa data que pouquíssimo do que é acordado tem sido efetivamente cumprido pelas nações.

Atualmente está em vigor a “Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável” uma iniciativa da ONU que consiste na implementação de um plano constituído por 17 objetivos e 169 metas. Os objetivos e metas estimularão a ação para os próximos anos em áreas de importância crucial para a humanidade e para o planeta. Ao adotar a agenda 2030 e seus 17 objetivos a comunidade mundial reafirma seu compromisso com o desenvolvimento sustentável, correlacionando as esferas ambiental, social e econômica (BRASIL, 2016).

A Química Verde se entremeia por pelo menos metade destes objetivos, como na agricultura sustentável, saúde e bem-estar, energia limpa, indústria, inovação e infraestrutura, cidades e comunidades sustentáveis, consumo e produção responsáveis e ação contra a mudança global do clima. Nesse sentido,

reforça-se a importância de fundamentar o desenvolvimento das Ciências com base também nestes objetivos.

2.2 A Química Verde no Curso de Química Licenciatura UFFS/Realeza

A Universidade Federal da Fronteira Sul é uma instituição de ensino superior pública. Criada pela Lei Nº 12.029, de 15 de setembro de 2009. A UFFS abrange mais de 400 municípios da Mesorregião Grande Fronteira Mercosul – Sudoeste do Paraná, Oeste de Santa Catarina e Noroeste do Rio Grande do Sul. Ao todo possui 6 *campi* sendo eles situados nas cidades de Cerro Largo (RS), Chapecó (SC), Erechim (RS), Laranjeiras do Sul (PR), Passo Fundo (RS) e Realeza (PR).

A UFFS/Realeza possui 6 cursos de graduação, entre eles o curso de Química – Licenciatura, que iniciou suas atividades no ano de 2013, com o intuito de formar professores nessa área pois, há um déficit de profissionais na região. A duração do curso é de 5 anos divididos em 10 semestres. Possui em sua grade curricular disciplinas experimentais específicas, sendo elas: Química Geral, Química Inorgânica, Química Analítica Qualitativa, Química Analítica Quantitativa, Química Orgânica e Físico-Química.

Nas disciplinas de Química Analítica, por intermédio da professora regente, ações pontuais vêm sendo desenvolvidas com foco na educação ambiental, seja durante as aulas experimentais ou monitorias, abordando-se principalmente o tratamento dos resíduos, como por exemplo, Magrin, Theisen e Lima (2017) que propõe tratamento dos resíduos das aulas experimentais de Química Analítica Quantitativa no ano de 2016. Também em trabalhos de conclusão de curso, como Ribeiro (2017) que propõe o tratamento de resíduos das aulas experimentais da grade curricular do curso e discute os benefícios deste tratamento para a Universidade.

Outros trabalhos nesse sentido, também foram desenvolvidos no curso, tendo como exemplo Pagno (2016) que realizou levantamento dos resíduos gerados nos laboratórios e propôs atividades experimentais com viés em Química Verde e Panho (2016) que analisou a potencialidade da fotografia para a problematização da Química Verde nos anais do Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ) do ano de 2014.

Panho (2016) destaca que o cenário atual do desenvolvimento mundial necessita de profissionais mais preocupados com o meio ambiente, e que estes sejam fundamentais no processo de crescimento sustentável incorporando a Química Verde como parte da sua formação. Do mesmo modo, Pagno (2016) salienta a importância de propor ações que visem qualificar e conscientizar os graduandos que estarão futuramente no mercado de trabalho, para que quando se depararem com situações de degradação do meio ambiente saibam como agir diante deste cenário.

Corroborando com isso, trabalhar os conceitos de QV na formação de professores de Química visa, a médio e longo prazo, o desenvolvimento da sociedade como um todo, preocupada com as mais diversas questões ambientais, para além de profissionais de excelência, formar principalmente cidadãos pensantes, críticos, responsáveis e pesquisadores quanto a suas práticas diárias.

2.3 Os 12 Princípios da Química Verde

O desenvolvimento da QV começou no início dos anos 1990, principalmente nos Estados Unidos, Inglaterra e Itália, com a introdução de novos conceitos e valores para várias atividades químicas, assim como, para setores da atividade industrial e econômica. Esse conceito logo se ampliou mundialmente, envolvendo também a IUPAC, no estabelecimento de diretrizes para o desenvolvimento da Química Verde a nível mundial, assim como no Brasil (CGEE, 2010).

Em 1998, houve um marco importante na trajetória da QV, que foi a publicação do livro "Green Chemistry: theory and practice" (Química Verde: Teoria e Prática) de Paul T. Anastas e John C. Warner. A importância da obra reside no fato de os autores elencarem os "12 princípios da Química Verde" (ANASTAS e WARNER, 1998), que podem ser observados na Tabela 1:

Tabela 1 – Os 12 Princípios da Química Verde.

Princípios	
1. Prevenção	É melhor prevenir que tratar ou limpar resíduos de processos químicos depois de formados;
2. Economia de átomos	Métodos sintéticos devem ser projetados para maximizar a incorporação de toda a massa dos reagentes no produto final;
3. Sínteses Químicas menos perigosas	Sempre que forem viáveis, as metodologias sintéticas devem usar e gerar substâncias o menos tóxicas possíveis à vida humana e ao ambiente;
4. Desenvolvimento de produtos mais seguros	Os produtos químicos devem ser projetados de forma a ter maior eficiência no cumprimento de seus objetivos, com menor toxicidade;
5. Solventes e auxiliares mais seguros	O uso de outras substâncias durante o processo deve, sempre que possível, ser desnecessário ou inofensivo quando usado;
6. Busca pela eficiência energética	As exigências energéticas devem ser reconhecidas por seus impactos ambientais e econômicos e precisam ser minimizadas;
7. Uso de fontes renováveis de matéria prima	A matéria-prima deve ser proveniente de fontes inesgotáveis, sempre que técnica e economicamente viável;
8. Evitar a formação de derivados	A derivatização desnecessária deve ser minimizada ou evitada pois tais processos necessitam de reagentes adicionais e podem gerar resíduos;
9. Catálise	Reagentes catalíticos são sempre superiores e preferíveis a reagentes estequiométricos;
10. Desenho para a degradação	Os produtos químicos devem ser desenhados de maneira que, depois de usados, não persistam no ambiente e seus produtos de degradação sejam inócuos;
11. Análise em tempo real para prevenção da poluição	Métodos analíticos devem ser desenvolvidos para monitorar o processo em tempo real controlando, a priori, a formação de substâncias perigosas;
12. Química intrinsecamente segura para a prevenção de acidentes	As substâncias e a forma como são usadas no processo químico devem minimizar o potencial de acidentes.

Fonte: Adaptado de HARRIS, 2011.

A QV configura-se como uma mudança de mentalidade da prática química. Vai além da zona de conforto, de somente utilizar os já testados e validados reagentes, solventes e tecnologias. E deve ser promovida e apoiada não só pela

comunidade científica, mas também pelos governos, indústrias e todos os outros setores da sociedade (FARIAS e FÁVARO, 2011). Com a finalidade de analisar o quanto as práticas realizadas são verdes e cumprem os princípios efetivamente, dispõe-se de diversas métricas.

2.3.1 Métricas

As métricas possuem o intuito de avaliar a “verdura” das reações químicas. Costa (2011, p.142) classifica-as em: métricas de massa que têm como objetivo medir a utilização eficaz dos átomos dos reagentes no produto desejado e métricas ambientais que pretendem avaliar diversos aspectos da ausência de nocividade da prática, por exemplo: a eficiência energética, a utilização minimizada de solventes, a segurança dos processos quanto aos efeitos tóxicos e nocivos no ambiente e na saúde humana.

As métricas de massa, avaliam a incorporação dos átomos dos reagentes no produto, sendo postulada pelos dois primeiros princípios da Química Verde. Talvez por isso, sejam estas as mais conhecidas e utilizadas no intuito de verificar a eficácia da reação. Além do cálculo do rendimento, outras métricas como a Economia Atômica e o Fator E são utilizadas na QV para a avaliação da verdura das reações.

De acordo com Merat e San Gil (2003), o parâmetro economia atômica ou porcentagem de utilização atômica (representado como %A) exprime quanto dos reagentes foram incorporados ao produto, segundo a equação estequiométrica da reação. É, portanto, um parâmetro de natureza teórica, que não leva em consideração o rendimento da reação ou a presença de outras substâncias além dos reagentes. Entretanto é uma ferramenta bastante útil para uma avaliação rápida da quantidade de resíduos que serão gerados pela reação em pauta.

O fator E, definido como a razão entre a soma das massas dos produtos secundários e a massa do produto desejado, leva em consideração todas as substâncias utilizadas na reação, incluindo-se os solventes (exceto água) e a parcela de reagentes não convertidos. Quanto maior o valor do fator E, maior a massa de rejeito gerada e menos aceitável o processo, do ponto de vista ambiental (MERAT e SAN GIL, 2003).

Para Costa (2011) estas métricas são reducionistas pois, cada uma é dirigida a um componente particular, o que não é adequado para avaliar a verdura como um todo. Como consequência, processos, reações e compostos podem ser tratados como “verdes” sem que realmente os sejam.

No caso das métricas ambientais temos como exemplo a EcoScale, Circulo Verde, Matriz Verde (SOWT) e a Estrela Verde. Estas são consideradas métricas holísticas, pois procuram compreender os fenômenos na sua totalidade e globalidade, tornando-se as métricas mais recomendadas para serem incorporadas ao ensino de Química, visto suas diversas potencialidades a serem exploradas, como implicações pedagógicas, simplicidade, aspecto visual e impactante.

2.3.1.1 Estrela Verde

A Estrela Verde (EV) é uma métrica holística que analisa simultaneamente os 12 Princípios da QV aplicáveis a cada situação laboratorial em análise, para avaliação da verdura desta. A ideia básica da EV é a construção de uma estrela constituída por tantas pontas quantos os princípios usados na avaliação da verdura e em que o comprimento de cada ponta é proporcional ao grau de cumprimento do respetivo princípio – uma visão semi-quantitativa da verdura pode ser obtida por apreciação visual, simples e imediata, da área da EV (COSTA, 2011).

Para sua construção, critérios baseados nos 12 princípios são pontuados. Inicialmente faz-se um inventário de todas as substâncias envolvidas no experimento. De acordo com Costa (2011, p. 55), estas substâncias podem ser:

- Reagentes estequiométricos – são os reagentes que participam na reação química, e que aparecem nas equações químicas.
- Reagentes auxiliares – são os reagentes que participam na reação química, mas não aparecem nas equações químicas, por exemplo catalisadores, solventes etc.
- Resíduos – todo o material que vai ser descartado (reagentes em excesso, solventes, substâncias auxiliares, coprodutos), exceto o produto de interesse.

Afim de identificar as substâncias, utiliza-se o CAS Number, que é um número de registro no banco de dados Chemical Abstracts Service – CAS, uma divisão da

ACS. As substâncias são designadas de maneira sequencial, à medida que são inseridas na Base de Dados. O objetivo é facilitar as pesquisas no banco de dados, visto que, muitas vezes, os produtos químicos possuem sinônimos (ANVISA, 2018).

As frases de perigo encontram-se na seção 2 das Fichas de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) – Identificação dos Perigos – e são identificadas por códigos, iniciados pela letra H (Hazard Statement, traduzindo do inglês: declaração de perigo), seguido pelo numeral, que indica o gênero do perigo, sendo 2 para perigo físico, 3 quando há perigo para a saúde e 4 para perigo ao meio ambiente e por último dois números que correspondem a numeração sequencial dos perigos (WALLAU, SANTOS JÚNIOR, 2013). Os códigos de perigo e suas respectivas pontuações para construção da EV podem ser observados na Tabela 6 do Anexo A.

A EV é construída atribuindo a pontuação 1, 2 ou 3 (máximo de verdura) a cada um dos Doze Princípios da QV, de acordo com os critérios definidos na Tabela 2. No caso de não haver informações suficientes para pontuar algum dos princípios, atribui-se a pontuação 1, considerando a situação mais desfavorável ou de maior risco.

Tabela 2 – Critérios e pontuação dos princípios para construir a EV.

Princípio a ser pontuado	Critérios	P
P1. Prevenção	Todos os resíduos são inócuos	3
	Resíduos que envolvam perigo moderado para a saúde e ambiente	2
	Pelo menos um resíduo envolve perigo elevado para a saúde e/ou ambiente	1
P2. Economia atômica	Reações sem reagentes em excesso ($\leq 10\%$) e sem formação de coprodutos	3
	Reações sem reagentes em excesso ($\leq 10\%$) e com formação de coprodutos	2
	Reações com reagentes em excesso ($> 10\%$) e sem formação de coprodutos	2
	Reações com reagentes em excesso ($> 10\%$) e com formação de coprodutos	1
P3. Sínteses menos perigosas	Reações em que todas as substâncias envolvidas são inócuas	3
	Reações em que todas as substâncias envolvidas são pouco tóxicas	2
	Reações que envolvem pelo menos uma substância tóxica	1

Princípio a ser pontuado	Critérios	P
P5. Solventes e auxiliares mais seguros	Os solventes ou substâncias auxiliares não existem ou são inócuos	3
	Os solventes e as substâncias auxiliares usadas envolvem perigo moderado para a saúde e ambiente	2
	Pelo menos um dos solventes ou substâncias auxiliares usadas envolvem perigo elevado para a saúde e/ou ambiente	1
P6. Eficiência energética	Temperatura e pressão ambientais	3
	Pressão ambiental e temperatura entre 0 e 100 °C	2
	Pressão diferente da ambiental e temperatura maior que 100 °C ou menor que 0 °C	1
P7. Uso de fontes renováveis de matéria prima	Todos os reagentes envolvidos são renováveis	3
	Pelo menos um dos reagentes é renovável (com exceção da água)	2
	Nenhum dos reagentes envolvidos é renovável	1
P8. Evitar a formação de derivados	Não se usam derivatizações	3
	Usa-se apenas uma derivatização ou operação semelhante	2
	Usam-se várias derivatizações ou operações semelhantes	1
P9. Uso de catalisadores	Reações em que não é necessário usar catalisadores ou se utilizam catalisadores inócuos	3
	Reações em que se utilizam catalisadores pouco tóxicos	2
	Reações em que se utilizam catalisadores tóxicos	1
P10. Planificação para degradação	Todas as substâncias envolvidas são degradáveis com os produtos de degradação inócuos	3
	Todas as substâncias envolvidas que não são degradáveis podem ser tratadas para se obter produtos de degradação inócuos	2
	Pelo menos uma das substâncias envolvidas não é degradável e não pode ser tratada para se obter produtos de degradação inócuos	1
P12. Química mais segura quanto a prevenção de acidentes	Todas as substâncias envolvidas apresentam baixo risco de acidente químico	3
	Substâncias envolvidas apresentam risco moderado de acidente químico	2
	Pelo menos uma das substâncias envolvidas apresenta risco elevado de acidente químico	1

Fonte: COSTA, 2011, p. 41

Apesar da EV ser considerada uma métrica holística por analisar o procedimento em sua totalidade e não focar em um princípio específico, o número

de pontas da estrela depende da atividade a ser realizada, visto que nem todas contemplam todos os princípios.

Os princípios 4 e 11 não são contemplados pela métrica em situações de ensino pois, nestas não se costuma realizar síntese de novos produtos químicos e tampouco o desenvolvimento metodologias analíticas, aos quais os princípios se aplicam (RIBEIRO, COSTA e MACHADO, 2010).

São pontuados, portanto apenas os princípios envolvidos na prática. No caso de atividades de síntese, serão pontuados todos os princípios restantes e a EV terá 10 pontas. Uma vez que muitas atividades laboratoriais não envolvem reações de síntese, construiu-se uma EV simplificada, em que se excluíram os princípios 2, 3, 8 e 9, pois estes são dirigidos à realização de reações de síntese e não são aplicáveis as demais em que não há reagentes em excesso, derivados ou uso de catálise (RIBEIRO, COSTA e MACHADO, 2010, HARRIS, 2011).

A EV construída neste trabalho terá 6 pontas, que corresponderão aos princípios 1) da prevenção, 5) dos solventes e auxiliares, 6) da eficiência energética, 7) da renovabilidade, 10) da degradabilidade e 12) da Química inerentemente mais segura quando a prevenção de acidentes; estes que serão pontuados em todas as práticas realizadas nos CCR de QAE.

3 METODOLOGIA

Com o intuito de realizar o levantamento dos compostos químicos envolvidos nas atividades realizadas nas aulas de QAE da UFFS/Realeza, efetuou-se uma pesquisa qualitativa a partir das apostilas experimentais e formulários de solicitação do laboratório, disponibilizadas pela professora ministrante das disciplinas ofertadas no ano de 2017.

De posse dos materiais, foram analisados os reagentes utilizados e possíveis produtos/resíduos gerados a partir das reações. As substâncias foram catalogadas e as FISPQ analisadas de acordo com o CAS Number, afim de identificar os perigos (físicos, para a saúde e para o ambiente) oferecidos pelas mesmas. As substâncias também foram classificadas quanto sua degradabilidade e renovabilidade.

As FISPQ foram pesquisadas, preferencialmente, no sítio eletrônico da empresa MERCK Millipore®, e quando não estava disponível nesta, na empresa SIGMA – ALDRICH®, pois estas apresentam-se completas, de acordo com a norma ABNT NBR 14725.

De posse de todos os dados, realizou-se a pontuação dos critérios para construção da Estrela Verde de acordo com a Tabela 2. Após a construção da EV, analisou-se o Índice de Preenchimento da Estrela (IPE), a fim de avaliar a “verdura” da atividade e, por fim, realizou-se o estudo de cada prática com intenção de torná-la mais verde quando necessário e se possível.

O IPE pode ser calculado pela seguinte equação:

$$IPE = \frac{P_{Total} - n}{P_{Máx} - P_{Mín}} * 100$$

Sendo P_{Total} a pontuação total da prática, $P_{Máx}$ a pontuação máxima da estrela, ou seja, como nossa estrela terá 6 pontas e a pontuação máxima de cada ponta é 3, a pontuação máxima da prática será 18 e $P_{Mín}$ a pontuação mínima, ou seja, como nossa estrela terá no 6 pontas e a pontuação mínima de cada ponta é 1, a pontuação mínima da prática será 6 e n o número de princípios pontuados (que neste caso são 6). Dessa forma, a equação pode ser simplificada para:

$$IPE = \frac{P_{Total} - 6}{12} * 100$$

O IPE máximo, igual a 100%, é alcançado quando P_{total} é 18, ou seja, todos os princípios recebem pontuação 3 e, por outro lado, quando P_{total} é 6, e todos os princípios recebem pontuação mínima (1) o IPE é mínimo igual a 0%.

As estrelas foram construídas no editor de planilhas Libre Office Calc (software livre), utilizando a opção de gráficos radiais. Um arquivo contendo o modelo para construção das estrelas pode ser encontrado no site EDUCA – Cultura Científica e Ensino/Aprendizagem da Química.

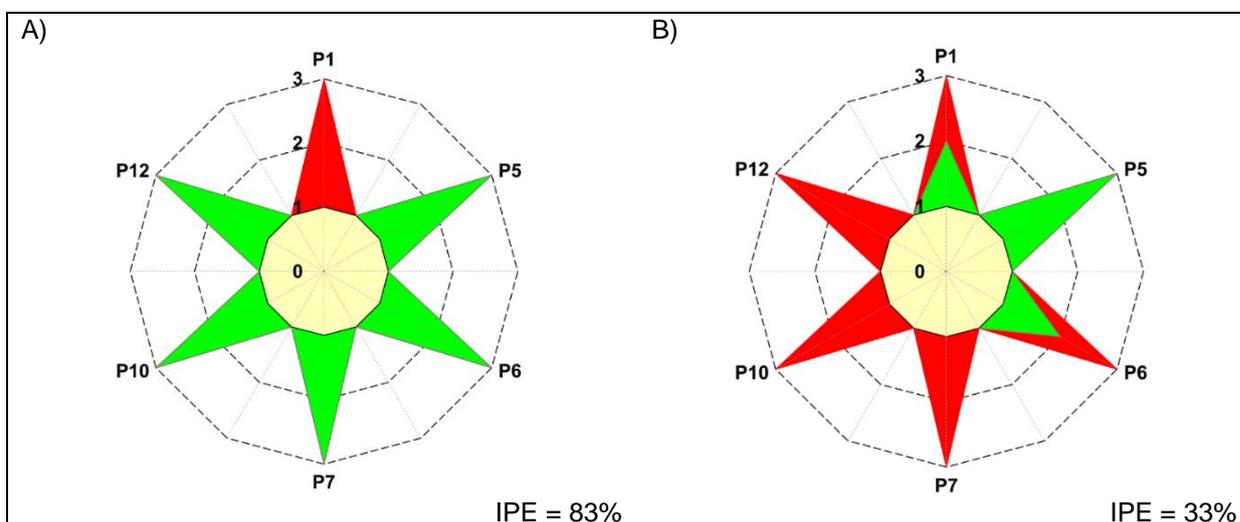
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base na análise das apostilas experimentais e dos formulários de solicitação, as aulas e reações dos componentes de QAE foram catalogadas, bem como os reagentes, produtos e resíduos gerados pelas mesmas (Apêndice A).

Então, analisou-se as FISPQ's, de acordo com o CAS Number, a fim de identificar os perigos (físicos, para a saúde e para o ambiente) oferecidos pelas substâncias envolvidas nos experimentos. As substâncias também foram classificadas quanto sua degradabilidade e renovabilidade (Apêndice B) para a construção das EV a partir da pontuação dos princípios estabelecida por Costa (2011).

Ao todo, foram construídas 38 EV (Apêndice C), sendo que destas aproximadamente dois terços apresentaram IPE igual ou superior a 50% e um terço apresentaram IPE inferior a 50%. Considerou-se este percentual para verificação da aceitabilidade das práticas, de acordo com Costa (2011). O maior IPE obtido foi de 83% na aula experimental 2 e por outro lado, o menor IPE foi de 33% na aula experimental 5, conforme Figura 1:

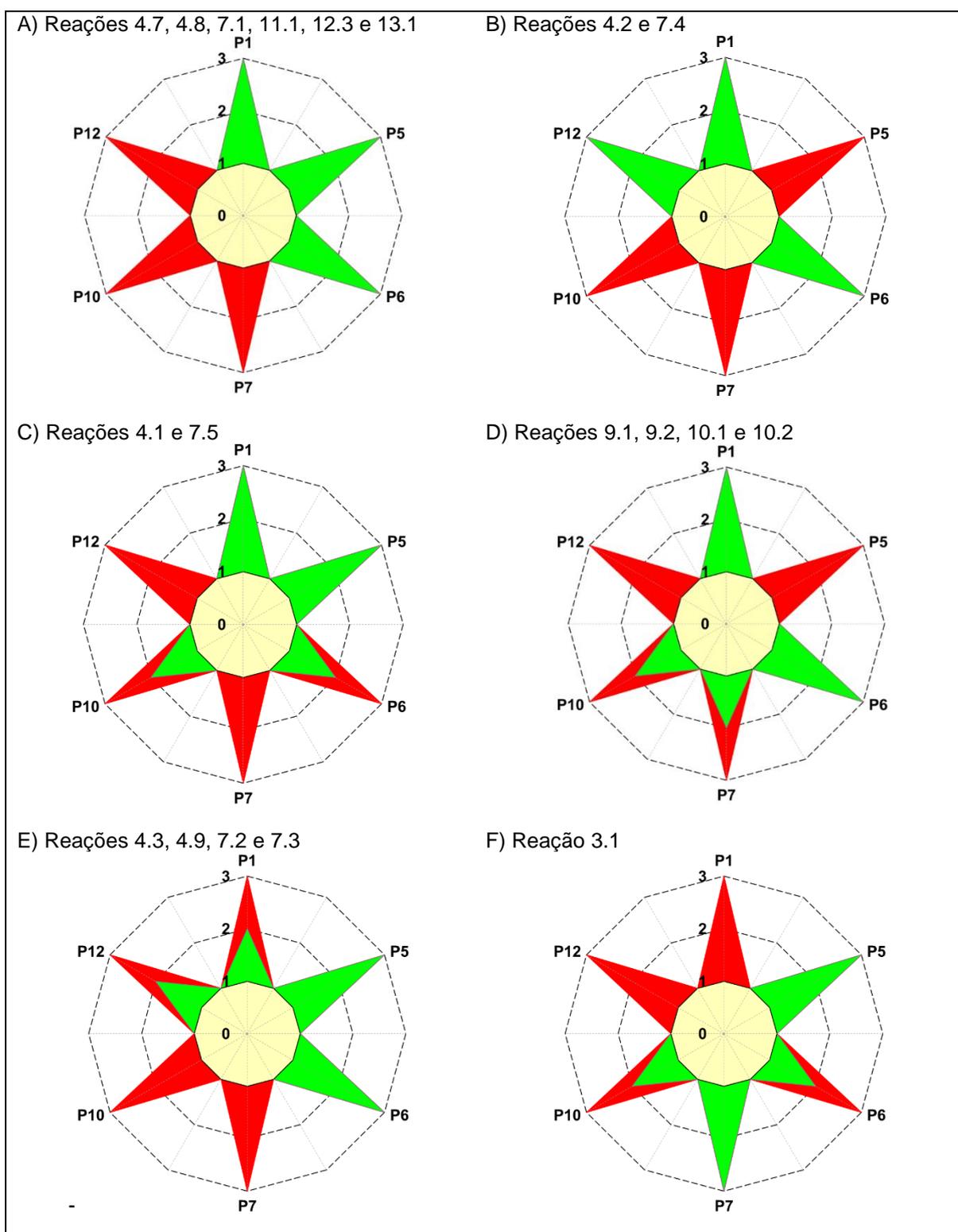
Figura 1 – Estrelas Verdes com maior e menor IPE das reações estudadas.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2018

Apesar de várias EV possuírem o mesmo IPE, elas podem diferir entre si no cumprimento dos princípios. Como é o caso das EV que apresentam IPE de 50%, conforme Figura 2:

Figura 2 – Estrelas Verdes com IPE igual a 50%.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2018

Avaliando as EV, o P1 não foi contemplado nas estrelas da Figura 2E e 2F, devido as reações envolvidas formarem resíduos considerados perigosos, como o

Cloreto e Hidróxido de Amônio. O princípio 1 diz respeito a prevenção de formação de resíduos perigosos, e isso pode ser feito por meio de alterações nos reagentes utilizados nas práticas de identificação de cátions como o Estrôncio e o Cálcio, porém as mesmas não foram estudadas neste trabalho.

O princípio 5 diz respeito ao uso de solventes e substâncias auxiliares e não foi atendido nas estrelas da Figura 2B e 2D. As reações da Figura 2B utilizam Hidróxido de Amônio como auxiliar e tratam da identificação do cátion Magnésio.

Alterações podem ser feitas afim de melhorar o cumprimento do P5, conforme Vogel (1981, p.314) com solução de Carbonato de Sódio, respeitando-se as especificidades da reação. As reações da Figura 2D utilizam a Fenolftaleína e o Alaranjado de Metila como indicador e uma alternativa para melhorar o IPE atendendo ao P5, seria a substituição destes por outro equivalente, porém, ambos são largamente utilizados em reações de titulação ácido-base pois, conforme Bellato *et al* (2012, p. 60) a faixa de viragem do indicador deve estar contida no intervalo de variação brusca do pH da solução em estudo.

Nas Figuras 2C e 2F observa-se que o P6 está sendo parcialmente cumprido (pontuação 2). Este diz respeito a eficiência energética. Quando ocorre aquecimento e de acordo com a temperatura utilizada, ocorre o decréscimo da pontuação. Infelizmente a ausência de aquecimento descaracteriza as práticas, não sendo alcançado o objetivo de identificação do cátion Amônio que é feito pelo desprendimento de gás. Para que o P6 seja completamente atendido é necessário que a reação seja realizada a temperatura e pressão ambientais.

O P7 foi contemplado apenas na estrela da Figura 2F. Este princípio refere-se ao uso de matérias primas renováveis e por isso é de difícil cumprimento nas reações envolvidas em QAE pois a maioria utiliza-se de reagentes provenientes de fontes não renováveis, como é o caso dos sais derivados de metais. Já que recursos renováveis são aqueles provenientes de fontes naturalmente reabastecidos.

Do mesmo modo que o P7, o P10 é de difícil alcance, este que trata do uso de substâncias degradáveis. Em nenhuma das estrelas apresentadas na Figura 2 o princípio foi completamente atendido, já que basta uma substância envolvida não ser degradável e nem tratável para que a pontuação seja mínima. No caso específico da QAE utilizam-se muitas substâncias inorgânicas, as quais não são aplicáveis os métodos de degradação biológica. Porém, o P10 foi parcialmente contemplado nas

Figuras 2C, 2D e 2F, pois apesar de nem todas as substâncias envolvidas serem biodegradáveis, algumas podem ser tratadas para se obter a degradação em produtos inócuos.

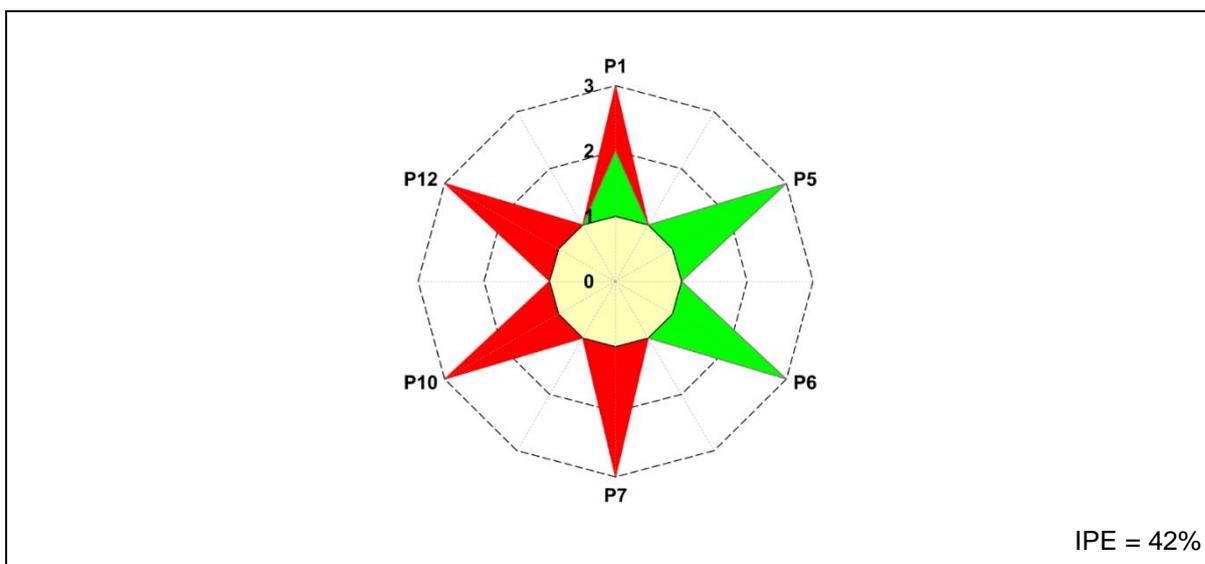
O princípio 12 pondera que todas as substâncias na reação apresentem baixo perigo de acidente químico. Este foi completamente atendido somente na Figura 2B e parcialmente atendido na Figura 2E. Nas demais estrelas, o não cumprimento do P12 está ligado ao uso de substâncias com elevados perigos físicos ou a saúde, como é o caso dos Cloreto de Bário, Zinco, Estrôncio e Cálcio, dos indicadores Fenolftaleína e Alaranjado de Metila e do complexante EDTA, além do Ácido Sulfúrico, Hidróxido de Sódio, Permanganato, Cromato e Iodeto de Potássio e Sulfeto e Hipoclorito de Sódio. Para que o princípio seja melhorado é necessária a substituição destas substâncias por outras que não apresentem perigos, mas que cumpram com o objetivo da reação. Para isto há dificuldades visto que estas alterações podem descaracterizar a prática.

No geral, constata-se que a maioria das EV construídas apresentam os princípios 7, 10 e 12 incompletos. Estes tratam da renovabilidade, degradabilidade e segurança da prática, respectivamente. Infelizmente, estes não foram atendidos e nem conseguiremos sugerir substituições plausíveis, já que algumas alterações descaracterizam as aulas práticas, por se tratar da Química Analítica Clássica (MUELLER; SOUZA, 2012; VOGEL, 1981).

Os menores índices obtidos foram de 33% em três estrelas e 42% em oito estrelas. São essas 11 EV as quais nos deteremos mais profundamente neste trabalho, buscando melhorar os IPE's. As estrelas estão identificadas de acordo com a Tabela 4 do Apêndice A.

A EV 4.4, apresentada na Figura 3, refere-se à reação de identificação do Ferro III. O IPE da mesma foi de 42%. Ao observá-la, percebe-se que, além do P7 e P10, o P12, que diz respeito aos riscos envolvidos na análise, não está sendo contemplado. Uma opção para melhorar o índice seria a substituição do Cloreto de Ferro III por outro sal que não possuísse perigos de pontuação 3, de acordo com a Tabela 6, o que atenderia ao P12, porém, conforme Vogel (1981, p. 271) não há outro sal que possa ser utilizado sem que se descaracterize a prática.

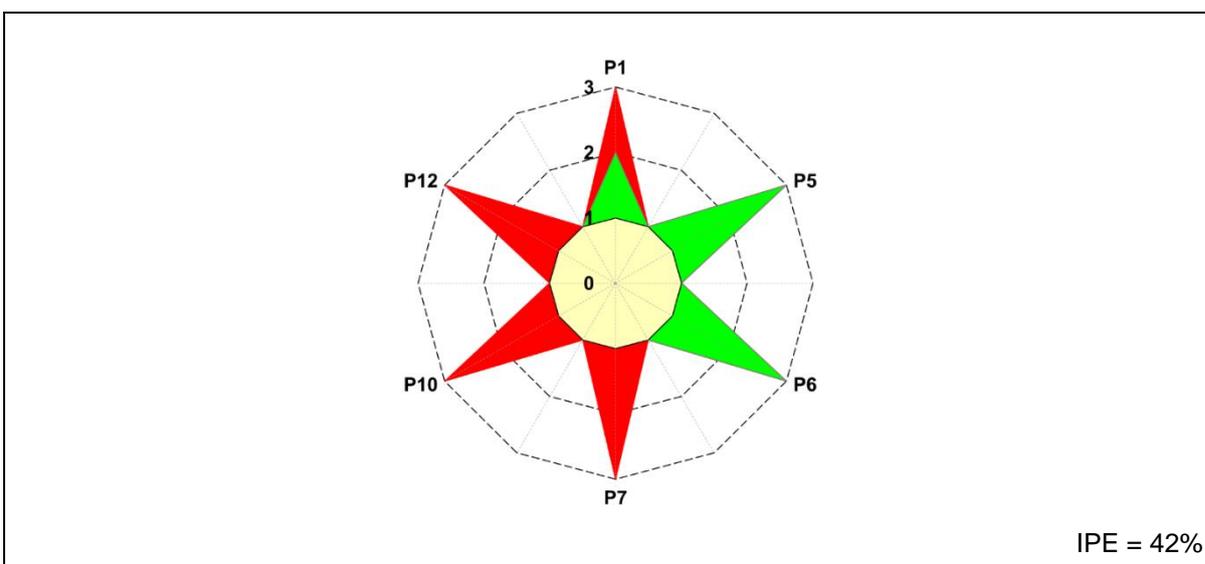
Figura 3 – Estrela Verde 4.4.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2018

A reação 4.5, de identificação do Alumínio, conforme EV abaixo (Figura 4) apresenta IPE de 42%. Isto se deve, além das pontas P7 e P10 também ponta não atendida da estrela, P12, que está relacionada aos riscos físicos e para a saúde envolvidos na análise.

Figura 4 – Estrela Verde 4.5.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2018

Uma opção para melhorar o índice, de acordo com Vogel (1981, p. 277) é a substituição do Cloreto de Alumínio por Sulfato de Alumínio (CAS 7784-31-8),

porém, este apresenta o código de perigo H318, que é elevado para a saúde (Tabela 6), e por isso não alteraria o P12.

Outra possibilidade para melhorar o IPE da estrela desta reação, conforme sugestão de Vogel (1981, p. 277), é substituir o Cloreto de Alumínio por Sulfato de Alumínio e Potássio dodecahidratado (Alume de Potássio) (CAS 7784-24-9), que não é classificado como perigoso.

Mas, esta reação de identificação do Alumínio, mesmo com o Alume de Potássio, é realizada com Hidróxido de Amônio, que possui perigo elevado quanto a saúde. Por isso, para melhorar o IPE de 42% para 50%, sugere-se a substituição deste hidróxido pelo emprego de Fosfato de sódio (CAS 13472-35-0), que não é classificado como perigoso, conforme reação (1):



Porém, esta reação leva a produção de resíduos com alta periculosidade, como Ácido Sulfúrico, fazendo com que o P1 não seja contemplado, conforme pode ser observado na Figura 5A.

Dessa forma, uma alternativa é o emprego do Carbonato de Sódio em vez do Fosfato de Sódio, que aumenta o IPE de 50% para 58%, conforme reação (2) e Figura 5B.

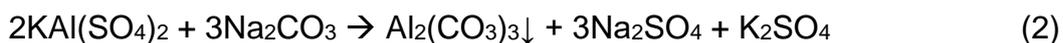
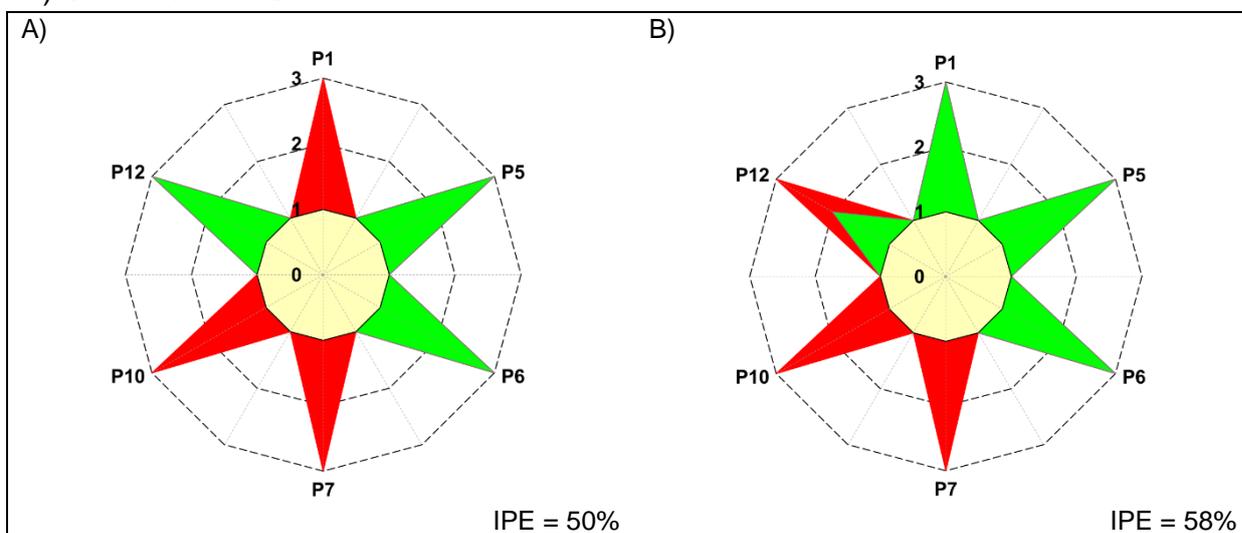


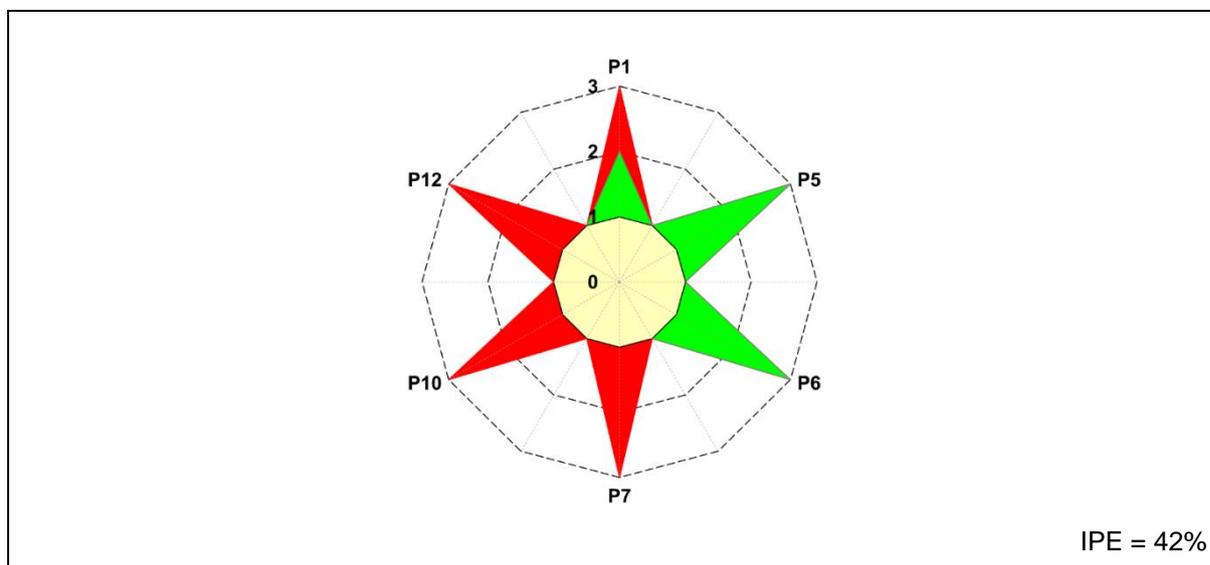
Figura 5 – Estrelas Verdes 4.5 com Alume de Potássio e A) Fosfato de Sódio; B) Carbonato de Sódio.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2018

A EV 4.6 refere-se à reação de identificação do Níquel. O IPE da EV foi de 42%, como pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 – Estrela Verde 4.6.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2018

Na estrela, percebe-se que além do P7 e P10, o P12, referente aos riscos envolvidos na análise, não está sendo contemplado. Uma opção para melhorar o índice seria a substituição do Cloreto de Níquel por outro sal. De acordo com Vogel (1981, p. 292) para o estudo desta reação, pode ser empregado também Sulfato de Níquel (CAS 10101-97-0) porém, este apresenta perigos igualmente elevados, o que faz com que a substituição não seja significativa.

A reação de identificação do Cobalto, apresenta EV 4.10 com IPE de 42%, como pode ser visto na Figura 7A abaixo. Esta reação emprega Cloreto de Cobalto.

De acordo com Vogel (1981, p. 287) as reações dos íons Cobalto (II) podem ser estudadas também com Nitrato de Cobalto (CAS 10026-22-9) porém, este apresenta perigos igualmente elevados ao Cloreto de Cobalto, o que faz com que a substituição não altere o IPE, mantendo o P12, que diz respeito aos riscos envolvidos na análise, não contemplado.

Nesta mesma reação, o P5 está sendo parcialmente atendido, dessa forma, uma alternativa é eliminar o uso de auxiliares, como o Álcool Amílico. A reação com Nitrito de Potássio em presença de Ácido Acético é sugerida por Vogel (1981, p. 289), conforme reação (3) e EV da Figura 7B:

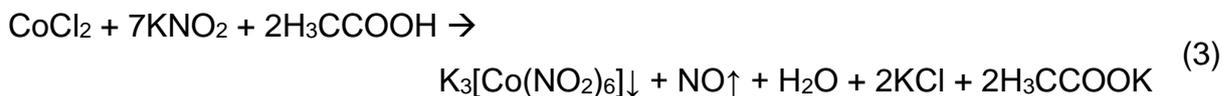
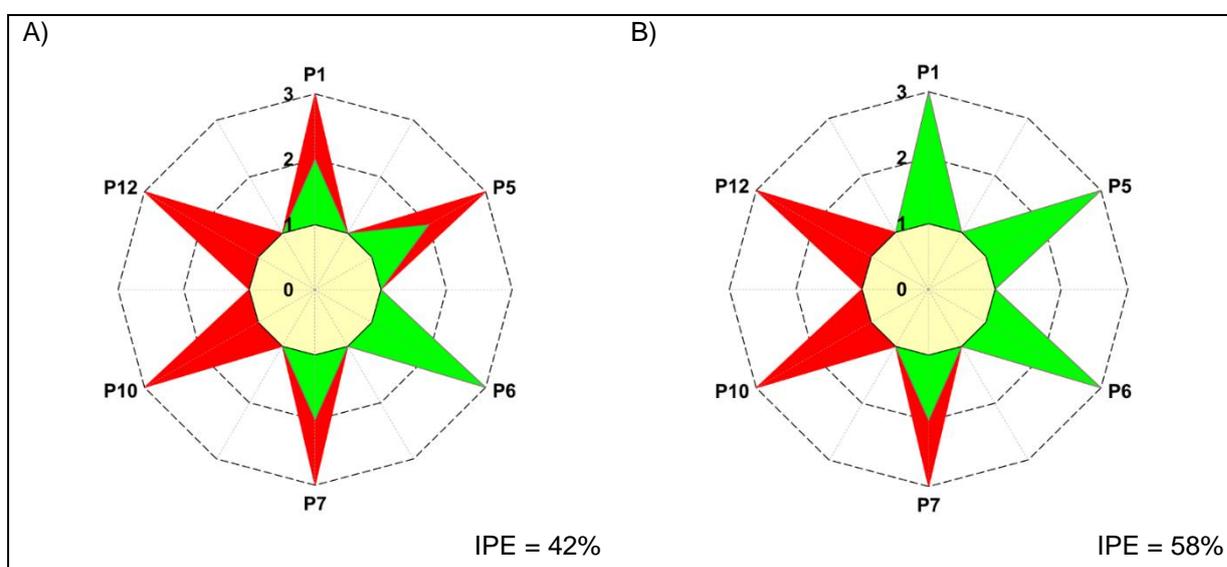


Figura 7 – Estrelas Verdes 4.10 A) Original; B) Sem o auxiliar Álcool Amílico.

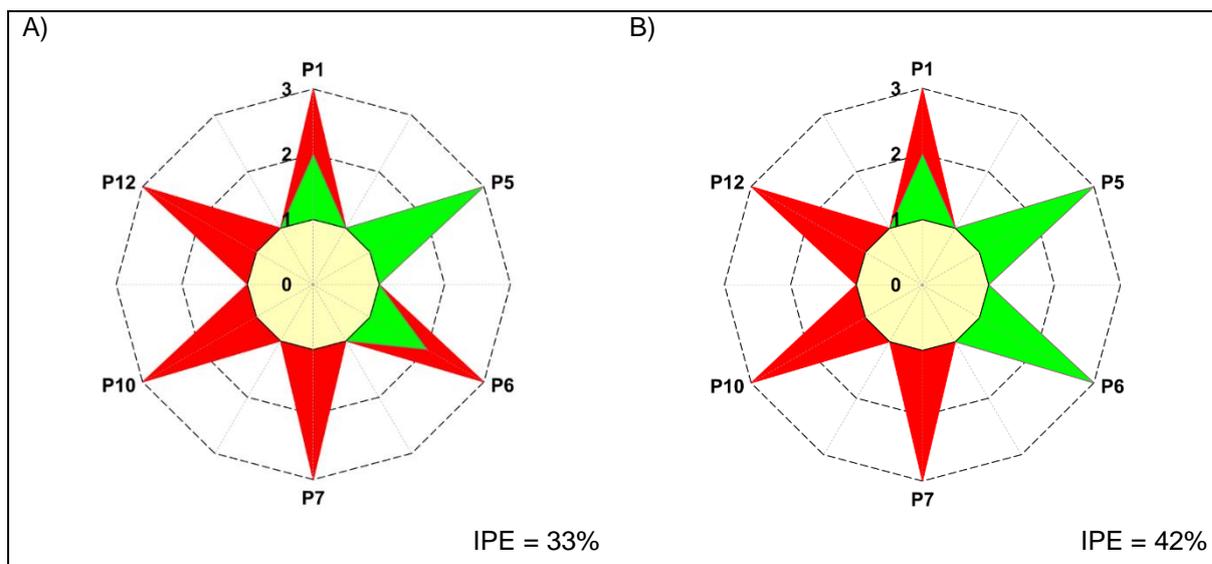


Fonte: Elaborado pelos autores, 2018

Com a substituição destes reagentes, o IPE que inicialmente era de 42% aumentou para 58%, isto pois o P1 e o P5 que estavam sendo atendidos parcialmente puderam ser completamente atendidos

As estrelas referentes a aula 5 “Identificação do Grupo III A” apresentaram IPE de 33% (Figura 8A), sendo este o mais baixo dentre todas as EV construídas. Uma alternativa para melhorar o índice das mesmas é realizar a prática sem aquecimento, o que faz com que o P6 seja completamente atendido e o índice aumente para 42%, como pode ser observado na Figura 8B.

Figura 8 – Estrelas Verdes da aula 5 A) Originais; B) Temperatura ambiente.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2018

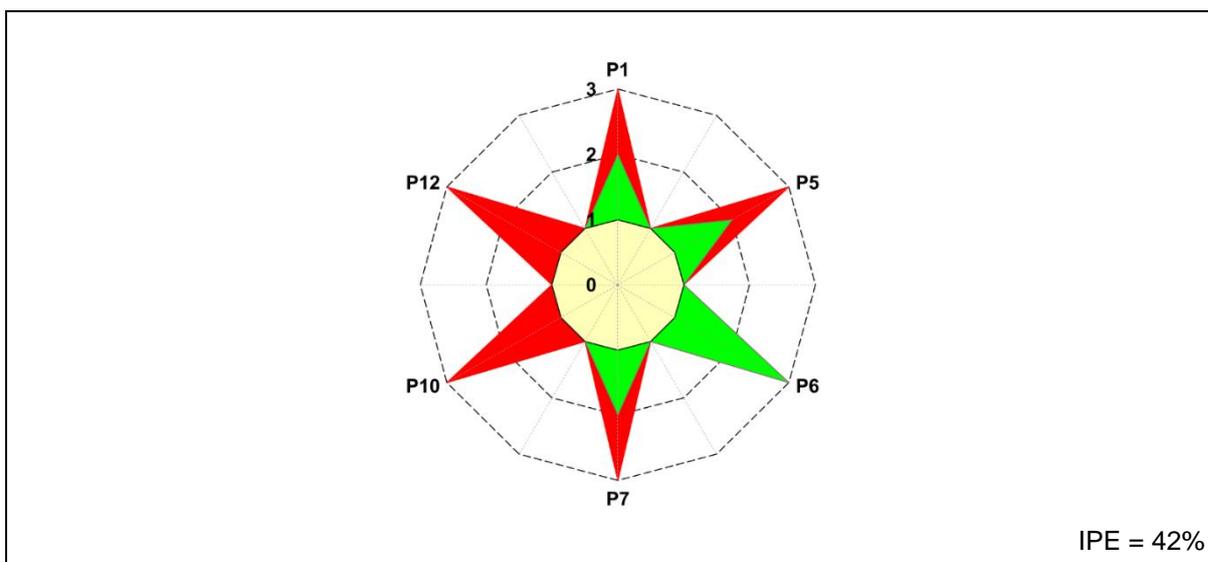
Sabendo que este IPE é baixo, procura-se fazer outras sugestões na prática, por exemplo, substituir os reagentes mais perigosos, como é o caso dos Cloretos de Ferro (III) e Cromo (III) e dos Hidróxidos de Sódio e Amônio, por outros de menor periculosidade.

Conforme mencionado na EV 4.4 para o Cloreto de Ferro III não há um substituto equivalente. E para o Cloreto de Cromo III, Vogel (1981, p. 282) sugere a utilização de Sulfato de Cromo III (CAS 15244-38-9) este que também possui perigo elevado e, portanto, não altera o IPE.

A possibilidade de substituir o Hidróxido de Sódio e o Hidróxido de Amônio foi descartada pois, a substituição destes reagentes altera a “análise qualitativa sistemática”, também conhecido como “marcha analítica” (BARBOSA, 2014; MUELLER; SOUZA, 2012; BELLATO *et al*, 2012; VOGEL, 1981; VAITSMAN; BITTENCOURT, 1995) e descaracterizaria a aula prática.

Outra EV que apresenta IPE baixo é a 6.1, conforme Figura 9, com índice de 42%. Como vimos na estrela 4.10, que também trata da identificação do Cobalto, o IPE pode ser melhorado através da substituição da reação com Álcool Amílico pela com Nitrito de Potássio em presença de Ácido Acético, de 42% para 58%.

Figura 9 – Estrela Verde 6.1.

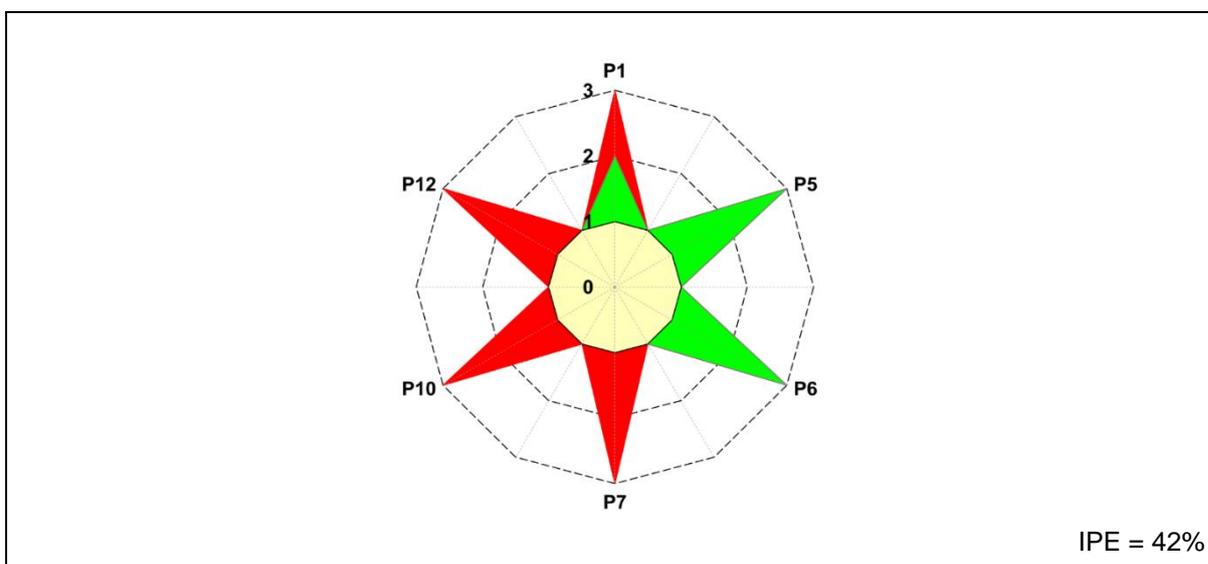


Fonte: Elaborado pelos autores, 2018

No entanto, as alterações não resultarão no aumento do índice pois, a prática “Identificação do Grupo III B” também segue a “marcha analítica” e utiliza substâncias com perigo elevado, como o Hidróxido de Amônio, Hidróxido de Sódio, Sulfeto de Sódio e Hipoclorito de Sódio. Cabe ressaltar que, basta a presença de uma substância com perigo elevado para que a pontuação da estrela seja mínima.

A estrela 6.2, conforme Figura 10, possui IPE 42%, e refere-se à reação de identificação do Níquel, como já abordado na estrela 4.6 e percebe-se que, do mesmo modo, as alterações sugeridas não alteram o IPE.

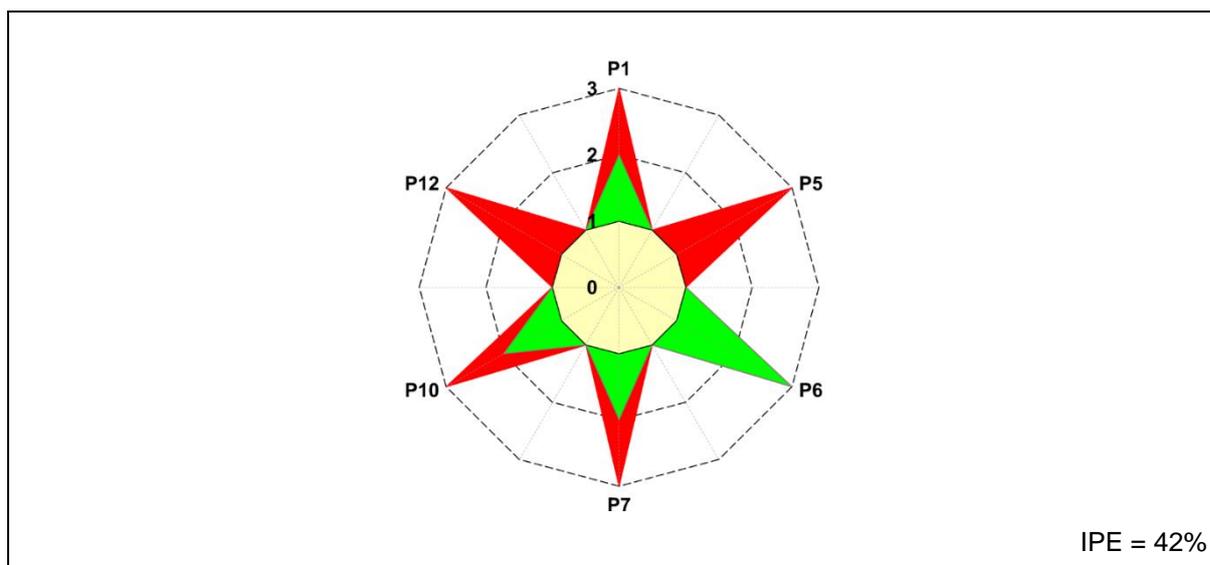
Figura 10 – Estrela Verde 6.2.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2018

A estrela apresentada na Figura 11, refere-se a aula número 8 “Análise titulométrica de precipitação”, reações 8.1 e 8.2, método de Mohr e de Volhard, respectivamente, e apresentam IPE de 42%.

Figura 11 – Estrela Verde da aula 8.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2018

Ao analisar a estrela, vemos que o P5 e o P12 não estão sendo atendidos. O P5 diz respeito às substâncias auxiliares, que na 8.1 é o Cromato de Potássio e na 8.2 é Ácido Nítrico, estes apresentam perigo elevado e sugere-se a substituição por outros de menor periculosidade ou inócuos.

O P12 diz respeito a segurança do processo e ambas as reações utilizam Nitrato de Prata, que apresentam alta periculosidade e sugere-se a substituição do mesmo. Porém, caso haja a substituição destas substâncias, descaracterizará os métodos estudados em QAE, especialmente estes que são também conhecidos como métodos argentimétricos pois se baseiam na formação de sais de prata pouco solúveis (BELLATO *et al.*, 2012; LEITE, 2012; ROSA, GAUTO, GONÇALVES, 2013).

Ao todo, foram estudadas trinta e oito reações desenvolvidas nos CCR de QAE empregando a métrica EV. Destas, propomos alterações em onze reações, como substituição de reagentes, afim de melhorar o IPE.

Foi possível um aumento da verdura em cinco estrelas, conforme Tabela 3. Sendo que duas estrelas apresentavam índice de 42% e melhoraram para 58%, e três EV apresentavam índices de 33% e melhoraram para 42%. Sabe-se que o índice de 42% é baixo, mas alterações mais profundas descaracterizariam a prática.

Tabela 3 – Estrelas Verdes que apresentaram aumento de verdura, pelas alterações sugeridas neste estudo.

Estrela Verde	IPE original (%)	IPE após sugestão (%)
4.5	42	58
4.10	42	58
5.1	33	42
5.2	33	42
5.3	33	42

Com o estudo realizado, 76% do total de estrelas apresentaram índices acima de 50%, sendo que daquelas que nos propomos a melhorar, 45% obtiveram alterações significativas no IPE. Essas alterações simbolizam um aumento líquido de 59% nas EV.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo das práticas realizadas em QAE e a construção das EV para as respectivas reações envolvidas nas análises nos permitiu verificar a veracidade destas por meio do IPE. A maioria, correspondente a 27 EV, apresentou IPE igual ou superior a 50%, o que é um índice considerado satisfatório. Porém, sugere-se que em estudos futuros essas práticas sejam revistas e índices superiores a 50% possam ser obtidos.

Para as estrelas que apresentaram índices inferiores a 50%, 11 no total, propomos algumas alterações na prática, como substituição de reagentes, afim de melhorar o IPE. Com as sugestões feitas, o IPE mínimo que era de 33% aumentou para 42%. Além disso, 76% das EV ficaram com índice acima de 50% e 24% abaixo de 50%. Efetivamente, houve melhora de 5, das 11 estrelas estudadas.

Como já dito, praticar a QV é ir além da zona de conforto, configurando uma mudança na mentalidade da prática química. Por isso, sugere-se que sejam substituídos os métodos já testados e validados por outras opções que caracterizariam a prática de forma mais verde.

A aplicação da métrica Estrela Verde se mostrou eficiente para avaliar a veracidade das reações realizadas em QAE. Para além da Analítica, que foi o foco deste estudo, a métrica pode ser aplicada também nos componentes experimentais de Geral, Orgânica, Inorgânica, Bioquímica e Físico-Química, no que tange ao curso de Química e em todos os demais cursos da UFFS.

Visto que a Química Verde configura-se por um conjunto de princípios, que caracterizam uma nova maneira de pensar as Ciências, não sendo uma disciplina isolada, mas que se entremeia por todas as demais, para além da Química, a Química Verde e suas métricas podem ser aplicadas em todas as áreas de atuação científica, não só a nível de ensino, como também pesquisa, extensão e produção industrial.

Com a aplicação de métricas como a Estrela Verde, esperamos que se desenvolva um maior senso crítico e que nos preocupemos mais com as diversas questões ambientais, devido ao maior conhecimento e disponibilidade de informações referentes a prática química, contribuindo assim para desmistificar o papel de vilã desta Ciência e colaborando para uma sociedade mais sustentável.

Ressalto ainda que esta é uma medida pontual que foi desenvolvida nos CCR de QAE de UFFS Realeza/PR e que ainda cabe muito mais esforço por parte dos servidores da instituição para que de fato tenhamos uma Universidade preocupada e engajada com as questões ambientais. Nesse sentido, enquadrando-se também nos objetivos da Agenda 2030.

REFERÊNCIAS

ANASTAS, P. T.; WARNER, J. C. **Green Chemistry: theory and practice**. New York; Oxford University Press; 1998.

ANVISA. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/datavisa/Substancia/CodigoCAS.htm>> Acesso em 16/05/18

BARBOSA, G. P. **Química Analítica: uma abordagem qualitativa e quantitativa**. São Paulo/SP: Érica, 2014

BELLATO, R. C. *et al.* **Laboratório de Química Analítica**. Viçosa/MG: Ed. UFV, 2012.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Social. **Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Brasília/DF, 2016. Disponível em: <http://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/Brasil_Amigo_Pesso_Idosa/Agenda2030.pdf> Acesso em 10/07/18

CARSON, R. **Primavera Silenciosa**. Traduzido por Claudia Sant'Anna Martins. 1 ed. São Paulo: Gaia. 2010.

CGEE (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos), **Química verde no Brasil: 2010-2030**, Brasília/DF, 2010. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Livro_Quimica_Verde_9560.pdf/f6fa468d-8725-46d6-bc90-6c185835e4bf?version=1.3> Acesso em 05/05/18

COSTA, D. A. **Métricas de avaliação da Química Verde – aplicação no ensino Secundário**. Tese de doutorado. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2011. Disponível em: <<http://educa.fc.up.pt/ficheiros/investigacao/61/VER%20TESE%20de%20Dominique%20A.%20Costa.pdf>> Acesso em 05/05/18

EDUCA, **Cultura Científica e Ensino/Aprendizagem da Química**. Página da Web. Disponível em: <<http://educa.fc.up.pt/>> Acesso em 2018

FARIAS, A. L.; FÁVARO, D. I. T. Vinte anos de Química Verde: Conquistas e Desafios. **Quim. Nova**, Vol. 34, No. 6, 1089-1093, 2011. Disponível em: <http://quimicanova.s bq.org.br/imagebank/pdf/Vol34No6_1089_29-AG10500.pdf> Acesso em 05/05/18

GREENBERG, A. **Uma breve história da química: Da Alquimia às Ciências Moleculares Modernas**. São Paulo: Blucher. 2009.

HARRIS, D. C. **Explorando a Química Analítica**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M.; WEAVER, G. C. **Química Geral e Reações Químicas**. vol 2. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

LEITE, F. **Práticas de Química Analítica**. 5 ed. Campinas: Editora Átomo. 2012

LENARDÃO, E. J. *et al.* "Green Chemistry" – Os 12 princípios da Química Verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. **Quim. Nova**, Vol. 26, No. 1, 123-129, 2003. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/qn/v26n1/14310.pdf>> Acesso em 05/05/18

MAGRIN, C. P.; THEISEN, R.; LIMA, F. O. Gerenciamento de resíduos químicos das aulas experimentais de Química Analítica Quantitativa. **Anais do XVI EPEA**. Curitiba, 2017. Disponível em: <<http://www.epea2017.ufpr.br/wp-content/uploads/2017/05/205-E5-S4-GERENCIAMENTO-DE-RESÍDUOS-QUÍMICOS.pdf>>. Acesso em 05/05/18

MERAT, L. M. O. C.; SAN GIL, R. A. S. Inserção do conceito de economia atômica no programa de uma disciplina de química orgânica experimental. **Quim. Nova**, Vol. 26, No. 5, 779-781, 2003. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/qn/v26n5/17217.pdf>> Acesso em 05/05/18

MUELLER, H. SOUZA, D. **Química Analítica Qualitativa Clássica**. 2 ed. Blumenau/SC: Edifurb, 2012

PAGNO, V. **Levantamento de Resíduos dos Laboratórios da UFFS, Campus Realeza – PR, e Propostas de Atividades com Foco em Química Verde**. TCC (Graduação) - Curso de Química - Licenciatura, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Realeza, 2016. Disponível em: < <https://rd.ufffs.edu.br:8443/handle/prefix/216>> Acesso em 05/05/18

PANHO, J. **A Publicização nos Anais do Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ) 2014 e a Potencialidade da Fotografia na Problemática da Química Verde**. TCC (Graduação) - Curso de Química - Licenciatura, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Realeza, 2016. Disponível em: < <https://rd.ufffs.edu.br/handle/prefix/217>> Acesso em 05/05/18

RIBEIRO, J. F. **Proposta de tratamento dos resíduos químicos do curso de Química - Licenciatura da UFFS/Realeza**. TCC (Graduação) - Curso de Química - Licenciatura, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Realeza, 2017.

RIBEIRO, M. G. T. C.; COSTA, D. A.; MACHADO, A. A. S. C. Uma métrica gráfica para avaliação holística da veracidade de reações laboratoriais – "Estrela Verde". **Quím. Nova**. Vol. 33, No. 3, 759-764, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v33n3/50.pdf>> Acesso em 19/06/18

ROSA, G.; GAUTO, M.; GONÇALVES, F. **Química Analítica: Práticas de Laboratório**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

VAITSMAN, D. S.; BITTENCOURT, O. A. **Ensaio Químicos Qualitativos**. Rio de Janeiro: Interciência, 1995

VIEIRA, R. S. RIO+20 – Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento: Contexto, principais temas e expectativas em relação ao novo “Direito da Sustentabilidade”. **Novos Estudos Jurídicos**. Edição Especial Rio +20. v. 17, n. 1. p. 48-69. 2012. Disponível em: < <https://siaiap32.univali.br/seer/index.php/nej/article/view/3638/2181> > Acesso em 21/05/18

VOGEL, A. I. **Química Analítica Qualitativa**. 5 ed. São Paulo: Mestre Jou, 1981.

WALLAU, W. M.; SANTOS JÚNIOR, J. A. O sistema globalmente harmonizado de classificação e rotulagem de produtos químicos (GHS) – uma introdução para sua aplicação em laboratórios de ensino e pesquisa acadêmica. **Quim. Nova**. Vol. 36, no. 4, 607-617, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v36n4/v36n4a21.pdf>> Acesso em 08/05/18

APÊNDICE A – ATIVIDADES EXPERIMENTAIS DOS COMPONENTES DE QUÍMICA ANALÍTICA

Tabela 4 – Aulas de Química Analítica Experimental.

CCR	Aulas	Reações	Estrela Verde
Química Analítica Qualitativa	1) Efeito do íon comum: equilíbrio de ionização da amônia	$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$	1.1
	2) Efeito da concentração: equilíbrio de hidrólise do íon bicarbonato	$\text{NaHCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{NaOH}$ $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$	2.1
	3) Efeito da temperatura: equilíbrio de ionização da amônia	$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^- (\Delta H < 0)$	3.1
	4) Reações de identificação de alguns cátions	$\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaOH} + \Delta \leftrightarrow \text{NaCl} + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{NH}_4\text{OH}$	4.1
		$\text{MgCl}_2 + \text{NH}_4\text{Cl} + \text{NH}_4\text{OH} + (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 \leftrightarrow \text{MgHPO}_4 + 3\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NH}_4\text{OH}$	4.2
		$\text{CaCl}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \leftrightarrow \text{CaC}_2\text{O}_4 + \text{NH}_4\text{Cl}$	4.3
		$\text{FeCl}_3 + 3(\text{NH}_4)\text{SCN} \leftrightarrow \text{Fe}(\text{SCN})_3 + 3 \text{NH}_4\text{Cl}$	4.4
		$\text{AlCl}_3 + \text{NH}_4\text{OH} \leftrightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NH}_4\text{OH} \leftrightarrow \text{Al}(\text{OH})_4^- + \text{NH}_4^+$	4.5
		$\text{NiCl}_2 + 2\text{NH}_4\text{OH} \leftrightarrow 2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Ni}(\text{OH})_2 + 2\text{DMG} \leftrightarrow \text{Ni}(\text{DMG})_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	4.6
		$\text{ZnCl}_2 + \text{H}_3\text{CCOOH} + \text{Na}_2\text{S} \leftrightarrow \text{ZnS} + 2\text{NaCl} + \text{H}_3\text{CCOOH}$	4.7
$\text{BaCl}_2 + \text{K}_2\text{CrO}_4 \leftrightarrow \text{BaCrO}_2 + 2\text{KCl}$	4.8		
$\text{SrCl}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \leftrightarrow 2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{SrSO}_4$	4.9		
$\text{CoCl}_2 + \text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH} + 2\text{NH}_4\text{SCN} \leftrightarrow \text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH} + \text{Co}(\text{SCN})_2 + 2\text{NH}_4\text{Cl}$	4.10		

CCR	Aulas	Reações	Estrela Verde
Química Analítica Qualitativa	5) Identificação do grupo III A	<p>Identificação do Ferro:</p> $\text{FeCl}_3 + \text{NH}_4\text{Cl} + 3\text{NH}_4\text{OH} + \Delta \leftrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + 4\text{NH}_4\text{Cl} + 3\text{HCl} \leftrightarrow \text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} + 3\text{NH}_4\text{SCN} \leftrightarrow \text{Fe}(\text{SCN})_3 + 7\text{NH}_4\text{Cl}$	5.1
		<p>Identificação do Alumínio:</p> $\text{AlCl}_3 + \text{NH}_4\text{Cl} + 3\text{NH}_4\text{OH} + \Delta \leftrightarrow \text{Al}(\text{OH})_3\downarrow + 4\text{NH}_4\text{Cl} + 2\text{NaOH} + \Delta \leftrightarrow \text{Al}(\text{OH})_4^-(\text{aq}) + \text{Na}^+ + \text{HCl} \leftrightarrow \text{Al}(\text{OH})_3\downarrow + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$	5.2
		<p>Identificação do Cromo:</p> $\text{CrCl}_3 + \text{NH}_4\text{Cl} + 3\text{NH}_4\text{OH} + \Delta \leftrightarrow 4\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Cr}(\text{OH})_3 + 2\text{NaOH} + \frac{3}{2}\text{H}_2\text{O}_2 + \Delta \leftrightarrow \text{Na}_2\text{CrO}_4 + 4\text{H}_2\text{O} + \text{BaCl}_2 \leftrightarrow \text{BaCrO}_4 + 2\text{NaCl}$	5.3
	6) Identificação do grupo III B	<p>Identificação do Cobalto:</p> $\text{CoCl}_2 + \text{NH}_4\text{Cl} + 2\text{NH}_4\text{OH} \leftrightarrow 3\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Co}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{S} \leftrightarrow \text{CoS} + 2\text{NaOH} + \text{NaOCl} + \text{HCl} \leftrightarrow \text{CoCl}_2 + \text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH} + 2\text{NH}_4\text{SCN} \leftrightarrow \text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH} + \text{Co}(\text{SCN})_2 + 2\text{NH}_4\text{Cl}$	6.1
		<p>Identificação do Níquel:</p> $\text{NiCl}_2 + \text{NH}_4\text{Cl} + 2\text{NH}_4\text{OH} \leftrightarrow 3\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{S} \leftrightarrow \text{NiS} + 2\text{NaOH} + \text{NaOCl} + \text{HCl} + 2\text{NH}_4\text{OH} \leftrightarrow 2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Ni}(\text{OH})_2 + 2\text{DMG} \leftrightarrow \text{Ni}(\text{DMG})_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	6.2
		<p>Identificação do Manganês:</p> $\text{MnCl}_2 + \text{NH}_4\text{Cl} + 2\text{NH}_4\text{OH} \leftrightarrow 3\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Mn}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{S} \leftrightarrow \text{MnS} + 2\text{HCl} \leftrightarrow \text{H}_2\text{S} + \text{MnCl}_2 + \text{NaOH} \leftrightarrow \text{Mn}(\text{OH})_2 + 2\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}_2 \leftrightarrow \text{MnO}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{O}$	6.3
		<p>Identificação do Zinco:</p> $\text{ZnCl}_2 + \text{NH}_4\text{Cl} + 2\text{NH}_4\text{OH} \leftrightarrow 3\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Zn}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{S} \leftrightarrow \text{ZnS} + 2\text{HCl} \leftrightarrow \text{H}_2\text{S} + \text{ZnCl}_2 + \text{H}_3\text{CCOOH} + \text{Na}_2\text{S} \leftrightarrow \text{ZnS} + 2\text{NaCl} + \text{H}_3\text{CCOOH}$	6.4

CCR	Aulas	Reações	Estrela Verde
Química Analítica Qualitativa	7) Identificação do grupo IV e V	Identificação do Bário: $\text{BaCl}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{NH}_4\text{Cl} + 2\text{BaCO}_3 + \text{K}_2\text{CrO}_4 \leftrightarrow \text{BaCrO}_4 + 2\text{KCl} + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	7.1
		Identificação do Estrôncio: $\text{SrCl}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{SrCO}_3 + 2\text{NH}_2\text{Cl} + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \leftrightarrow \text{SrSO}_4 + 2\text{NH}_4\text{Cl} + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	7.2
		Identificação do Cálcio: $\text{CaCl}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{NH}_2\text{Cl} + (\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \leftrightarrow \text{CaC}_2\text{O}_4 + 2\text{NH}_4\text{Cl} + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	7.3
		Identificação do Magnésio: $\text{MgCl}_2 + \text{NH}_4\text{Cl} + \text{NH}_4\text{OH} + (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 \leftrightarrow \text{MgHPO}_4 + 3\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NH}_4\text{OH}$	7.4
		Identificação do Amônio: $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaOH} + \Delta \leftrightarrow \text{NaCl} + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{NH}_4\text{OH}$	7.5
Química Analítica Quantitativa	8) Análise titulométrica de precipitação	Determinação de cloreto em soro fisiológico – Método de Mohr $\text{AgNO}_3 + \text{NaCl} + \text{K}_2\text{CrO}_4 \leftrightarrow \text{AgCl} + \text{NaNO}_3 + \text{K}_2\text{CrO}_4$	8.1
		Determinação de cloreto em soro fisiológico – Método de Volhard $\text{AgNO}_3 + \text{HNO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 + \text{NaCl} \leftrightarrow \text{NaNO}_3 + \text{AgCl} + \text{NH}_4\text{SCN} \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl} + \text{AgSCN} + \text{HNO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$	8.2
	9) Análise titulométrica de neutralização	$\text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{HCl} + \text{alaranjado metila} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_2 + 2\text{NaCl} + \Delta \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$	9.1
Determinação do teor de ácido acético no vinagre $\text{HCl} + \text{NaOH} + \text{fenolftaleína} \leftrightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$ $\text{H}_3\text{CCOOH} + \text{NaOH} + \text{fenolftaleína} \leftrightarrow \text{H}_3\text{CCOONa} + \text{H}_2\text{O}$		9.2	

CCR	Aulas	Reações	Estrela Verde
Química Analítica Quantitativa	10) Análise titulométrica de neutralização	Determinação da acidez total de vinhos (ácido tartárico) $2\text{NaOH} + \text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2(\text{COOH})_2 + \text{fenolftaleína} \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2(\text{COONa})_2$	10.1
		Determinação do ácido cítrico em frutas (ácido cítrico) $3\text{NaOH} + \text{C}_3\text{H}_5\text{O}(\text{COOH})_3 + \text{fenolftaleína} \leftrightarrow 3\text{H}_2\text{O} + \text{C}_3\text{H}_5\text{O}(\text{COONa})_3$	10.2
		Determinação do teor de hidróxido de magnésio em leite de magnésia por retrotitulação $\text{Mg}(\text{OH})_2 + 2\text{HCl} \leftrightarrow \text{MgCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{HCl} + \text{NaOH} \leftrightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$	10.3
	11) Análise titulométrica de complexação	Determinação da dureza em amostras de água $(\text{EDTA} = \text{Y}^{4-}) \text{CaCO}_3 + \text{Y}^{4-} \leftrightarrow \text{CaY}^{2-} + \text{CO}_3^{2-}$	11.1
	12) Análise titulométrica de oxirredução – Iodimetria e Iodometria	$\text{KIO}_3 + 5\text{KI} + 6\text{HCl} \leftrightarrow 3\text{H}_2\text{O} + 3\text{I}_2 + 6\text{KCl} + 3\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \rightarrow 6\text{NaI}$	12.1
		Análise se comprimidos de vitamina C $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6 + \text{I}_2 \leftrightarrow 2\text{HI} + \text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6$	12.2
		Determinação de cloro ativo em alvejante $2\text{NaOCl} + 2\text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 \leftrightarrow 2\text{KCl} + \text{I}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \leftrightarrow 4\text{Na}^+ + 2\text{I}^- + \text{S}_4\text{O}_6^{2-} \leftrightarrow 2\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{I}_2$	12.3
	13) Análise titulométrica de oxirredução – Permanganometria	$2\text{KMnO}_4 + 5\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4 + 8\text{H}_2\text{SO}_4 \leftrightarrow 10\text{CO}_2 + 8\text{H}_2\text{O} + 2\text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 5\text{Na}_2\text{SO}_4$	13.1
		Determinação do teor de H₂O₂ em água oxigenada $5\text{H}_2\text{O}_2 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{KMnO}_4 \leftrightarrow 5\text{O}_2 + 8\text{H}_2\text{O} + \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{MnSO}_4$	13.2

APÊNDICE B – DADOS DAS SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS DE ACORDO COM A FISPQ

Tabela 5 – Substâncias Químicas utilizadas nas aulas de QAE.

Nome	Fórmula Química	CAS	Perigos	Físico	Saúde	Ambiente	Degradabilidade	Renovabilidade
2-pentanol	C ₅ H ₁₁ OH	6032-29-7	H226 H332 H335	2 1 1	1 2 2	1 1 1	Sim	Sim
Acetato de Sódio anidro	H ₃ COONa	127-09-3	*	1	1	1	Sim	Não
Ácido Acético	H ₃ CCOOH		*	1	1	1	Sim	Sim
Ácido Ascórbico	C ₆ H ₆ O ₆	50-81-7	*	1	1	1	Sim	Sim
Ácido Cítrico	C ₃ H ₅ O(COOH) ₃	77-92-9	H319	1	2	1	Sim	Sim
Ácido Clorídrico	HCl		H290	2	1	1	Não	Não
Ácido Nítrico	HNO ₃	7697-37-2	H290 H314	2 1	1 3	1 1	NSA	Não
Ácido Sulfúrico	H ₂ SO ₄	7664-93-9	H290 H314	2 1	1 3	1 1	Não	Não
Ácido Tartárico	C ₂ H ₄ O ₂ (COOH) ₂	133-37-9	H319	1	2	1	Sim	Sim
Alaranjado de Metila	C ₁₄ H ₁₄ N ₃ NaO ₃ S	547-58-0	H301	1	3	1	Não	Não
Álcool Isoamílico	C ₅ H ₁₁ OH	123-51-3	H226 H332 H335	2 1 1	1 2 2	1 1 1	Sim	Sim
Amônia	NH ₃	1336-21-6	H290 H314 H335 H400	2 1 1 1	1 3 2 1	1 1 1 3	Sim	Sim

Nome	Fórmula Química	CAS	Perigos	Físico	Saúde	Ambiente	Degradabilidade	Renovabilidade
Bicarbonato de Sódio	NaHCO ₃	144-55-8	*	1	1	1	Não	Sim
Brometo de Sódio	NaBr	7647-15-6	*	1	1	1	Não	Não
Carbonato de Amônio	(NH ₄) ₂ CO ₃	10361-29-2	H302 H315 H318	1 1 1	2 2 3	1 1 1	Não	Não
Carbonato de Cálcio	CaCO ₃	471-34-1	*	1	1	1	NSA	Não
Carbonato de Sódio	Na ₂ CO ₃	497-19-8	H319	1	2	1	NSA	Não
Cloreto de Alumínio	AlCl ₃	7784-13-6	H315 H319	1 1	2 2	1 1	Não	Não
Cloreto de Amônio	NH ₄ Cl	12125-02-9	H302 H319	1 1	2 2	1 1	NSA	Não
Cloreto de Bário	BaCl ₂	10361-37-2	H301 H332 H319	1 1 1	3 2 2	1 1 1	NSA	Não
Cloreto de Cálcio anidro	CaCl ₂	10043-52-4	H319	1	2	1	Não	Não
Cloreto de Cobalto II	CoCl ₂	7646-79-9	H302	1	2	1	NSA	Não
			H318	1	3	1		
			H334	1	3	1		
			H317	1	2	1		
			H341	1	3	1		
			H350	1	3	1		
			H360	1	3	1		
H400	1	1	3					
H410	1	1	3					

Nome	Fórmula Química	CAS	Perigos	Físico	Saúde	Ambiente	Degradabilidade	Renovabilidade
Cloreto de Cromo III anidro	CrCl ₃	10025-73-7	H290	2	1	1	NSA	Não
			H302	1	2	1		
			H317	1	2	1		
			H411	1	1	3		
Cloreto de Estrôncio hexahidratado	SrCl ₂ .6H ₂ O	10025-70-4	H302	1	2	1	Não	Não
Cloreto de Ferro III anidro	FeCl ₃	7705-08-0	H290	2	1	1	NSA	Não
			H302	1	2	1		
			H315	1	2	1		
			H317	1	2	1		
			H318	1	3	1		
Cloreto de Magnésio anidro	MgCl ₂	7786-30-3	*	1	1	1	NSA	Não
Cloreto de Manganês II	MnCl ₂	7773-01-5	H301	1	3	1	Não	Não
			H411	1	1	3		
Cloreto de Níquel anidro	NiCl ₂	7718-54-9	H301	1	3	1	Não	Não
			H331	1	3	1		
			H315	1	2	1		
			H334	1	3	1		
			H317	1	2	1		
			H341	1	3	1		
			H350	1	3	1		
			H360	1	3	1		
			H372	1	3	1		
H400	1	1	3					
H410	1	1	3					
Cloreto de Potássio	KCl	7447-40-7	*	1	1	1	NSA	Não

Nome	Fórmula Química	CAS	Perigos	Físico	Saúde	Ambiente	Degradabilidade	Renovabilidade
Cloreto de Sódio	NaCl	7647-14-5	*	1	1	1	NSA	Sim
Cloreto de Zinco	ZnCl ₂	7646-85-7	H302	1	2	1	NSA	Não
			H314	1	3	1		
			H400	1	1	3		
			H410	1	1	3		
			H315	1	2	1		
			H319	1	2	1		
Cromato de Potássio	K ₂ CrO ₄	77899-00-6	H317	1	2	1	NSA	Não
			H340	1	3	1		
			H350	1	3	1		
			H335	1	2	1		
			H400	1	1	3		
			H410	1	1	3		
DMG	C ₄ H ₉ NO ₂	95-45-4	H228	2	1	1	Não	Não
EDTA dihidratado	Na ₂ C ₁₀ H ₁₄ N ₂ O ₈ ·2H ₂ O	6381-92-6	H332	1	2	1	Não	Não
			H373	1	3	1		
Fenolftaleína	C ₂₀ H ₁₄ O ₄	77-09-8	H341	1	3	1	Sim	Não
			H350	1	3	1		
			H361	1	3	1		
Hidrogeno fosfato di-amônio	(NH ₄) ₂ HPO ₄	7783-28-0	*	1	1	1	NSA	Não
Hidrogenofosfato dissódico	Na ₂ HPO ₄	7558-79-4	*	1	1	1	Não	Não
Hidróxido de Amônio	NH ₄ OH	1336-21-6	H302	1	2	1	Não	Não
			H314	1	3	1		
			H400	1	1	3		
Hidróxido de Magnésio	Mg(OH) ₂	1309-42-8	*	1	1	1	Não	Não

Nome	Fórmula Química	CAS	Perigos	Físico	Saúde	Ambiente	Degradabilidade	Renovabilidade
Hidróxido de Sódio	NaOH	1310-73-2	H290 H314	2 1	1 3	1 1	NSA	Não
Hipoclorito de Sódio	NaOCl	7681-52-9	H314 H400	1 1	3 1	1 3	NSA	Não
Iodato de Potássio	KIO ₃	7758-05-6	H272 H318	2 1	1 3	1 1	NSA	Não
Iodeto de Potássio	KI	7681-11-0	H372	1	3	1	NSA	Não
Iodo sublimado	I ₂	7553-56-2	H332	1	2	1	NSA	Não
			H312	1	2	1		
			H319	1	2	1		
			H315	1	2	1		
			H335	1	2	1		
			H372	1	3	1		
H400	1	1	3					
NET	C ₂₀ H ₁₂ N ₃ NaO ₇ S	1787-61-7	H319 H411	1 1	2 1	1 3	Não	Não
Nitrato de Chumbo II	Pb(NO ₃) ₂	10099-74-8	H302	1	2	1	Não	Não
			H332	1	2	1		
			H318	1	3	1		
			H360	1	3	1		
			H372	1	3	1		
			H400	1	1	3		
H410	1	1	3					
Nitrato de Prata	AgNO ₃	7761-88-8	H272	2	1	1	NSA	Não
			H314	1	3	1		
			H400	1	1	3		
			H410	1	1	3		

Nome	Fórmula Química	CAS	Perigos	Físico	Saúde	Ambiente	Degradabilidade	Renovabilidade
Nitrato de Sódio	NaNO ₃	7631-99-4	H272 H319	2 1	1 2	1 1	NSA	Não
Nitrito de Sódio	NaNO ₂	7632-00-0	H272 H301 H319 H400	2 1 1 1	1 3 2 1	1 1 1 3	NSA	Não
Oxalato de Amônio	(NH ₄) ₂ C ₂ O ₄	6009-70-7	H302 H312	1 1	2 2	1 1	Não	Não
Oxalato de Sódio	Na ₂ C ₂ O ₄	62-76-0	H302 H312	1 1	2 2	1 1	Sim	Não
Permanganato de Potássio	KMnO ₄	7722-64-7	H272 H302 H314 H400 H410	2 1 1 1 1	1 2 3 1 1	1 1 1 3 3	NSA	Não
Peróxido de Hidrogênio	H ₂ O ₂	7722-84-1	H302 H318 H413	1 1 1	2 3 1	1 1 2	Sim	Não
Sulfato de Amônio	(NH ₄) ₂ SO ₄	7783-20-2	*	1	1	1	Não	Não
Sulfato de Magnésio heptahidratado	MgSO ₄ ·7H ₂ O	10034-99-8	*	1	1	1	NSA	Não
Sulfato de Potássio	K ₂ SO ₄	7778-80-5	*	1	1	1	Não	Não
Sulfato de Sódio anidro	Na ₂ SO ₄	7757-82-6	*	1	1	1	Não	Não
Sulfato Ferroso amoniacal	(NH ₄) ₂ Fe(SO ₄) ₂ ·6H ₂ O	7783-83-9	*	1	1	1	Não	Não

Nome	Fórmula Química	CAS	Perigos	Físico	Saúde	Ambiente	Degradabilidade	Renovabilidade
Sulfeto de Sódio	Na ₂ S·9H ₂ O	1313-82-2	H302	1	2	1	NSA	Não
			H311	1	3	1		
			H314	1	3	1		
			H400	1	1	3		
Tiocianato de Amônio	NH ₄ SCN	1762-95-4	H302	1	2	1	Sim	Não
			H332	1	2	1		
			H412	1	1	2		
Tiossulfato de Sódio anidro	Na ₂ S ₂ O ₃	7772-98-7	*	1	1	1	Sim	Não

*Substância não classificada como perigosa de acordo com a legislação da união europeia.

NSA: Não se aplica, os métodos para determinação da degradabilidade biológica não são aplicáveis às substâncias inorgânicas.

APÊNDICE C – ESTRELAS VERDES CONSTRUÍDAS

Figura 12 – Estrelas verdes e IPE das reações de acordo com a Tabela 3. A) 1.1. B) 2.1. C) 3.1. D) 4.1. E) 4.2. F) 4.3.

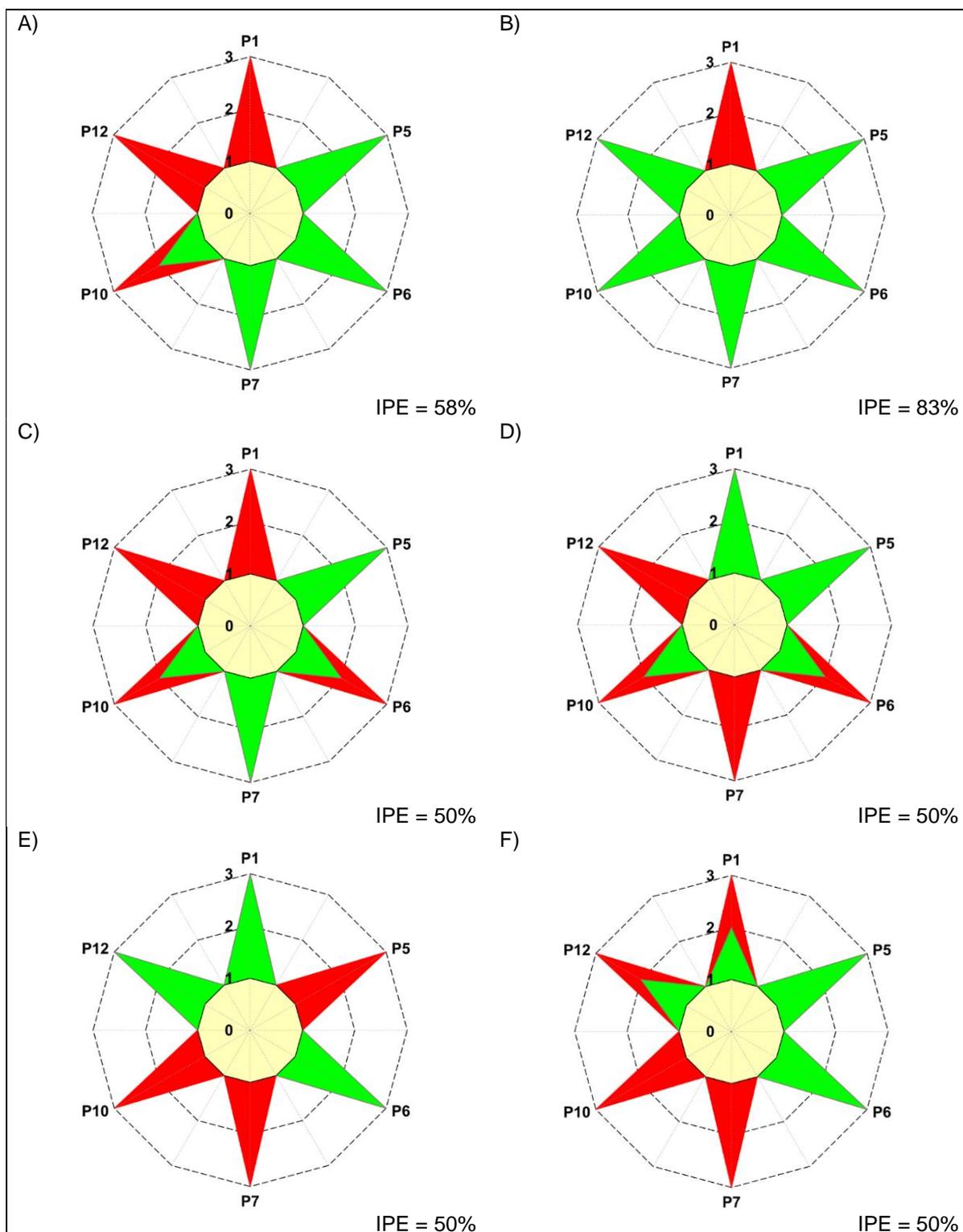


Figura 13 – Estrelas verdes e IPE das reações de acordo com a Tabela 3. A) 4.4. B) 4.5. C) 4.6. D) 4.7. E) 4.8. F) 4.9.

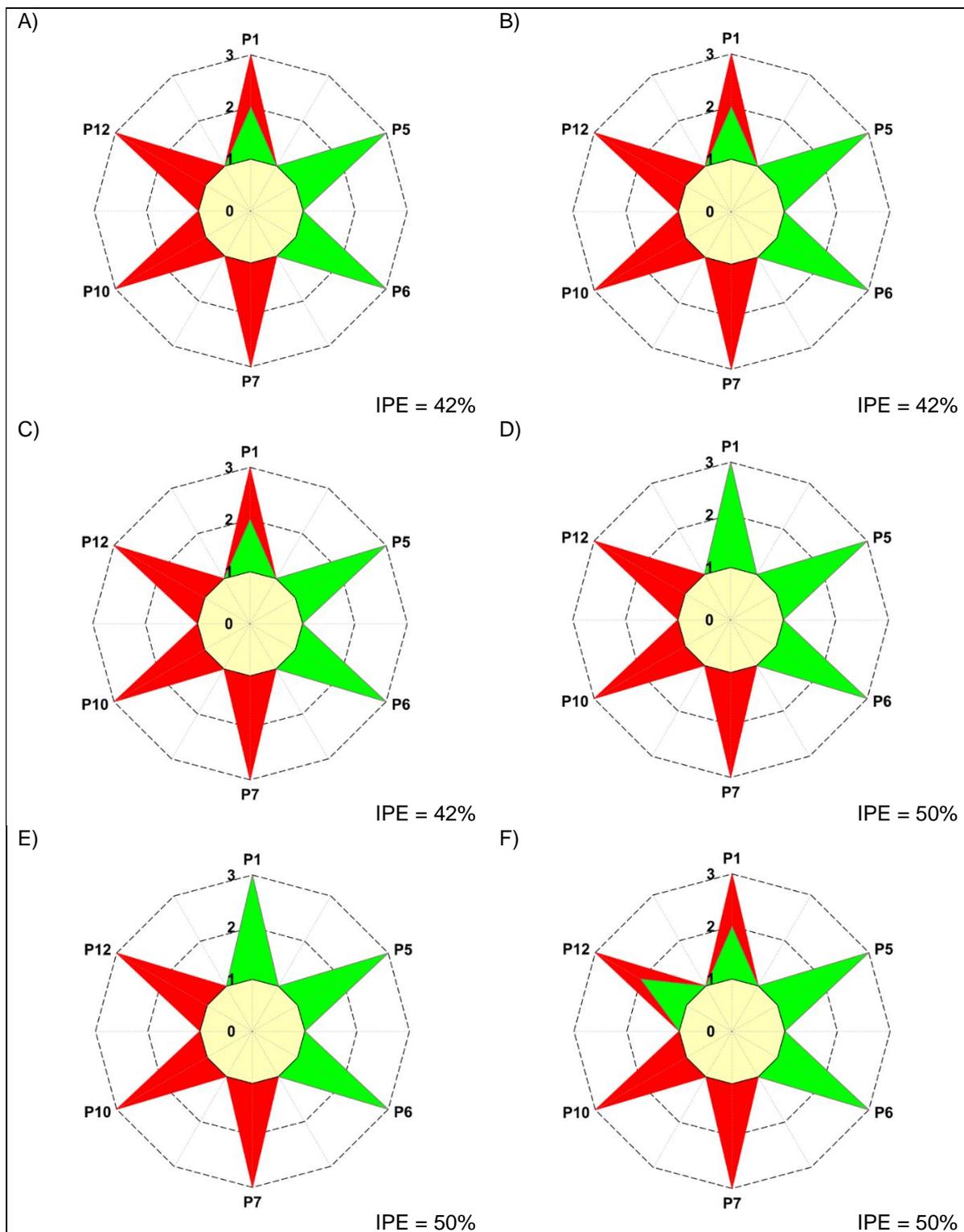


Figura 14 –Estrelas verdes e IPE das reações de acordo com a Tabela 3. A) 4.10. B) 5.1. C) 5.2. D) 5.3. E) 6.1. F) 6.2.

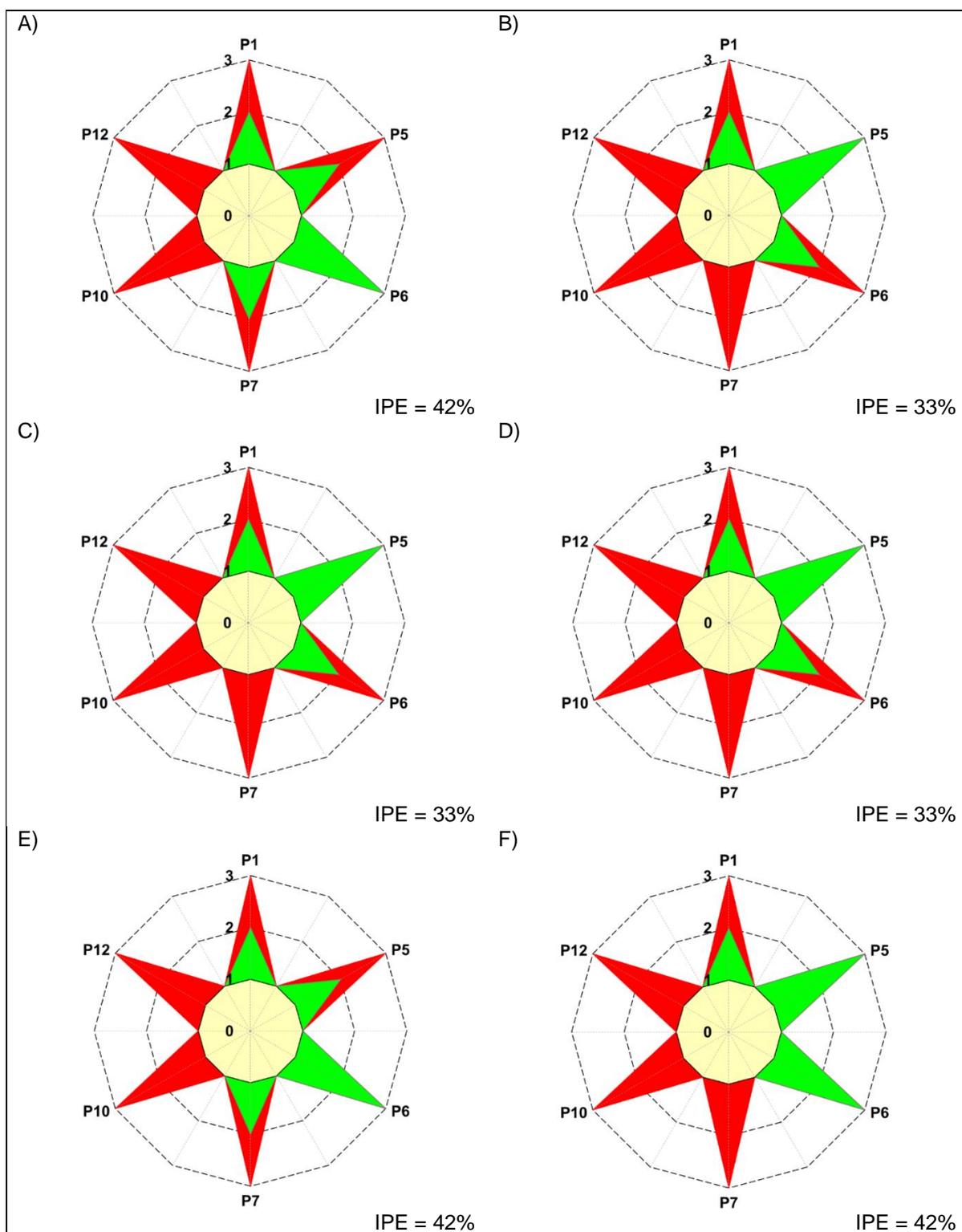


Figura 15 – Estrelas verdes e IPE das reações de acordo com a Tabela 3. A) 6.3. B) 6.4. C) 7.1. D) 7.2. E) 7.3. F) 7.4.

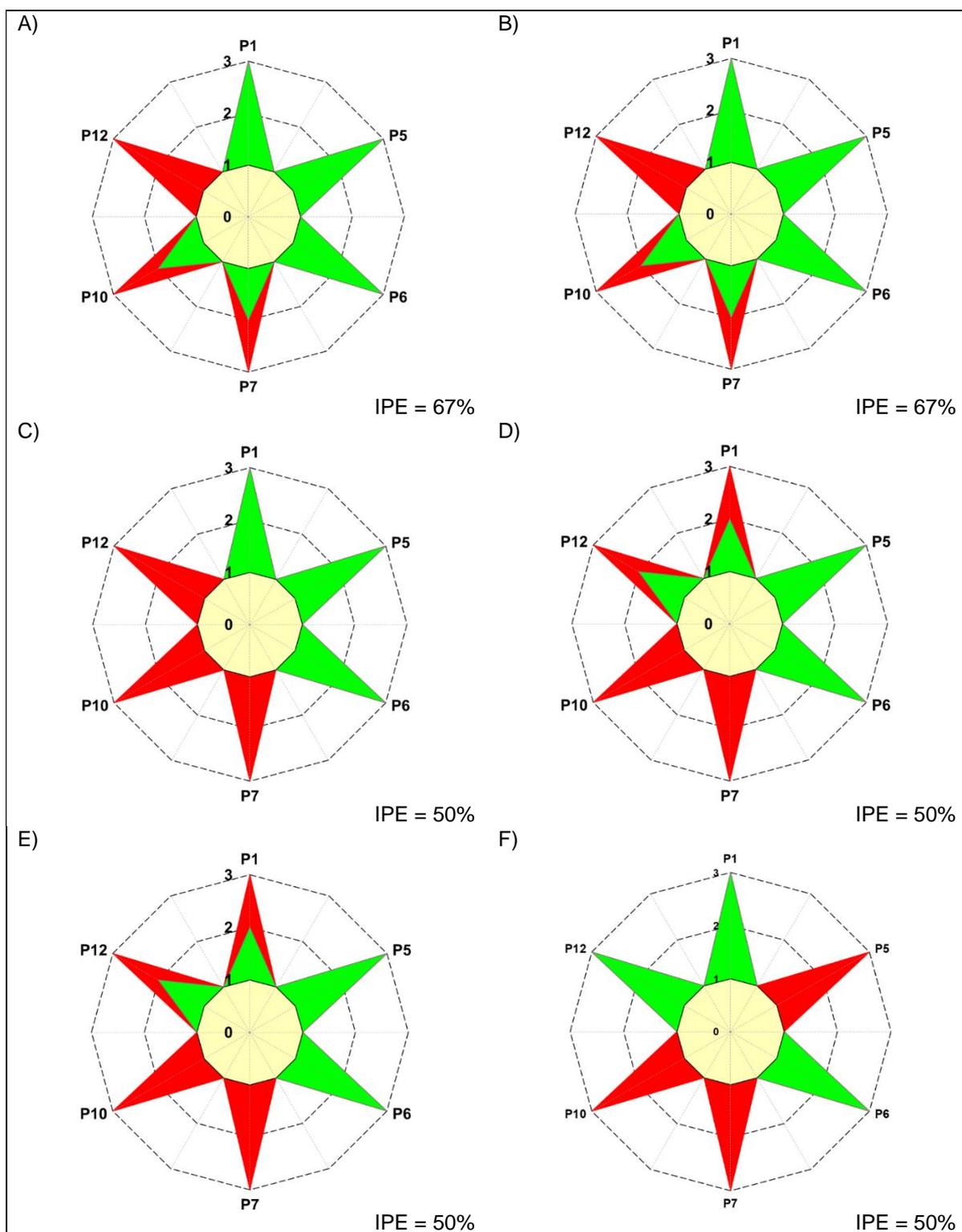


Figura 16 – Estrelas verdes e IPE das reações de acordo com a Tabela 3. A) 7.5. B) 8.1. C) 8.2. D) 9.1. E) 9.2. F) 10.1.

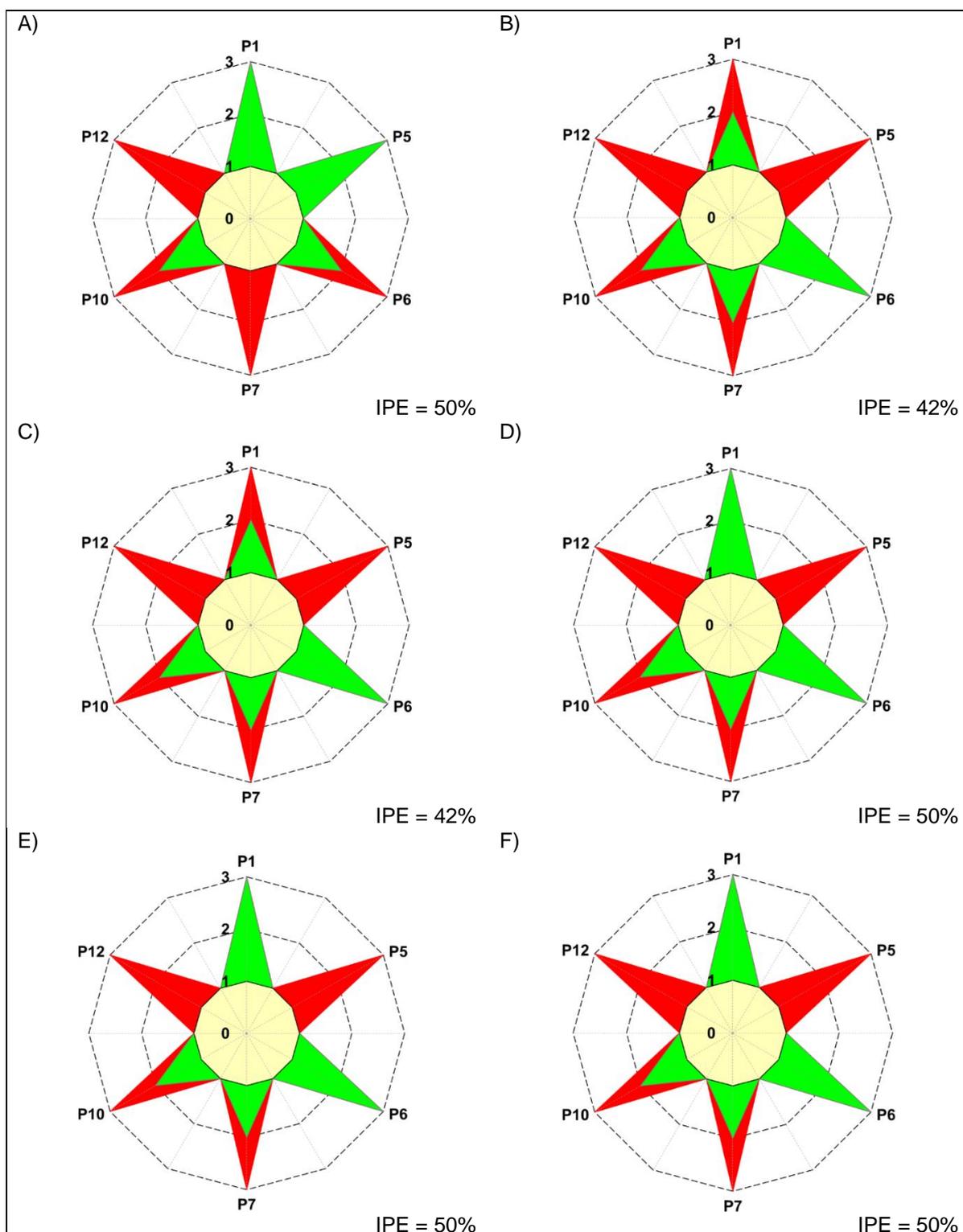


Figura 17 – Estrelas verdes e IPE das reações de acordo com a Tabela 3. A) 10.2. B) 10.3. C) 11.1. D) 12.1. E) 12.2. F) 12.3.

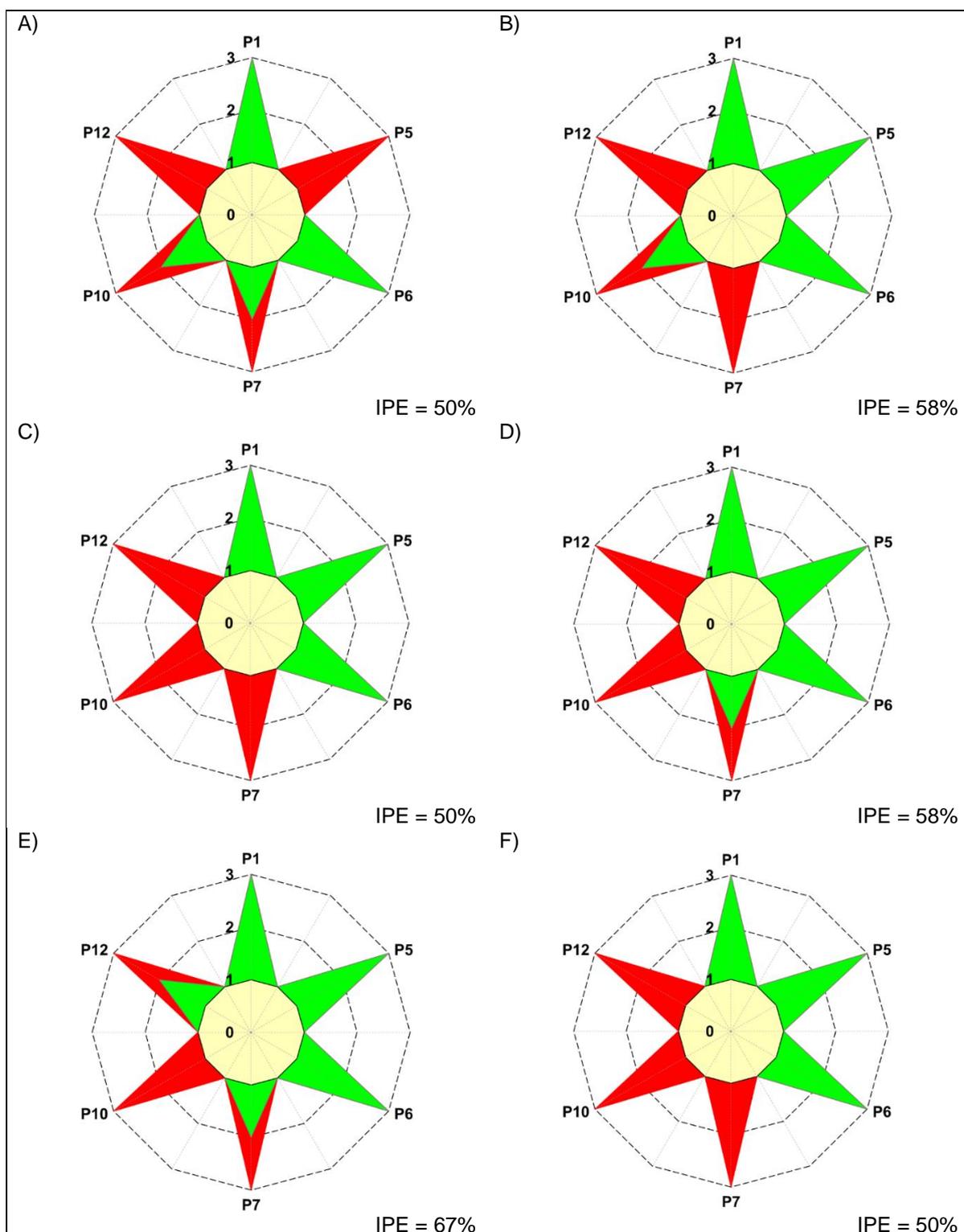
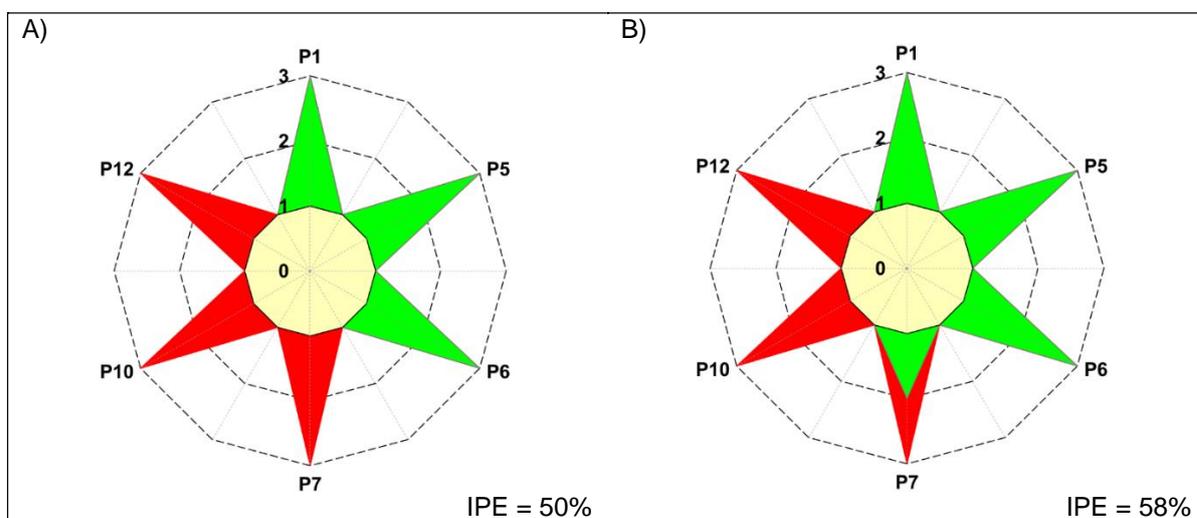


Figura 18 – Estrelas verdes e IPE das reações de acordo com a Tabela 3. A) 13.1.
B) 13.2.



ANEXO A – CÓDIGOS E PONTUAÇÃO DOS PERIGOS

Tabela 6 – Códigos e Pontuação dos Perigos

Código	Perigo	Pontuação	Código	Perigo	Pontuação
H200	Físico	3	H310	Saúde	3
H201	Físico	3	H311	Saúde	3
H202	Físico	3	H312	Saúde	2
H203	Físico	3	H313	Saúde	2
H204	Físico	2	H314	Saúde	3
H205	Físico	3	H315	Saúde	2
H220	Físico	3	H316	Saúde	2
H221	Físico	2	H317	Saúde	2
H222	Físico	3	H318	Saúde	3
H223	Físico	2	H319	Saúde	2
H224	Físico	3	H320	Saúde	2
H225	Físico	3	H330	Saúde	3
H226	Físico	2	H331	Saúde	3
H227	Físico	2	H332	Saúde	2
H228	Físico	2	H333	Saúde	2
H229	Físico	2	H334	Saúde	3
H230	Físico	3	H335	Saúde	2
H231	Físico	2	H336	Saúde	2
H240	Físico	3	H340	Saúde	3
H241	Físico	3	H341	Saúde	3
H242	Físico	2	H350	Saúde	3
H250	Físico	3	H351	Saúde	3
H251	Físico	3	H360	Saúde	3
H252	Físico	2	H361	Saúde	3
H260	Físico	3	H362	Saúde	2
H261	Físico	2	H370	Saúde	3
H270	Físico	3	H371	Saúde	3
H271	Físico	3	H372	Saúde	3
H272	Físico	2	H373	Saúde	3
H280	Físico	2	H400	Ambiente	3
H281	Físico	2	H401	Ambiente	3
H290	Físico	2	H402	Ambiente	2
H300	Saúde	3	H410	Ambiente	3
H301	Saúde	3	H411	Ambiente	3
H302	Saúde	2	H412	Ambiente	2
H303	Saúde	2	H413	Ambiente	2
H304	Saúde	3	H420	Ambiente	3
H305	Saúde	2			

Fonte: Educa: cultura científica e ensino/aprendizagem da Química.