

Argumentos elaborados sobre o tema "corrosão" por estudantes de um curso superior de Química

Ana Maria de Souza Velloso¹, Luciana Passos Sá², Artur de Jesus Motheo¹ e Salete Linhares Queiroz¹

¹Instituto de Química de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, Brasil. E-mails: ana_velloso@uol.com.br, artur@iqsc.usp.br, salete@iqsc.usp.br

²Departamento de Química. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP, Brasil. E-mail: lucianapsa@gmail.com

Resumo: Pesquisas teóricas e empíricas sobre a argumentação na Educação em Ciências se intensificaram nas últimas duas décadas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial do método Estudo de Caso para promover a argumentação em salas de aulas de química. Após receberem os casos, estudantes de graduação em química solucionaram, em grupo, uma série de questões elaboradas com o intuito de guiá-los sobre aspectos relevantes relacionados a questões ambientais, econômicas e da área de química (tópico "corrosão"). O processo culminou nas apresentações orais dos grupos sobre possíveis soluções para os casos. A qualidade dos argumentos por eles produzidos foi avaliada com base no Padrão de Argumento de Toulmin (TAP). As conclusões deste trabalho indicam a utilização de casos investigativos como uma estratégia eficiente para promover e aperfeiçoar a habilidade de argumentação dos alunos.

Palavras-chave: Argumentação, estudo de caso, química

Title: Arguments elaborated on the theme "corrosion" by undergraduate chemistry students.

Abstract: Theoretical and empirical research on argumentation in science education has intensified over the last two decades. The purpose of this research was to evaluate the potential of the case study method to promote argumentation. After receiving each case, undergraduate chemistry students worked in group on a set of questions designed to guide them through key chemical ("corrosion" curriculum unit), environmental and economic aspects of the case study. The process culminated with class presentations by student groups about possible solutions to the cases. To assess the quality of students' argumentation, videotapes of group presentations were collected and analyzed using Toulmin's Argument Pattern (TAP). The findings of this work support the idea that the case study approach is an effective strategy for enhancing students' ability to argument.

Keywords: Argumentation, case study, chemistry.

Introdução

Pesquisas sobre a argumentação na Educação em Ciências se intensificaram nas últimas duas décadas (Kelly et al., 1998; Capecchi e Carvalho, 2000; Sá e Queiroz, 2007). Tais pesquisas destacam a importância da instauração do discurso argumentativo em ambientes de

ensino e sugerem que a prática da argumentação pode fazer com que os estudantes compreendam conceitos científicos mais adequadamente e entendam melhor a própria natureza da construção do conhecimento científico. Nessa perspectiva, investigações têm sido realizadas com o intuito de conhecer, entre outros aspectos: • *o espaço ocupado pela argumentação em aulas de ciências*; • *atividades de ensino que se mostrem eficientes no fomento à instauração do discurso argumentativo em aulas de ciências*; • *a qualidade dos argumentos produzidos pelos estudantes em aulas de ciências*; • *mecanismos que possam favorecer o aperfeiçoamento das habilidades argumentativas dos estudantes*.

No que tange ao *espaço ocupado pela argumentação em ambientes de ensino de ciências*, poucas pesquisas foram levadas a cabo. Dentre elas destacam-se as realizadas por Newton et al. (1999) e por Queiroz e Sá (2009), que investigaram, respectivamente, atividades realizadas em salas de aula e laboratórios de ensino de ciências, no nível fundamental, e de química, no nível superior. Os resultados mostraram que o espaço ocupado pela argumentação em ambos os níveis de ensino é exíguo.

As *atividades de ensino que se mostram eficientes no fomento à instauração do discurso argumentativo em aulas de ciências* possuem em comum o fato de propiciarem interações entre os alunos e entre os alunos e o professor em salas de aulas e laboratórios de ensino e de conduzirem os estudantes à resolução de problemas autênticos e à discussão/comparação/argumentação posterior a respeito dos mesmos (Driver et al., 2000; Kelly e Takao, 2002). Duschl e Osborne (2002) definem problemas autênticos como sendo aqueles que apresentam uma situação contextualizada na vida cotidiana, com a complexidade adequada aos propósitos de ensino, e que requerem o uso do pensamento lógico e crítico e a consideração de explicações alternativas. Tais problemas podem assumir um caráter científico ou sócio-científico e encontram aplicação em diversas disciplinas. De acordo com Castro e Jiménez Aleixandre (2000), um cenário adequado para resolução de problemas autênticos é o pequeno grupo. Esses contextos são adequados para socialização dos estudantes, para ajudá-los a tomar consciência do ponto de vista dos demais, a aprender a negociar e até a renunciar a satisfação de seus interesses em benefício de um objetivo coletivo.

A *qualidade dos argumentos produzidos pelos estudantes quando participam de determinadas atividades em aulas de ciências* também tem sido investigada. Nesse tipo de investigação, usualmente, os dados coletados são analisados a partir da consideração de modelos, elaborados por diversos autores (Van Eemeren e Gootendorst, 1992; Toulmin, 1958), sobre os elementos que constituem a argumentação e as inter-relações que devem existir entre os mesmos para que sejam válidos. Um dos modelos utilizados frequentemente por pesquisadores da área de Educação em Ciências é o modelo elaborado por Toulmin (1958), também conhecido como TAP (*Toulmin's Argument Pattern*), que consiste em uma representação do discurso científico, desde os dados até a conclusão.

Alguns pesquisadores (Zohar e Nemet, 2002; Simon et al., 2006) investigam *mecanismos que possam favorecer o aperfeiçoamento das habilidades argumentativas dos estudantes*. Ou seja, defendem a

introdução, nos cursos de ciências, de instruções que favoreçam o aprendizado da argumentação por parte dos alunos. Estudos dessa natureza indicam que um importante aspecto a ser considerado quando se objetiva o aperfeiçoamento de tais habilidades é a apresentação aos estudantes dos componentes usualmente presentes em um “bom” argumento, com a posterior identificação de tais componentes em documentos científicos. O uso de *scaffoldings* (roteiros estruturados), que ilustram os componentes do argumento, também tem sido sugerido como recurso para subsidiar ações que visam o aprimoramento da argumentação por parte dos estudantes (Nussbaum, 2002; Cho e Jonassen, 2002).

Tendo em vista as perspectivas anteriormente citadas, o presente trabalho tem como objetivo analisar a qualidade de argumentos produzidos por estudantes de um curso superior de química sobre o tema “corrosão”. Uma vez que os referidos argumentos foram produzidos a partir da realização de atividades didáticas pautadas na solução de casos investigativos - metodologia de Estudo de Caso (Herreid, 1994; Sá et al., 2007), este trabalho também tem como objetivo discutir em que medida atividades dessa natureza estimulam a elaboração de argumentos em ambientes de ensino. As atividades foram efetuadas na disciplina SQF0338 – Corrosão e Eletrodeposição, oferecida no sétimo semestre do curso de Bacharelado em Química do Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, Brasil.

A identificação dos argumentos nas falas dos alunos foi realizada tomando como referencial teórico o modelo de argumento proposto por Toulmin (1958). A qualidade dos argumentos foi investigada com base na metodologia de análise proposta por Erduran et al. (2004). Cabe ainda destacar que, na concepção do presente trabalho, a argumentação é entendida como uma atividade social e discursiva que se realiza pela justificação de pontos de vista e considerações de perspectivas contrárias com o objetivo último de promover mudanças nas representações dos participantes sobre o tema discutido. Vista desse modo, a argumentação se caracteriza como uma discussão crítica (Van Eemeren e Gootendorst, 1992), durante a qual pontos de vista são construídos, negociados e transformados. A ênfase sobre negociação e mudança – características definidoras da argumentação – confere a esse tipo de discurso uma dimensão epistêmica que o institui como recurso privilegiado de mediação em processo de construção de conhecimento que ocorrem em contextos sociais diversos, incluindo o contexto escolar.

Percurso metodológico

Foram tomados como sujeitos da pesquisa vinte e dois alunos matriculados na disciplina anteriormente citada. Para que as atividades didáticas fossem colocadas em funcionamento, inicialmente, fez-se necessária a produção dos casos investigativos. Três casos, denominados Corrosão em Aviões, Corrosão em Pontes e Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal, foram elaborados, seguindo as recomendações de Herreid (1998), presentes no artigo intitulado “What makes a good case?”. Para o autor, um “bom caso” apresenta as seguintes características:

- um bom caso narra uma história;
- um bom caso desperta o interesse

pela questão; • um bom caso deve ser atual; • um bom caso produz empatia com os personagens centrais; • um bom caso inclui citações; • um bom caso é relevante ao leitor; • um bom caso deve ter utilidade pedagógica; • um bom caso provoca um conflito; • um bom caso força uma decisão; • um bom caso tem generalizações; • um bom caso é curto.

A figura 1 apresenta o caso Corrosão em Aviões com destaques que ilustram como algumas das sugestões de Herreid (1998) foram consideradas na sua elaboração.

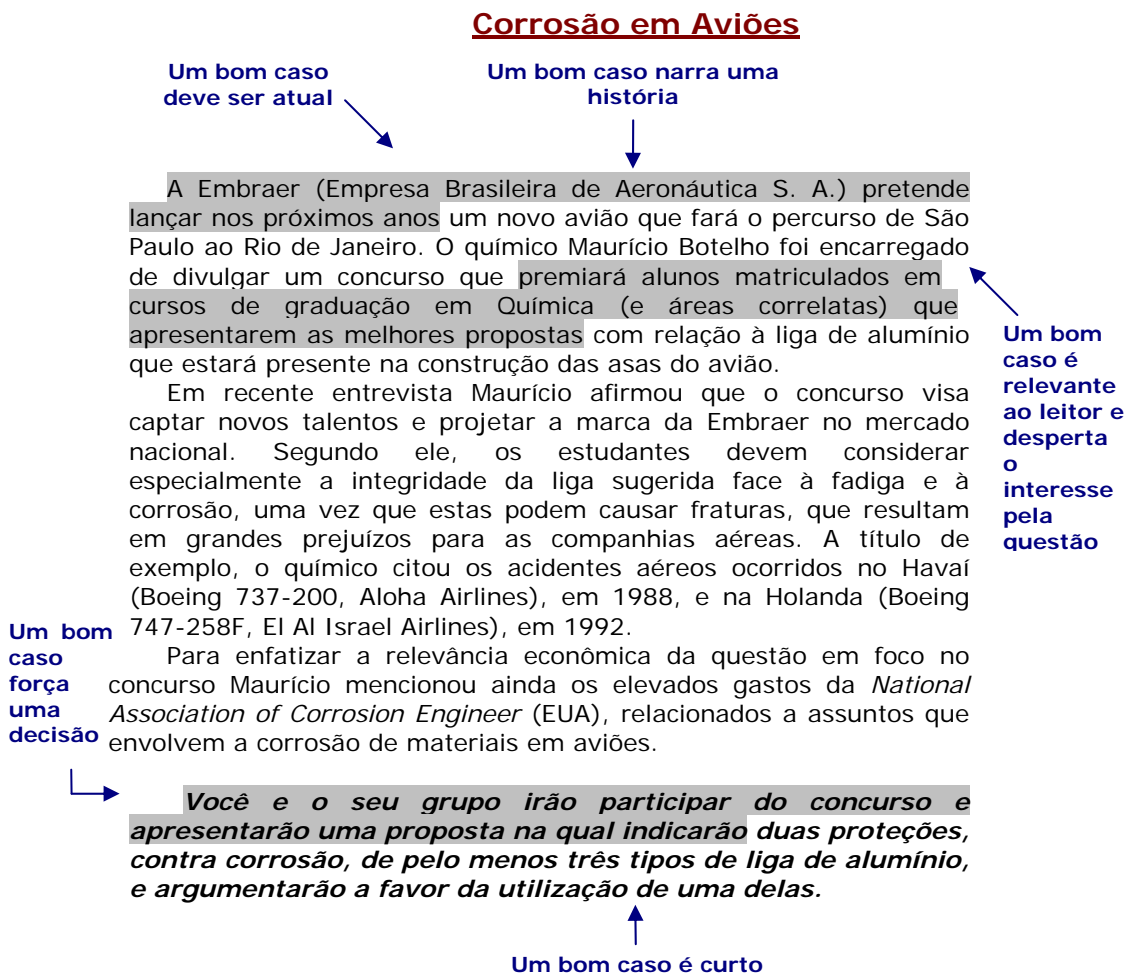


Figura 1. – Caso *Corrosão em Aviões*.

O caso *Corrosão em Aviões*, assim como os demais, foi inspirado em pesquisas recentes reportadas em artigos publicados em revistas científicas, como *Corrosion Science* e *Eclética Química*, que apresentavam conteúdos que guardavam relações com a ementa da disciplina em foco, composta pelos seguintes tópicos: Revisão de conceitos termodinâmicos; Processos de oxi-redução; Potencial de eletrodo e pilhas eletroquímicas; Formas e mecanismos básicos de corrosão, meios corrosivos; Corrosão galvânica, eletrolítica, seletiva e microbiológica; Velocidade de corrosão; Efeito da temperatura; Métodos de combate à corrosão: inibidores, revestimentos, proteção catódica e proteção anódica.

As atividades didáticas foram realizadas durante um semestre letivo. No início do semestre os alunos foram informados de que as atividades do período envolveriam o trabalho com casos investigativos e uma posterior

preparação de uma apresentação oral sobre a solução do caso. Nessa ocasião, grupos de quatro ou três alunos foram formados e cada grupo recebeu o caso com o qual iria trabalhar. Os casos foram distribuídos aleatoriamente, de modo que cada caso fosse estudado por dois grupos diferentes. Foi também ministrada uma aula com o intuito de orientar os alunos sobre possíveis maneiras de proceder para a solução dos casos, na qual foram exibidos vídeos, sobre os temas abordados em cada um dos casos.

No decorrer do semestre os alunos solucionaram questões relacionadas ao caso, elaboradas de forma a alimentar um processo que implicasse em tomada de decisão. As questões foram elaboradas com base no modelo normativo do processo de tomada de decisão proposto por Kortland (1996) e respondidas na forma escrita, visando preparar os alunos a buscarem coletivamente possíveis alternativas de solução para o caso.

Ao final do período os grupos fizeram apresentações orais, revelando a solução do caso, em um intervalo de quinze a vinte minutos. Após a apresentação da solução de cada um dos casos foram organizados debates entre os membros dos dois grupos que haviam solucionado o mesmo caso (total de três debates). O professor solicitou que, durante os debates, os estudantes procurassem sanar as suas dúvidas e que fizessem questionamentos com relação à pertinência das alternativas encontradas pelos grupos oponentes.

Os argumentos apresentados pelos alunos durante a apresentação oral foram analisados neste trabalho, enquanto que os argumentos apresentados durante o debate serão analisados posteriormente. A apresentação foi filmada em vídeo e as falas dos alunos foram transcritas de modo a preservar ao máximo as suas características originais.

Referencial teórico para a identificação dos argumentos e metodologia de análise para determinação da sua qualidade

Conforme mencionamos anteriormente, a identificação dos argumentos e dos seus componentes, presentes nas falas dos alunos durante as apresentações orais, foi realizada com base no modelo de argumento proposto por Toulmin (1958) e a análise da qualidade dos argumentos com base na metodologia proposta por Erduran et al. (2004). Tanto o referencial teórico quanto a metodologia de análise encontram-se descritos sucintamente a seguir.

Modelo de argumentação de Toulmin (1958)

Segundo Toulmin (1958), os elementos fundamentais de um argumento são: o dado (D), a conclusão (C) e a justificativa (J). É possível apresentar um argumento contando apenas com esses elementos, cuja estrutura básica é: "a partir de um dado D, já que J, então C".

Porém, para que um argumento seja completo pode-se especificar em que condições a justificativa apresentada é válida ou não, indicando um peso para tal justificativa. Dessa forma podem ser acrescentados ao argumento qualificadores modais (Q), ou seja, especificações das condições necessárias para que uma dada justificativa seja válida. Da mesma forma, é

possível especificar em que condições a justificativa não é válida ou suficiente para dar suporte à conclusão. Nesse caso é apresentada uma refutação (**R**) da justificativa. Além dos elementos já citados, a justificativa, que apresenta um caráter hipotético, pode ser apoiada em uma alegação categórica baseada em uma lei, por exemplo. Trata-se de uma alegação que dá suporte à justificativa, denominada *backing* (**B**) ou conhecimento básico. O *backing* é uma garantia baseada em alguma autoridade, um lei jurídica ou científica, por exemplo, que fundamenta a justificativa.

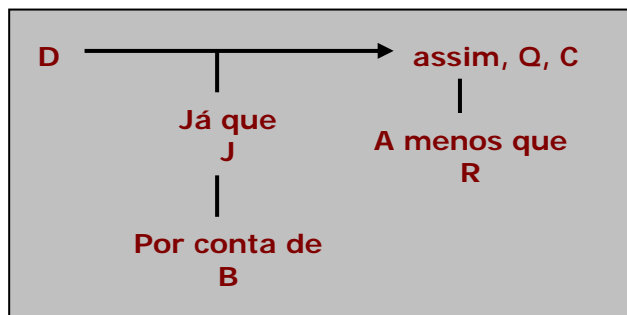


Figura 2. – Componentes do argumento, segundo Toulmin (1958).

Metodologia de análise para a determinação da qualidade dos argumentos proposta por Erduran et al. (2004)

Alguns estudos reportados na literatura buscam mecanismos capazes de fornecer indícios quanto à qualidade dos argumentos produzidos pelos alunos em cursos de ciências (Driver et al., 2000; Capecchi e Carvalho, 2000). Na metodologia proposta por Erduran et al. (2004), a qualidade dos argumentos é avaliada a partir da observação da combinação dos componentes do argumento, segundo Toulmin (1958), nas falas/textos escritos produzidos pelos alunos. Ou seja, as combinações que possuem um maior número de componentes, são típicas de um argumento melhor elaborado. Assim, um argumento que apresenta “conclusão-dado-justificativa” é menos sofisticado do que outro que tem apenas “conclusão-dado-justificativa-refutação”. Dessa maneira, os autores sugerem combinações duplas, triplas, quádruplas ou quádruplas de componentes, como indicativas de ordem crescente de complexidade do argumento: CD (conclusão-dado); CJ (conclusão-justificativa); CDJ (conclusão-dado-justificativa); CDB (conclusão-dado-*backing*); CDR (conclusão-dado-refutação); CDJB (conclusão-dado-justificativa-*backing*); CDJR (conclusão-dado-justificativa-refutação); CDJQ (conclusão-dado-justificativa-qualificador); CDJBQ (conclusão-dado-justificativa-*backing*-qualificador). As combinações do TAP servem, portanto, para indicar a qualidade da argumentação dos alunos.

Resultados e discussão

Os episódios de argumentação analisados neste trabalho foram extraídos das apresentações orais dos estudantes, nas quais um integrante de cada grupo apresentou a resolução para o caso. Considerando as observações de Driver et al. (2000) sobre a necessidade de incorporar o conhecimento específico do assunto à análise dos argumentos, uma vez que o modelo de

Toulmin (1958) é útil para verificar a estrutura do argumento, mas não a sua validade, levamos também em conta esse tipo de conhecimento na análise dos argumentos produzidos pelos estudantes. Assim, para avaliar a pertinência, ou não, do conteúdo dos argumentos, consultas a distintas fontes de informação foram realizadas.

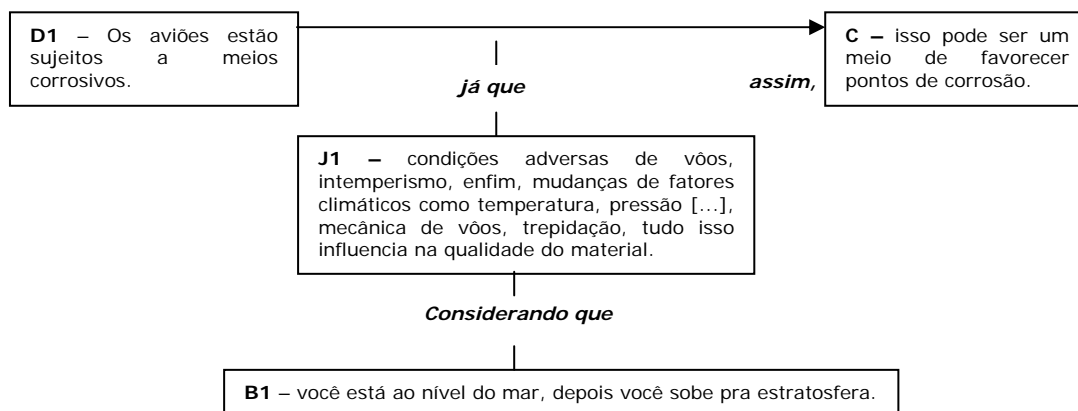
À semelhança do que tem sido feito por alguns autores (Villani e Nascimento, 2003; Erduran et al., 2004), consideramos, para todos os casos, na análise dos argumentos: a forma como os estudantes relacionaram os diferentes componentes do argumento; o estabelecimento de justificativas para chegar às conclusões; se as justificativas se apoiavam em conhecimento básico ou não; a utilização de qualificadores e refutações durante a apresentação dos argumentos. A seguir, apresentamos a análise dos argumentos dos estudantes, para cada um dos casos solucionados.

Componentes do argumento identificados na apresentação oral sobre a resolução do caso Corrosão em Aviões

O caso *Corrosão em Aviões* trata da realização de um concurso, organizado pela Embraer, que visa captar novos talentos e projetar a sua marca no mercado nacional (Figura 1). Um prêmio seria concedido aos participantes que apresentassem a melhor proposta a respeito de duas proteções, contra corrosão, de pelo menos três tipos de liga de alumínio, que seriam utilizadas na construção das asas de um avião, que faria o percurso de São Paulo ao Rio de Janeiro. De acordo com as orientações do responsável pelo evento, os estudantes deveriam considerar, na escolha da liga, a sua integridade frente à fadiga e à corrosão.

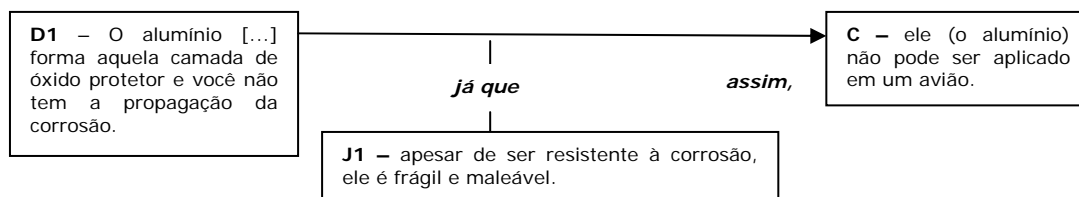
Os esquemas 1 a 9 ilustram os argumentos produzidos pelos dois grupos responsáveis pela resolução do caso (grupos 1 e 2). Identificamos na apresentação oral do grupo 1 a formulação de seis argumentos, elaborados em diferentes etapas, até a resolução final do caso proposto.

O primeiro argumento do grupo 1, ilustrado no esquema 1, está relacionado às condições favoráveis à ocorrência de pontos de corrosão em aviões. Para tanto, o grupo apresentou uma justificativa e um *backing* a respeito das possíveis causas da corrosão do material.



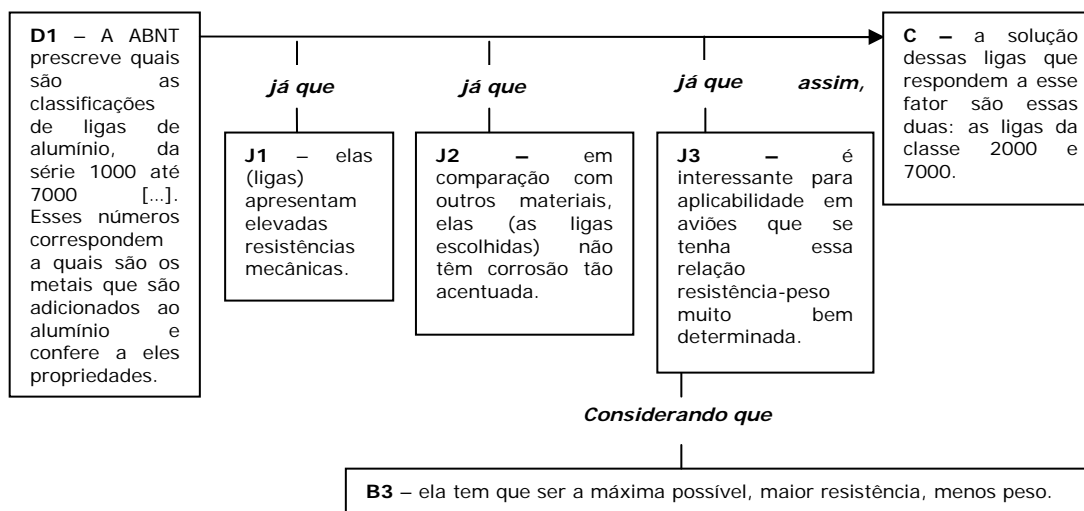
Esquema 1.– Primeiro argumento apresentado pelo grupo 1 para a resolução do caso *Corrosão em Aviões*.

Em seguida, o grupo argumentou que, embora o alumínio fosse resistente à corrosão devido à formação de uma camada de óxido protetor, este não poderia ser aplicado diretamente em um avião. Para isso, utilizaram como justificativa a sua fragilidade e maleabilidade (Esquema 2).



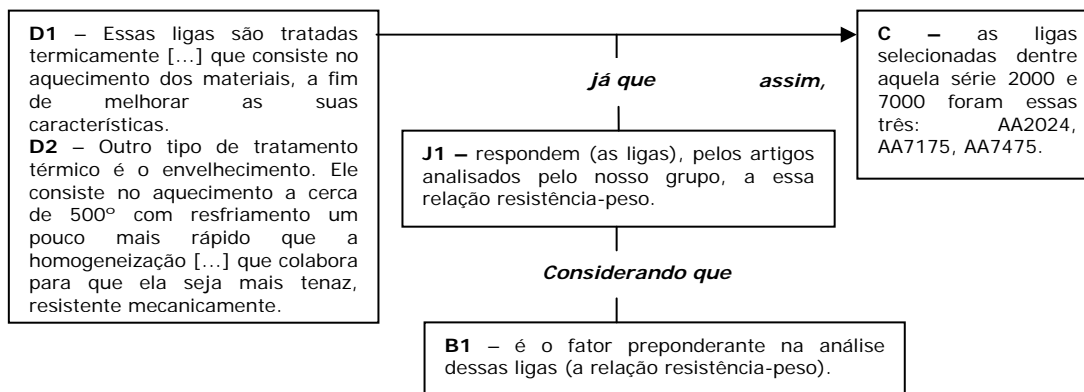
Esquema 2.- Segundo argumento apresentado pelo grupo 1 para a resolução do caso *Corrosão em Avião*.

No terceiro argumento (Esquema 3) o grupo apresentou um dado extraído das normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), que classifica as ligas de alumínio da série 1000 a 7000. Esses números indicam os tipos de metais que são adicionados a essas ligas de alumínio e as propriedades atribuídas por cada um deles. Comparando as diferentes ligas, o grupo concluiu que as mais adequadas seriam as da série 2000 e 7000. Algumas das justificativas empregadas para a escolha do grupo foram: elevada resistência mecânica, a relação resistência-peso muito bem determinada, dentre outras. Foi empregado ainda um *backing* que serviu de suporte para uma das justificativas.



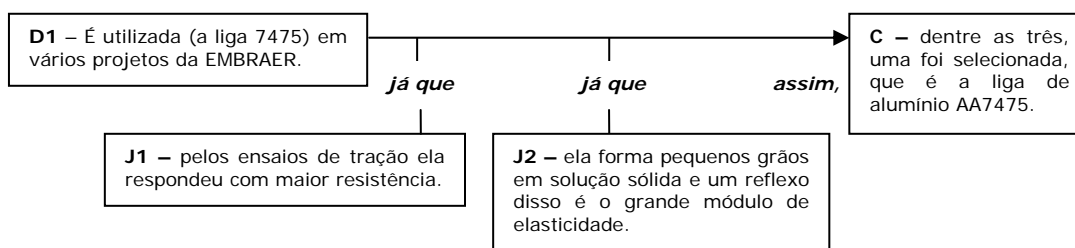
Esquema 3.- Terceiro argumento apresentado pelo grupo 1 para a resolução do caso *Corrosão em Avião*.

Após selecionar as séries, o grupo concluiu que as ligas AA2024, AA7175 e AA7475 eram as mais viáveis para o caso. O grupo usou como justificativa a boa relação resistência-peso apresentada pelas ligas, considerando ser este um fator preponderante na análise do material (*backing*). Dados a respeito do tratamento térmico dessas ligas também foram fornecidos pelo grupo (Esquema 4).



Esquema 4.– Quarto argumento apresentado pelo grupo 1 para a resolução do caso *Corrosão em Aviões*.

Dentre os três tipos de ligas selecionados, o grupo apresentou como conclusão a sua opção pela liga AA7475. As justificativas para tal escolha se devem ao fato da liga apresentar maior resistência-peso e um grande módulo de elasticidade (Esquema 5).

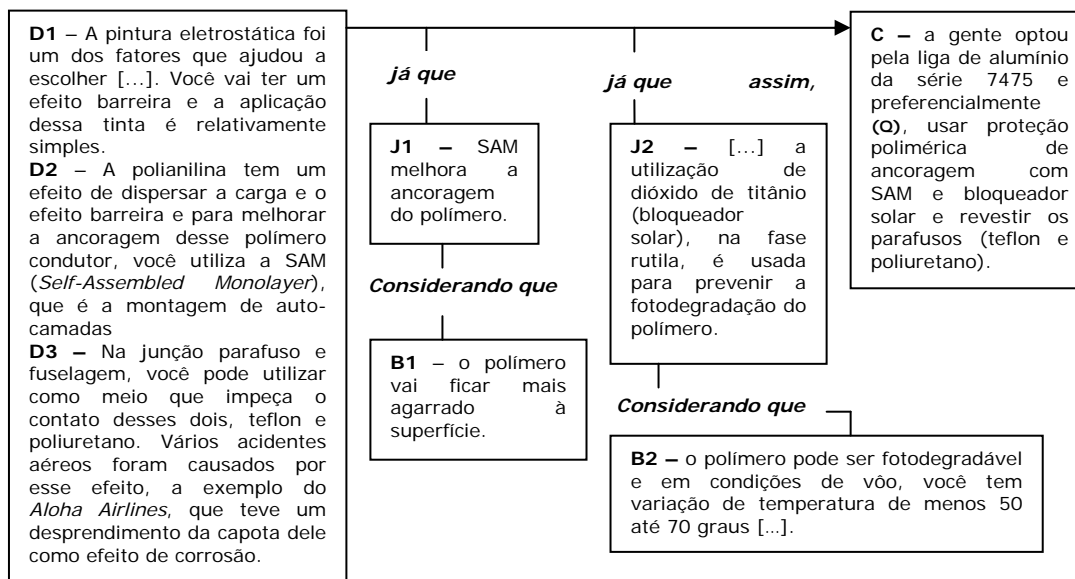


Esquema 5.– Quinto argumento apresentado pelo grupo 1 para a resolução do caso *Corrosão em Aviões*.

No argumento ilustrado no esquema 6, o grupo apresentou uma conclusão geral a respeito dos procedimentos a serem adotados na resolução do caso. Além da escolha da liga AA7475, mencionada anteriormente, o grupo indicou ainda a utilização de uma proteção polimérica de ancoragem SAM (*Self-Assembled Monolayer*) e o uso de um bloqueador solar para prevenir a fotodegradação do polímero. Para os dois procedimentos foram utilizadas justificativas e *backings*, que fundamentaram as suas opções. Identificamos nesse argumento a presença de um qualificador modal, quando o termo “preferencialmente” é utilizado para indicar a preferência do grupo por tais procedimentos, em detrimento de outras opções menos viáveis. Dados relacionados a diferentes tipos de proteção contra corrosão também foram mencionados pelo grupo.

O grupo 2, também responsável pela resolução do caso *Corrosão em Aviões*, formulou três argumentos durante o processo de solução do caso. Como podemos verificar no esquema 7, dados relacionados a diferentes tipos de ligas foram apresentados.

No argumento apresentado no esquema 7 os estudantes chegaram a duas conclusões consecutivas: a partir da primeira conclusão, selecionaram três tipos de ligas, consideradas viáveis para o caso e, a partir da segunda conclusão, optaram, dentre elas, pela liga AA2024.



Esquema 6.– Sexto argumento apresentado pelo grupo 1 para a resolução do caso *Corrosão em Aviões*.

Como justificativa para tal opção o grupo apresentou vantagens e desvantagens dos três tipos de ligas e salientou ainda que é mais viável obter uma liga com uma menor resistência à corrosão e maior resistência mecânica, do que o contrário, uma vez que é mais simples aumentar a resistência à corrosão por meio de métodos de tratamentos adequados, do que aumentar a resistência mecânica.

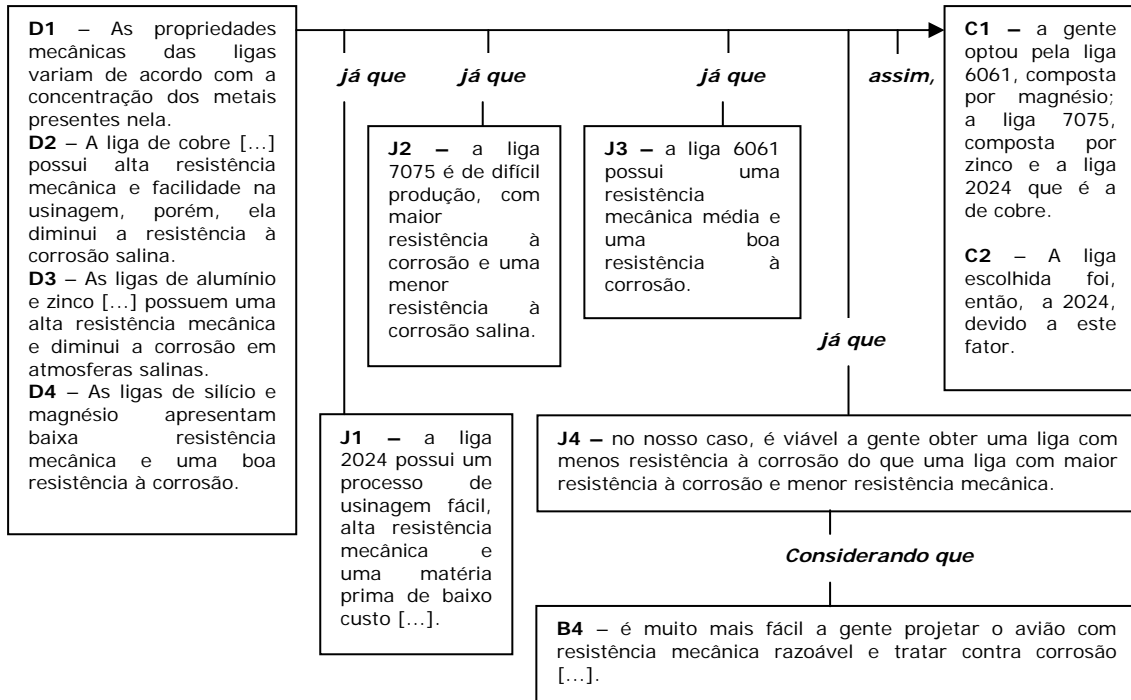
No argumento ilustrado no esquema 8, o grupo apresenta dados relacionados a diferentes tipos de proteção contra a corrosão: polianilina, alodinação (ALOD) e um filme obtido a partir de uma solução contendo íons de lítio, borato e alumínio (LBCC-POL-45), sendo esta última a escolhida pelo grupo. Para justificar a opção, o grupo apresenta cinco justificativas, quatro delas fundamentadas em *backings*.

No terceiro argumento (Esquema 9) o grupo reforça que a liga escolhida seria a AA2024 e a proteção seria o filme LBCC-POL-45. Como justificativa o grupo coloca algumas vantagens relacionadas à liga e ao filme (baixo custo de produção, boa resistência mecânica, boa ancoragem para uma suposta resina ou pintura, não apresenta problemas de descarte etc). Das cinco justificativas colocadas pelo grupo, duas apresentam *backings*.

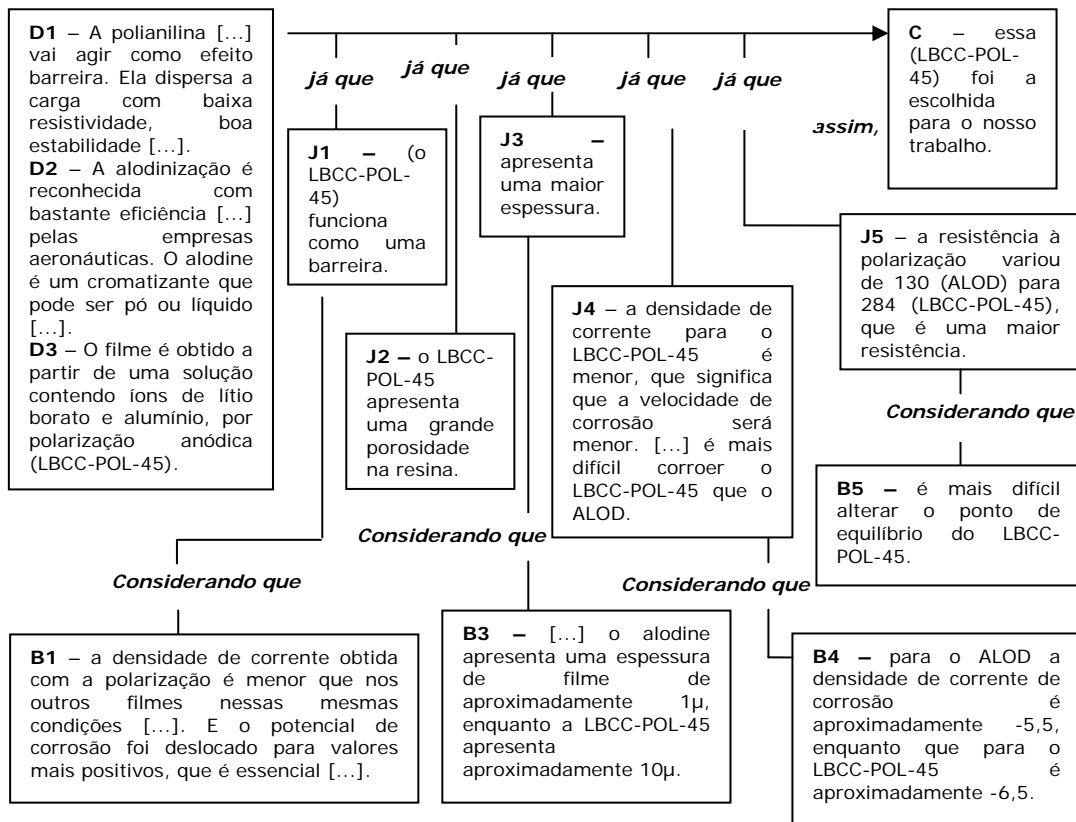
Os grupos 1 e 2 chegaram a conclusões distintas em relação à resolução apontada para o caso. O grupo 1 optou pela liga AA7475 e como proteção indicou a SAM, que proporciona uma melhor ancoragem do polímero, o dióxido de titânio como bloqueador solar, como forma de prevenir a fotodegradação do polímero escolhido e para o revestimento de parafusos, foi indicada a utilização de teflon e poliuretano. Em contraponto o grupo 2 optou pela liga AA2024 e como proteção indicou o filme LBCC-POL-45.

Do ponto de vista estrutural, os dois grupos fizeram um amplo uso de dados em sua argumentação. Verificamos também que os dois grupos fizeram um abundante uso de justificativas, que permitiram passar os dados para a conclusão final. Algumas delas fundamentadas em conhecimentos básicos (*backings*). Apenas em um dos argumentos

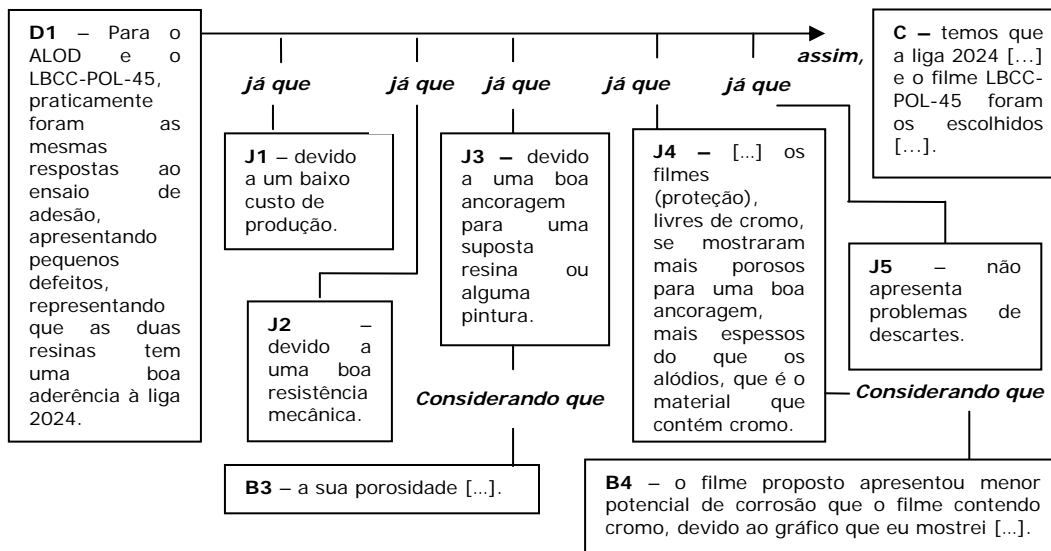
formulados pelo grupo 1, ilustrado no esquema 6, foi identificado o componente qualificador modal. Nenhuma refutação foi colocada por ambos os grupos.



Esquema 7.– Primeiro argumento apresentado pelo grupo 2 para a resolução do caso *Corrosão em Aviões*.



Esquema 8.– Segundo argumento apresentado pelo grupo 2 para a resolução do caso *Corrosão em Aviões*.



Esquema 9.– Terceiro argumento apresentado pelo grupo 2 para a resolução do caso *Corrosão em Aviões*.

As informações fornecidas pelos grupos responsáveis pelo caso foram analisadas e verificamos a sua coerência, de acordo com dados presentes em artigos científicos e em outras fontes fidedignas de pesquisa.

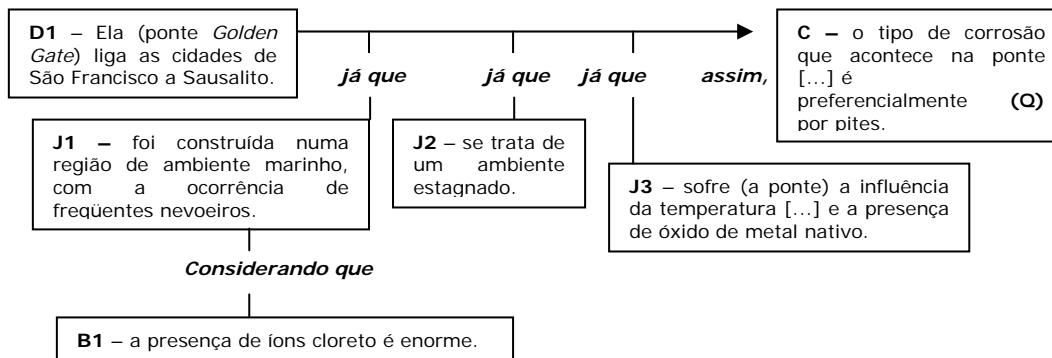
Componentes do argumento identificados na apresentação oral sobre a resolução do caso Corrosão em Pontes

O caso *Corrosão em Pontes* trata de um desafio que foi proposto pela companhia responsável pela administração da ponte *Golden Gate*, localizada na Califórnia, Estados Unidos. O desafio fazia parte de uma série de atividades realizadas para comemorar o septuagésimo aniversário da ponte. Os estudantes deveriam argumentar a favor de duas proteções contra corrosão de pelo menos três tipos de ligas de aço diferentes e da utilização de uma delas, como sendo a mais adequada para conter a degradação que ocorre na ponte.

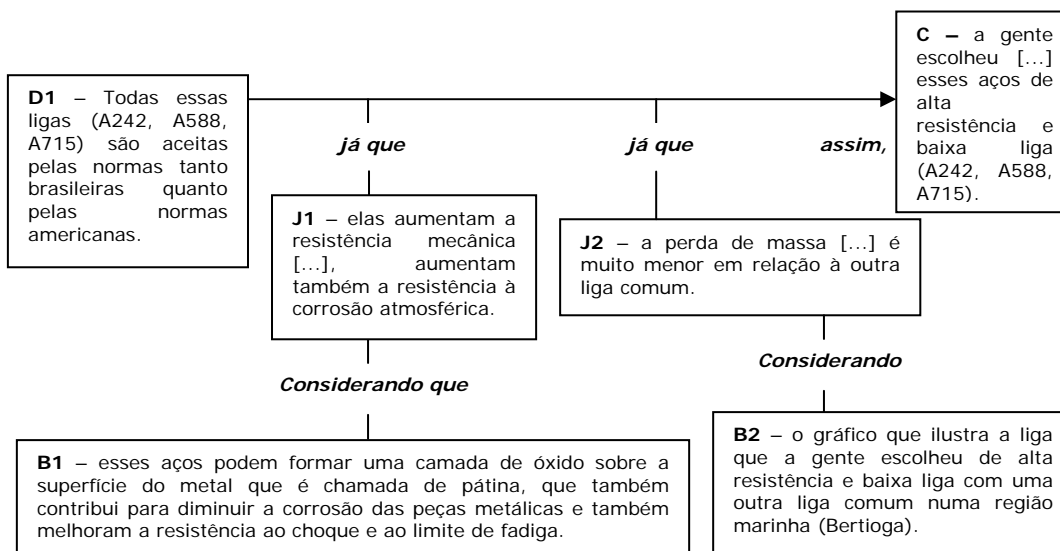
Os esquemas 10 a 16 ilustram os argumentos produzidos pelos dois grupos responsáveis pela resolução do caso (grupos 3 e 4). Identificamos na apresentação oral do grupo 3, uma seqüência de quatro argumentos.

No argumento ilustrado no esquema 10, o grupo 3 concluiu que na ponte *Golden Gate*, localizada entre as cidades de São Francisco e Sausalito, a corrosão ocorre, preferencialmente, por pites. Nesse argumento identificamos o uso de um qualificador modal, quando o grupo utiliza o termo "preferencialmente" indicando o tipo mais provável de corrosão que ocorre na ponte em questão, devido a fatores externos tais como o fato da ponte ser localizada em uma região marinha, rica em íons cloreto e por se tratar de um ambiente estagnado e suscetível às influências de temperatura e ocorrência de nevoeiros que, nessa área, são freqüentes.

No esquema 11, o argumento apresentado pelo grupo diz respeito a uma seleção de aços de alta resistência e baixa liga, que poderiam ser utilizados na ponte, em especial as ligas A242, A588 e A715. Para tanto, o grupo utilizou duas justificativas relacionadas às vantagens apresentadas por tais ligas, ambas fundamentadas em *backings*.



Esquema 10.– Primeiro argumento apresentado pelo grupo 3 para a resolução do caso *Corrosão em Pontes*.



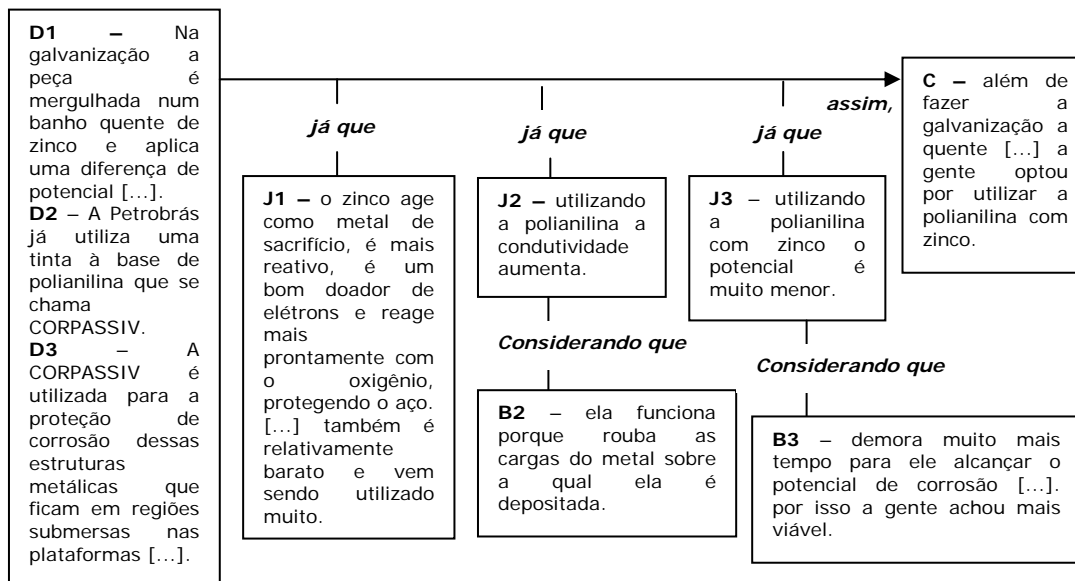
Esquema 11.– Segundo argumento apresentado pelo grupo 3 para a resolução do caso *Corrosão em Pontes*.

Embora o grupo tenha optado, no argumento anterior, por ligas que não necessitam de proteção contra a corrosão, os alunos acabaram indicando a galvanização a quente e o uso da polianilina com zinco, pelo fato de ter sido socilitada pelo professor a indicação de, pelo menos, duas proteções contra a corrosão de ligas de aços diferentes. Dados a respeito dessas proteções foram apresentados e três justificativas foram empregadas para a escolha de tais proteções, duas delas acompanhadas de *backings* (Esquema 12).

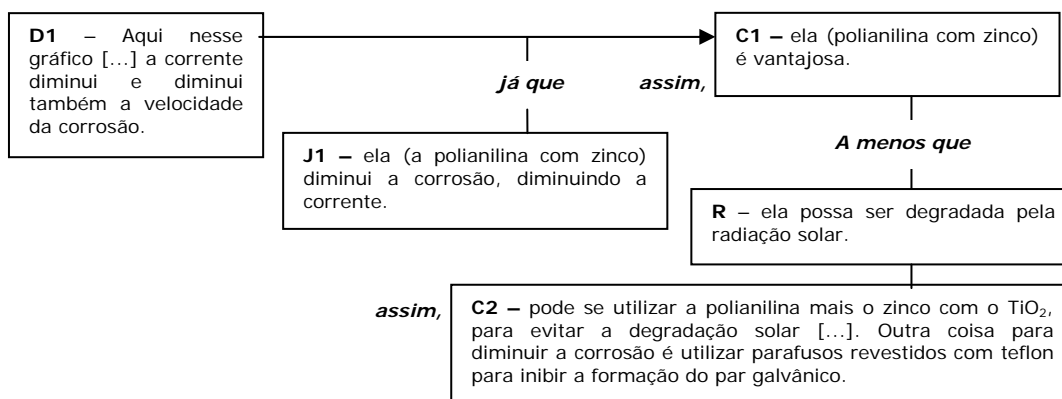
No argumento ilustrado no esquema 13, identificamos uma refutação, quando o grupo concluiu que o uso da polianilina com o zinco é vantajoso, a menos que a polianilina não seja degradada pela radiação solar. Por conta dessa refutação, o grupo chega a uma segunda conclusão, que consiste na utilização de uma proteção solar de TiO₂, além do uso de parafusos revestidos com teflon para inibir a formação do par galvânico e com isso diminuir a velocidade da corrosão.

Os esquemas 14, 15 e 16 ilustram os três argumentos elaborados pelo grupo 4, identificados na apresentação oral sobre a solução do caso. No primeiro argumento identificado (Esquema 14), o grupo inicia a solução do caso propondo a galvanização como método de proteção à corrosão. A

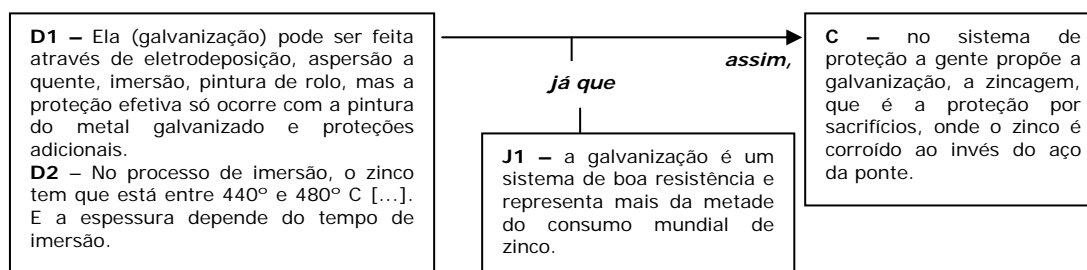
galvanização é um sistema de proteção que apresenta boa resistência e o zinco apresenta a capacidade de agir como um metal de sacrifício, sendo corroído ao invés do aço da ponte.



Esquema 12.– Terceiro argumento apresentado pelo grupo 3 para a resolução do caso *Corrosão em Pontes*.

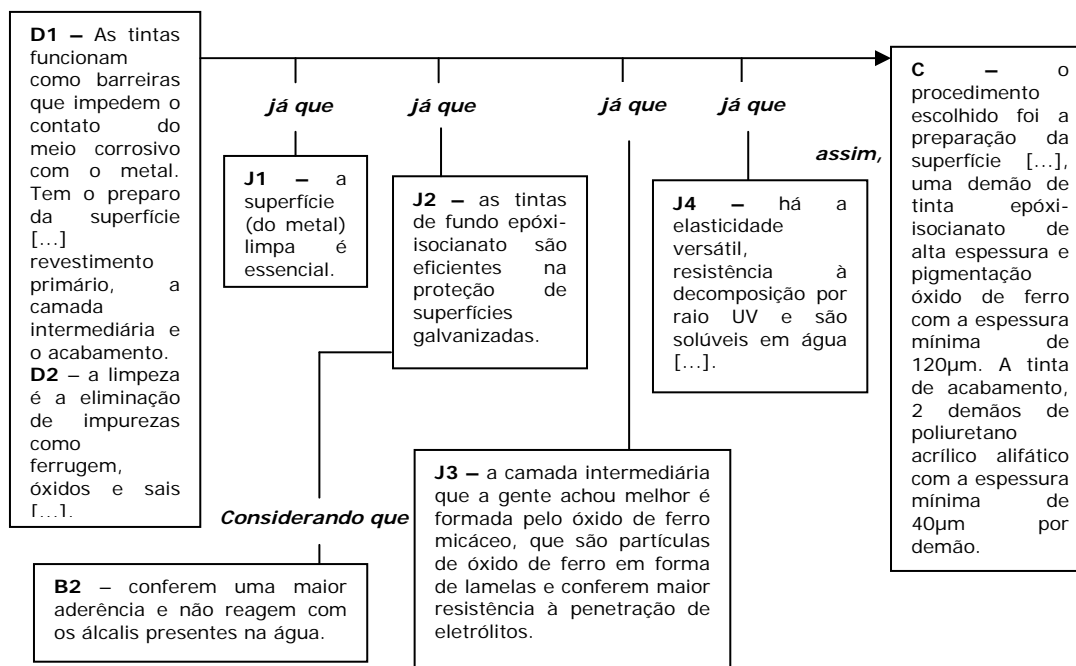


Esquema 13.– Quarto argumento apresentados pelo grupo 3 para a resolução do caso *Corrosão em Pontes*.



Esquema 14.– Primeiro argumento apresentados pelo grupo 4 para a resolução do caso *Corrosão em Pontes*.

No segundo argumento identificado (Esquema 15), a conclusão do grupo diz respeito a uma série de procedimentos que deveria ser realizada visando a proteção da ponte. Para a aplicação de tais medidas, quatro justificativas foram empregadas, uma delas acompanhada por *backing*.



Esquema 15.– Segundo argumento apresentados pelo grupo 4 para a resolução do caso *Corrosão em Pontes*.

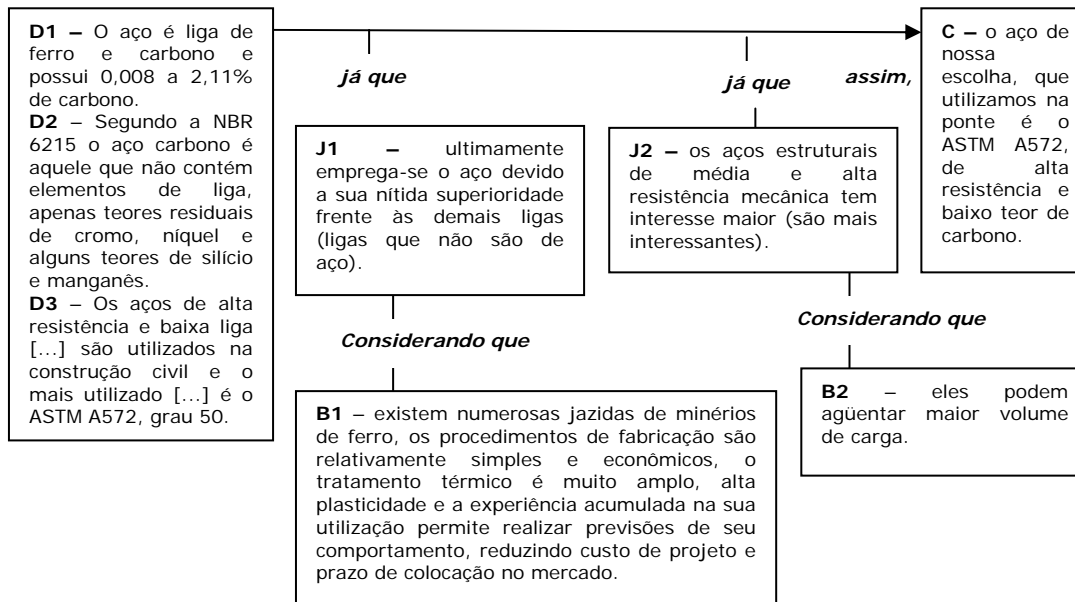
Tendo concluído a argumentação a respeito do tipo de proteção a ser utilizada, os alunos optaram pela liga de aço ASTM A572, de alta resistência e baixo teor de carbono (Esquema 16). Eles justificaram essa escolha pelo fato desse tipo de aço apresentar uma nítida superioridade frente às demais ligas, tendo em vista as diversas vantagens apresentadas pelo material, no que diz respeito à fabricação, tratamento térmico e custo. Além disso, esse tipo de aço é capaz de suportar um maior volume de carga, considerando que o mesmo apresenta uma boa resistência mecânica. As duas justificativas apresentadas pelo grupo foram fundamentas em *backings*.

Os grupos 3 e 4, responsáveis pela resolução do caso *Corrosão em Pontes*, também apresentaram diferentes conclusões. O primeiro optou por um grupo de ligas A242, A588 e A715, que seriam viáveis para a solução do caso, não se decidindo por apenas um tipo de liga. Além disso, indicou a galvanização a quente e para revestimento, a polianilina com zinco e o TiO₂, para evitar a degradação solar. Em contraponto, o segundo grupo optou diretamente pelo uso da liga ASTM A572 e por utilizar a galvanização como sistema de proteção. Além disso, sugeriu a realização de outros procedimentos relacionados à pintura e ao acabamento.

Quanto à estrutura dos argumentos, verificamos que os dois grupos utilizaram uma grande variedade de dados. Um considerável número de justificativas embasadas em *backings* foi empregado de maneira adequada. Apenas o grupo 3 utilizou elementos como qualificador modal e refutação,

como mostram os argumentos ilustrados nos esquemas 10 e 13, respectivamente.

Quanto ao conteúdo dos argumentos produzidos pelos grupos 3 e 4, constatamos a pertinência de todas as informações apresentadas, de acordo com dados presentes em artigos científicos e em outras fontes fidedignas de pesquisa.



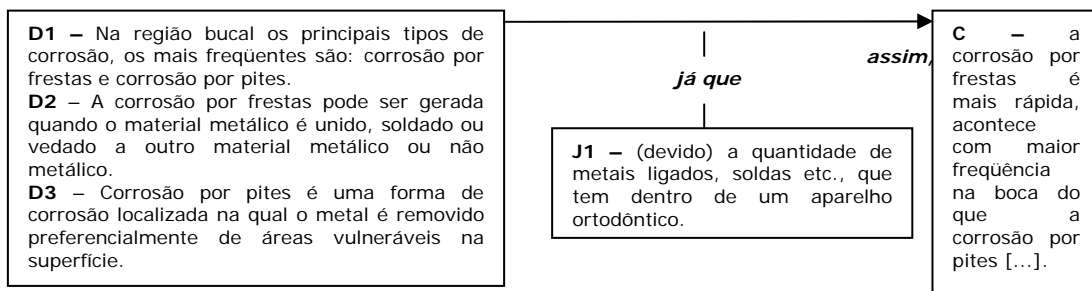
Esquema 16.– Terceiro argumento apresentado pelo grupo 4 para a resolução do caso *Corrosão em Pontes*.

Componentes do argumento identificados na apresentação oral sobre a resolução do caso Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal

O caso intitulado *Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal* colocava os estudantes a par de um dos principais problemas enfrentados pela ortodontia, que é a questão da biocompatibilidade, no meio bucal, de novos materiais utilizados na correção da arcada dentária. Na descrição do caso, os alunos eram convidados a participar de um simpósio e, nessa ocasião, deveriam apresentar um trabalho indicando três tipos de ligas de aço, que poderiam ser utilizadas na elaboração de fios e molas metálicas de aparelhos ortodônticos. Deveriam também indicar duas proteções contra corrosão para cada uma das ligas, argumentando a favor da utilização de uma delas. O organizador do evento destacou a importância da contribuição para o desenvolvimento de ligas metálicas alternativas, de modo a tornar os aparelhos ortodônticos mais acessíveis às populações desfavorecidas.

Os esquemas 17 a 24 ilustram os argumentos identificados na apresentação oral dos dois grupos responsáveis pela resolução do caso (grupos 5 e 6).

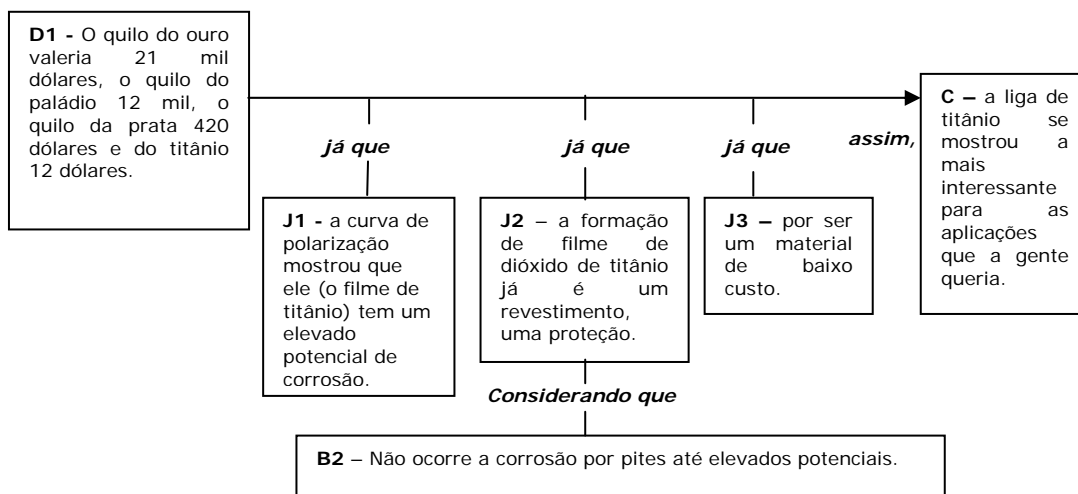
No esquema 17 o grupo 5 concluiu que, nos materiais empregados no meio bucal, a corrosão por frestas ocorre com maior frequência, quando comparada à corrosão por pites. A justificativa para essa conclusão é a grande quantidade de metais ligados, soldas etc, que geralmente estão presentes nos aparelhos ortodônticos.



Esquema 17.– Primeiro argumento apresentados pelo grupo 5 para a resolução do caso *Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal*.

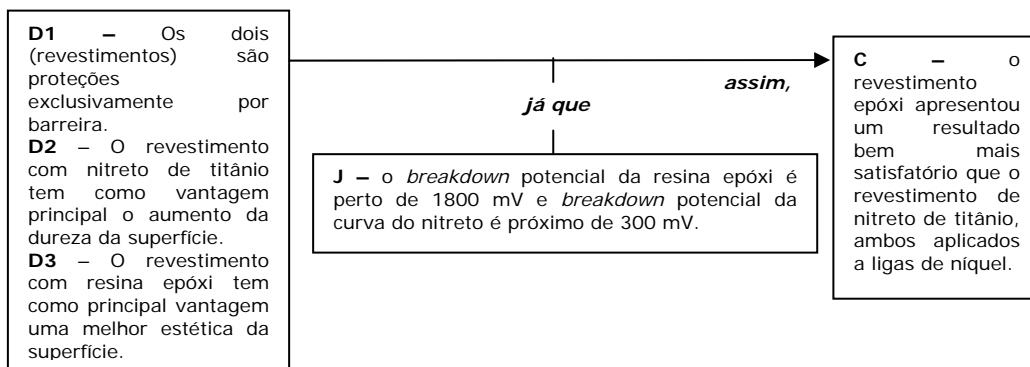
O segundo argumento do grupo diz respeito à escolha da liga mais adequada para o caso (Esquema 18). O grupo apresenta dados relacionados ao preço de diferentes metais que podem ser empregados em ligas utilizadas em aparelhos dentários, tais como ouro, prata, paládio e titânio. Após apresentar uma seqüência de três justificativas, uma delas complementada por um *backing*, o grupo conclui que o titânio é a opção mais viável para o caso proposto (sem necessidade de revestimento).

No entanto, no argumento ilustrado no esquema 19, o grupo faz uma comparação entre dois métodos de proteção utilizados em ligas de níquel: o revestimento com resina epóxi e com nitreto de titânio. O grupo concluiu que o revestimento com a resina epóxi apresenta um resultado mais satisfatório que o revestimento com nitreto de titânio. São apresentados dados a respeito dos dois tipos de revestimentos, no entanto, a justificativa para a conclusão do grupo está relacionada com o *breakdown* potencial, ou seja, a tensão de ruptura apresentada por ambos os revestimentos.

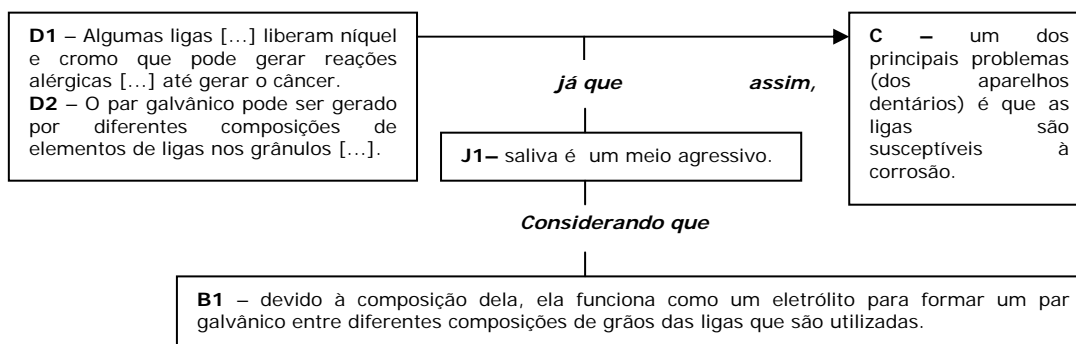


Esquema 18.– Segundo argumento apresentado pelo grupo 5 para a resolução do caso *Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal*.

Na apresentação da solução do caso pelo grupo 6, identificamos uma série de cinco argumentos. O primeiro deles (Esquema 20) diz respeito à susceptibilidade das ligas, presentes em aparelhos dentários, à corrosão, uma vez que a saliva é um meio agressivo, devido à composição que ela apresenta.

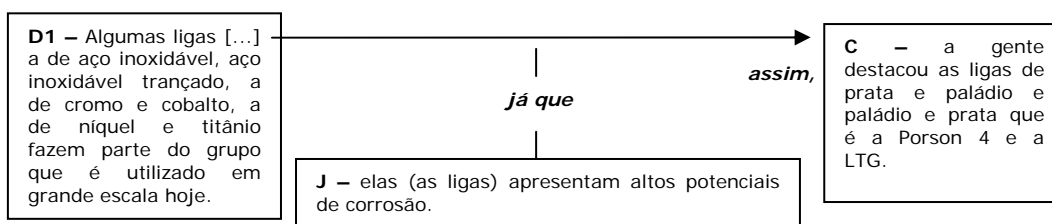


Esquema 19.– Terceiro argumento apresentados pelo grupo 5 para a resolução do caso *Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal*.



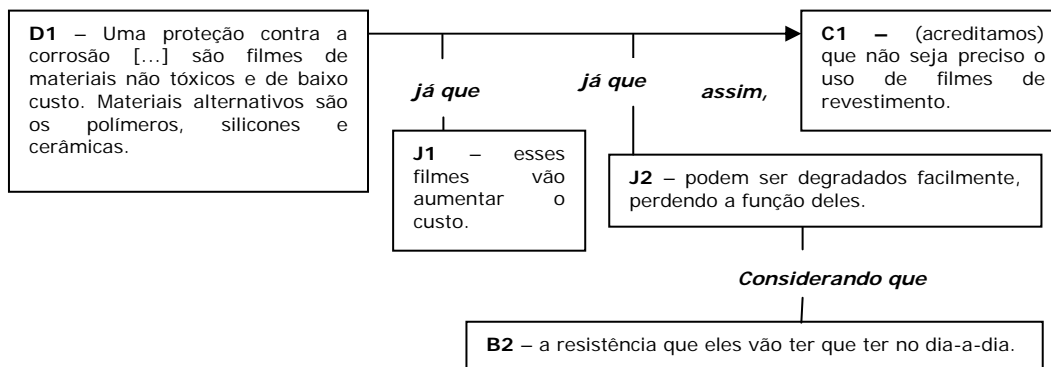
Esquema 20.– Primeiro argumento apresentados pelo grupo 6 para a resolução do caso *Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal*.

Comparando alguns tipos de ligas de aço, o grupo optou por utilizar as ligas de prata e paládio e paládio e prata, conhecidas como Porson 4 e LTG, respectivamente. A justificativa empregada para essa escolha está relacionada aos altos potenciais de corrosão apresentados pelas mesmas (Esquema 21).



Esquema 21.– Segundo argumento apresentados pelo grupo 6 para a resolução do caso *Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal*.

Ao optar pelas ligas de Porson 4 e LTG o grupo chegou à conclusão que não seria necessário o uso de filmes de revestimentos, tendo em vista que os filmes poderiam elevar o custo do material, além da possibilidade de serem facilmente degradados no dia-a-dia (Esquema 22).

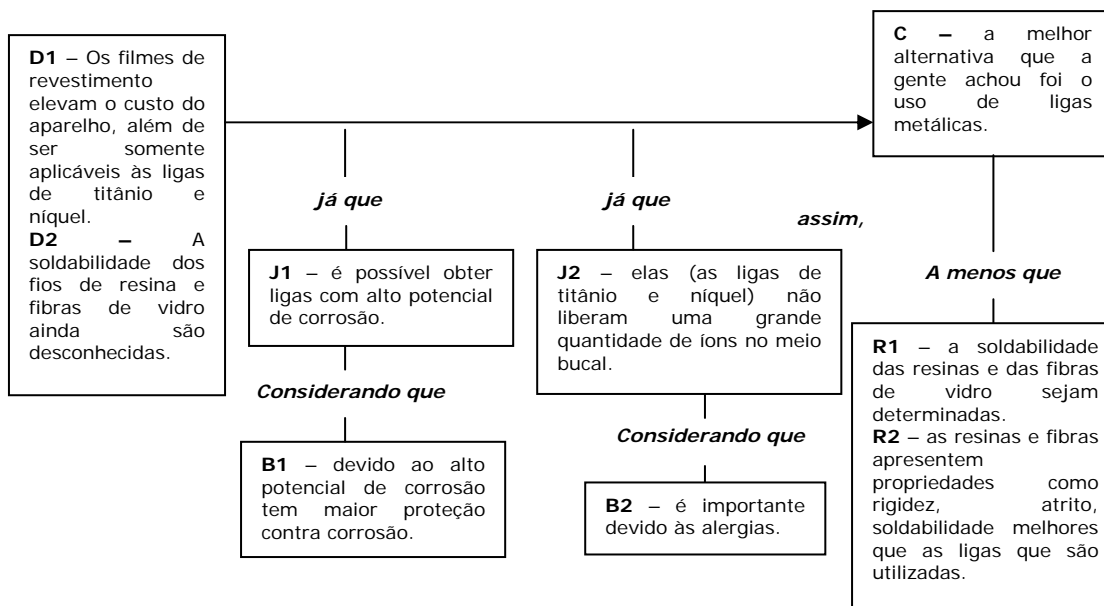


Esquema 22.– Terceiro argumento apresentados pelo grupo 6 para a resolução do caso *Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal*.

No argumento ilustrado no esquema 23, o grupo concluiu que a melhor alternativa para o caso seria o uso de ligas metálicas.

Para alcançar a conclusão ilustrada no esquema 23, uma refutação é colocada, quando o grupo considera que esta é válida, a menos que a soldabilidade das resinas ou fibras de vidro sejam determinadas ou apresentem propriedades físicas e químicas mais vantajosas que as ligas metálicas.

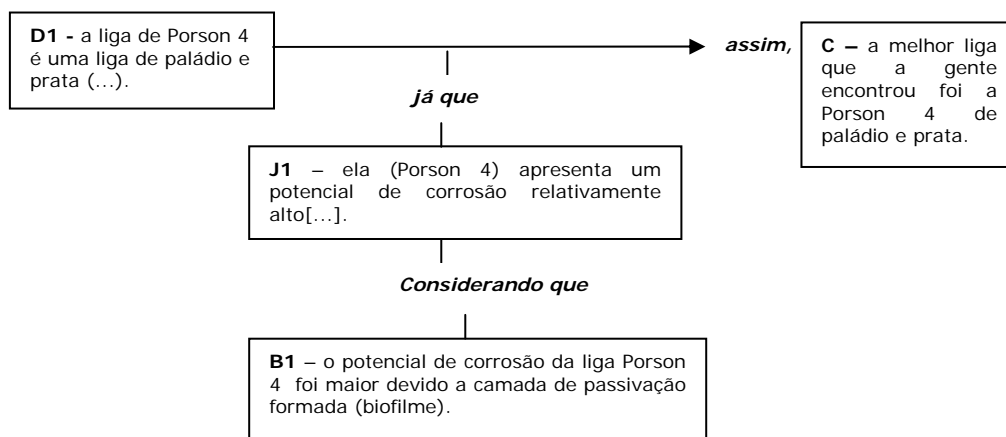
No esquema 24, o grupo argumenta sobre a escolha final da liga a ser utilizada, a Porson 4 de paládio e prata. Uma justificativa seguida de *backing*, relacionada ao potencial de corrosão apresentado pela mesma, foi empregada como forma de fundamentar a conclusão do grupo.



Esquema 23. – Quarto argumento apresentado pelo grupo 6 para a resolução do caso *Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal*.

No que diz respeito à solução do caso *Materiais Empregados no Meio Bucal*, os dois grupos apresentaram conclusões distintas. O grupo 5 optou pela liga de titânio (sem revestimento) e pelo revestimento com resina epóxi para ligas de níquel. O grupo 6 considerou que a melhor alternativa seria o uso de ligas que apresentassem altos potenciais de corrosão, e

optaram pela liga Porson 4. Concluíram ainda que era desnecessária a utilização de filmes de revestimento, por questões econômicas e estruturais.



Esquema 24.– Quinto argumento apresentado pelo grupo 6 para a resolução do Caso *Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal*.

Quanto à estrutura dos argumentos, verificamos que os dois grupos fizeram uso de dados e de justificativas que fundamentaram as suas conclusões. Identificamos apenas três argumentos na apresentação oral do grupo 5 e esses continham basicamente os elementos fundamentais que constituem um argumento, segundo Toulmin (1958): dado, justificativa e conclusão; com exceção apenas do Esquema 18, que apresenta um *backing*. Na solução do grupo 6, identificamos uma seqüência de cinco argumentos, que além dos elementos fundamentais, também apresentam refutações e *backings*.

Em relação ao conteúdo dos argumentos dos grupos 5 e 6, constatamos que os dados fornecidos e as justificativas por eles apresentados são fundamentados em diversas pesquisas relacionadas ao assunto.

Componentes dos argumentos nos casos solucionados: uma análise comparativa

Na análise da qualidade dos argumentos apresentados pelos alunos para solução dos casos, adotamos a metodologia proposta por Erduran et al. (2004) e observamos as tendências nos discursos dos grupos, segundo a distribuição no TAP. A figura 4 ilustra a porcentagem da freqüência de vezes em que cada combinação ocorreu nas falas dos estudantes.

Na análise da freqüência de combinações de elementos do argumento, identificadas nas apresentações orais dos grupos, ilustrada na Figura 4, verificamos que combinações do tipo CDJ, formadas pelos elementos fundamentais de um argumento, na visão de Toulmin (1958), ocorreu numa freqüência de seis vezes durante as apresentações dos grupos. A combinação do tipo CDJB, situações em que um conhecimento básico é adicionado à argumentação com o propósito de fundamentar a justificativa, ocorreu numa freqüência de catorze vezes. A combinação do tipo CDJR foi identificada apenas uma vez (Esquema 13), na argumentação do grupo 3, responsável pela solução do caso *Corrosão em Pontes*. Argumentos com combinações mais complexas, como as do tipo CDJBQ e CDJBR, também

ocorreram, porém em uma freqüência menos significativa. A combinação do tipo CDJBQ ocorreu duas vezes, nos argumentos dos grupos 1 e 3, ilustrados nos Esquemas 6 e 10, respectivamente. A do tipo CDJBR, ocorreu apenas uma vez, no argumento do grupo 6, ilustrado no Esquema 23. Acreditamos que a pouca ocorrência de combinações dessa natureza pode estar associada às dificuldades dos alunos em inserir em seus discursos elementos como refutações e qualificadores modais.

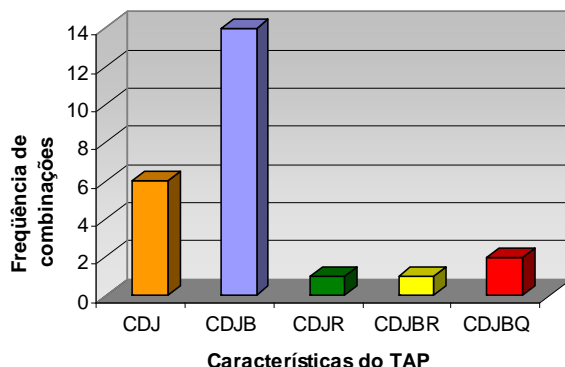


Figura 4. – Frequência do TAP nos argumentos produzidos pelos alunos na resolução dos três casos.

Influência dos diferentes casos na complexidade dos argumentos formulados pelos grupos

A partir da análise dos enunciados dos alunos sobre a solução dos casos, identificamos a ocorrência de argumentos com combinações variadas do TAP, para cada um dos casos propostos (Figura 5). O número de argumentos identificados nas apresentações sobre as soluções dos três casos foi: *Corrosão em Aviões* (nove); *Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal* (oito); *Corrosão em Pontes* (sete). Também verificamos que as combinações mais complexas identificadas, duas vezes a do tipo CDJBQ e uma vez a do tipo CDJBR, foram empregadas por três grupos com casos diferentes. Essas constatações nos levam a crer que não houve uma discrepância significativa quanto ao emprego dos diferentes tipos de combinação do TAP nos argumentos dos grupos responsáveis pela solução de casos distintos. O que sugere que nenhum dos casos propostos, aparentemente, facilitou ou dificultou a formulação de argumentos, em relação aos demais. Constatação distinta foi alcançada por Sá e Queiroz (2007), na aplicação de casos investigativos de caráter sócio-científico no ensino superior de química.

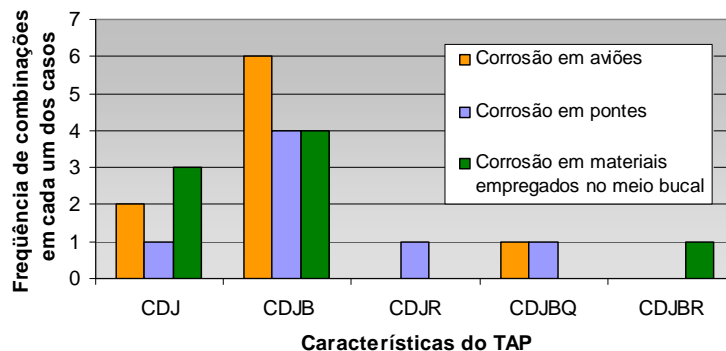


Figura 5. – Frequência de combinações do TAP para cada um dos três casos solucionados.

Considerações finais

As discussões aqui desenvolvidas sugerem que a atividade didática descrita, pautada na solução de casos investigativos, estimulou a elaboração de uma quantidade considerável de argumentos por parte dos estudantes sobre o tema "corrosão". A análise da qualidade dos argumentos indicou, na sua formulação, principalmente, a existência dos componentes conclusão, dado, justificativa e *backing*, com pouca ocorrência dos componentes refutação e qualificador modal. Assim, os alunos fizeram uso, na maioria das suas argumentações, além dos componentes essenciais de um argumento (que são, segundo Toulmin (1958), o dado, a conclusão e a justificativa), do componente *backing*. Tal constatação aponta para o fato de que são detentores de uma habilidade de argumentação razoável. Em contraponto, a baixa inclusão dos componentes refutação e qualificador modal, que poderiam ter fortalecido as suas argumentações, sugerem a pouca destreza dos mesmos na inserção de tais componentes em discursos de natureza argumentativa. Acreditamos que tal dificuldade pode vir a ser amenizada a partir da incorporação, em determinadas atividades oferecidas nos cursos superiores de química, de estratégias que apresentem aos alunos os componentes de um "bom" argumento e que discutam a importância da sua capacidade de elaboração no contexto do curso em questão.

A partir da análise dos argumentos, do ponto de vista dos conteúdos neles embutidos, verificamos que, de uma maneira geral, estavam fundamentados em informações presentes em artigos científicos ou em outras fontes fidedignas, o que sugere a preocupação do alunado na discussão de dados confiáveis para a solução dos casos e fortalece o entendimento de que a atividade didática foi bem sucedida no que concerne ao ensino-aprendizagem do tema "corrosão".

Durante os debates que sucederam as apresentações orais os membros dos grupos responsáveis pela resolução dos mesmos casos apresentaram vários contra-argumentos frente às soluções indicadas pelos membros dos grupos oponentes. Uma quantidade considerável de novos dados e de novas justificativas permeou a discussão, marcada também pela presença de qualificadores modais e refutações. A análise detalhada dos componentes do argumento presentes nos debates será apresentada em trabalho futuro.

Por fim, tendo em vista as considerações apresentadas anteriormente, e o fato dos grupos terem se empenhado na solução dos casos de forma criativa e independente, acreditamos na boa receptividade da atividade didática junto ao alunado e na sua adequação para o fomento da capacidade argumentativa dos estudantes, além de a considerarmos potencialmente capaz de proporcionar o desenvolvimento de outras habilidades de caráter formativo, como comunicação oral e escrita, trabalho em grupo, tomada de decisão e senso crítico.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP (Processos nº 07/55847-7 e 07/06657-0) e ao CNPq (Processo nº 306077/2006-0) pelo auxílio financeiro e aos alunos matriculados na disciplina SQF0338 – Corrosão e Eletrodeposição,

ministrada no Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, no primeiro semestre letivo de 2007.

Referências bibliográficas

Capecchi, M.C.V.M. e A.M.P. Carvalho (2000). Argumentação em uma aula de conhecimento físico com crianças na faixa de oito a dez anos. *Investigações em Ensino de Ciências*, 5, 3, 171-189.

Castro, C.E.R. e M.P. Jiménez Aleixandre (2000). La cultura científica en la resolución de problemas en el laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 18, 2, 275-284.

Cho, K. e D.H. Jonassen (2002). The effects of argumentation scaffolds on argumentation and problem solving. *Educational Technology Research and Development*, 50, 3, 5-22.

Driver, R., Newton, P. e J. Osborne (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84, 3, 287-312.

Duschl, R. e J. Osborne (2002). Supporting and promoting argumentation in science education. *Studies in Science Education*, 38, 1, 39-72.

Erduran, S., Simon, S. e J. Osborne (2004). TAPPING into argumentation: developments in the application of Toulmin's argument pattern for studying science discourse. *Science Education*, 88, 6, 915-933.

Herreid, C.F. (1994). Studies in science – A novel method of science education. *Journal of College Science Teaching*, 23, 4, 221-229.

Herreid, C.F. (1998). What makes a good case? *Journal of College Science Teaching*, 27, 3, 163-169.

Kelly, G.J., Druker, S. E C. Chen (1998). Students' reasoning about electricity: Combining performance assessments with argumentation analysis. *International Journal of Science Education*, 20, 7, 849-871.

Kelly, G.J. e A. Takao (2002). Epistemic levels in argument an analysis of university oceanography students' use of evidence in writing. *Science Education*, 86, 3, 314-342.

Kortland, K. (1996). An STS case study about students' decision making on the waste issue. *Science Education*, 80, 6, 673-689.

Newton, P., Driver, R. e J. Osborne (1999). The place of argumentation in the pedagogy of school science. *International Journal of Science Education*, 21, 5, 553-576.

Nussbaum, M.E. (2002). Scaffolding argumentation in the social studies classroom. *The Social Studies*, 93, 2, 79-83.

Queiroz, S.L. e L.P. Sá (2009). O espaço para a argumentação no ensino superior de química. *Educación Química*, 20, 2, 104-110.

Sá, L.P., Francisco, C.A. e S.L. Queiroz (2007). Estudos de caso em química. *Química Nova*, 30, 731-739.

Sá, L.P. e S.L. Queiroz (2007). Promovendo a argumentação no ensino superior de química. *Química Nova*, 30, 3, 2035-2042.

Simon, S., Erduran, S. e J. Osborne (2006). Learning to teach argumentation: research and development in the science classroom. *International Journal of Science Education*, 28, 235-260.

Toulmin, S.E. (1958). The uses of argument. New York: Cambridge University Press.

Van Eemeren, F.H. e R. Gootendorst (1992). Argumentation, communication, and fallacies. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Villani, C.E.P. e S.S. Nascimento (2003). A argumentação e o ensino de ciências: uma atividade experimental no laboratório didático de física do ensino médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, 8, 3, 1-15.

Zohar, A. e F. Nemet (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 1, 35-62.