

Alertas Automáticos em Sistemas de Comando e Controle: Efeitos na Consciência Situacional

Daniel Maier de Carvalho, Carlos Henrique Costa Ribeiro

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Pça Mal. do Ar Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias - São José dos Campos - SP

Ricardo Suterio

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Avenida dos Astronautas, 1.758 - Jd. Granja - São José dos Campos - SP

Resumo — Sistemas digitais de comando e controle dão aos comandantes vantagens de informações que se traduzem em vantagens no campo de batalha. Contudo, a natureza complexa e dinâmica destes sistemas pode impactar na consciência situacional dos tomadores de decisão. O uso de alertas automáticos tem sido recomendado como forma de chamar atenção quando eventos críticos ocorrerem. Em um experimento utilizando um delineamento por blocos incompletos balanceados, os resultados foram analisados com o objetivo de determinar a influência desses alertas sobre os operadores. Os resultados apontam que o uso dos alertas não influencia a tarefa de monitoramento, porém quando combinamos esses alertas automáticos às situações de alta carga de trabalho pode haver perda de consciência situacional.

Palavras-chaves — comando e controle, alertas, consciência situacional.

I. INTRODUÇÃO

A Guerra Centrada em Redes traduz superioridade de informações em poder de combate através da difusão do conhecimento no espaço de batalha. Esta vantagem, aliada aos modernos recursos de telecomunicações, permite maior agilidade no ciclo de tomada de decisão e ajuda a melhorar a consciência situacional (CS). Com o aumento da quantidade de informações disponíveis, pode ser interessante considerar um sistema de alertas automático para monitoramento dos dados que forneça notificações quando eventos críticos ocorrerem. No entanto, experiências com estes sistemas, em outras áreas, têm mostrado que esta automação pode, paradoxalmente, contribuir para a redução da CS [1]. Durante períodos de alto stress, alertas podem realmente se tornar intrusivos, e respondê-los pode aumentar a carga de trabalho mental e desviar a atenção do operador [2]. Para trabalhar essa questão foi montado um experimento que busca responder como feedbacks provenientes de sistemas de alertas automáticos afetam a CS sob variadas condições de carga de trabalho. Foram levantadas duas hipóteses:

H0: CS é igual em ambas as condições de alertas (habilitado e desabilitado).

H1: CS é diferente com alertas habilitados do que com alertas desabilitados.

Participantes foram avaliados durante o monitoramento de um sistema de comando e controle, o "C2 em Combate", software do Exército Brasileiro, que foi acoplado a um sistema de alertas automático.

Daniel Maier de Carvalho, maier@ita.br, Tel +55-12-39476897; Carlos Henrique Costa Ribeiro, carlos@ita.br, Tel +55-12-39475895 Fax +55-12-39475989; Ricardo Suterio, suterio@lit.inpe.br, Tel.: +55 (12) 3945-6318

A CS foi medida usando o *Situation Awareness Global Assessment Technique* (SAGAT). O questionário SAGAT, desenvolvido por Endsley [3], avalia qualitativamente os usuários e pode cobrir os níveis da percepção, compreensão e projeção da CS. A CS foi medida com o sistema de alertas ativado e desativado.

II. MÉTODO

Participaram do experimento quinze militares do Exército Brasileiro da arma de Infantaria, todos profissionais de carreira com média de 37 anos de idade e 17 anos de serviço. Nenhum deles possuía experiência prévia com o software.

Após o preenchimento de um termo de consentimento, os participantes realizaram um treinamento na ferramenta onde todas as informações necessárias ao cumprimento da tarefa foram passadas. Em seguida, realizaram uma avaliação do treinamento para garantir que estavam em condições de continuar no experimento. Após essa avaliação foi dado um tempo para prática no sistema e no questionário de avaliação em uma simulação de um cenário prático. Após essas etapas, o participante estava apto a iniciar o experimento propriamente dito.

Os participantes tinham que utilizar o software duas vezes, uma vez com o sistema de alertas habilitado e uma vez com o sistema de alertas desativado, não necessariamente nesta ordem. Ao utilizar o sistema, o participante monitorava uma simulação de combate e, em seguida, respondia um questionário. Ao utilizar o sistema pela segunda vez, o militar não podia monitorar a mesma simulação, pois já se sabia o que ia acontecer. Cada participante então monitorou duas simulações diferentes, chamadas de cenários experimentais A e B.

A fim de avaliar também a influência da carga de trabalho, cada cenário foi dividido em duas etapas, uma com baixa carga de trabalho e outra com alta carga de trabalho. A carga de trabalho era caracterizada pela quantidade de eventos que o operador tinha que monitorar por intervalo de tempo.

Esses eventos aconteciam de forma aleatória, sendo que em baixa carga de trabalho acontecia em média um evento a cada 30 segundos, e com alta carga de trabalho acontecia, em média, um evento a cada 15 segundos. Cada participante então monitorou dois cenários com diferentes cargas de trabalho distintas cada um e com o uso de alertas habilitados ou desabilitados. A Tabela I mostra as oito combinações de questionários SAGAT distintas, sendo que no total foram respondidos 60 questionários distribuídos pelos 15 participantes.

TABELA I NÚMERO DE QUESTIONÁRIOS EM FUNÇÃO DA COMBINAÇÃO DE ALERTAS, CENÁRIOS E DE CARGA DE TRABALHO

Avaliações	A baixa	A alta	B baixa	B alta	Total
Com alertas	7	7	8	8	30
Sem alertas	8	8	7	7	30
Total	15	15	15	15	60

Para realizar este experimento foi utilizado o delineamento por blocos incompletos balanceados (BIBD) [4]. Tal escolha foi feita porque não era possível o mesmo militar realizar o mesmo cenário com alertas e sem alertas, ou seja, não era possível realizar todas as combinações dos tratamentos em cada bloco. Neste experimento consideramos como tratamento os alertas e as cargas de trabalho, e como bloco os cenários e os militares participantes. A Tabela III mostra como foi delineado o experimento.

III. RESULTADOS DA PESQUISA

A pontuação SAGAT, colhida dos questionários, pode ser visualizada na Tabela II. Para o experimento ela variava de 0 a 12. A ordem dos cenários e o uso de alertas foram definidos de forma aleatória dentre os quinze participantes.

TABELA II BIBD PARA ALERTAS E CARGA DE TRABALHO

		1		2		3		4		5		6		7		8	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Com alertas	Baixa carga	8,64	-	-	6,36	4,56	-	-	5,28	6,6	-	-	8,28	4,8	-	-	4,8
	Alta carga	6,36	-	-	6,24	2,52	-	-	6,12	6,36	-	-	5,28	6,6	-	-	3,12
Sem alertas	Baixa carga	-	6,96	11,88	-	-	3,36	5,04	-	-	6,24	9,96	-	-	4,56	3,96	-
	Alta carga	-	8,4	9	-	-	0,6	5,04	-	-	7,32	9,84	-	-	6,96	6,84	-
		9		10		11		12		13		14		15			
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B		
Com alertas	Baixa carga	5,52	-	-	7,08	6	-	-	10,44	7,92	-	-	7,68	-	8,76		
	Alta carga	5,76	-	-	5,16	7,92	-	-	8,88	9,48	-	-	6,96	-	6,24		
Sem alertas	Baixa carga	-	7,56	9,48	-	-	7,56	9	-	-	8,16	9,12	-	7,8	-		
	Alta carga	-	6,84	9	-	-	9,48	6,48	-	-	12	9,36	-	9,6	-		

Para a análise estatística do BIBD foi assumido que a=4 tratamentos, referentes às condições de alertas e carga de trabalho; e b=30 blocos, referentes aos participantes e aos cenários. Cada bloco contém k=2 tratamentos, cada

tratamento ocorre r=15 vezes e existem N = a.r = b.k = 60 observações. O parâmetro λ=5 pode ser obtido pela Equação (1):

$$\lambda = \frac{r(k-1)}{a-1} \tag{1}$$

O modelo estatístico para o BIBD é

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \tag{2}$$

Onde y_{ij} é a i-ésima observação do j-ésimo bloco, μ é a média geral, τ_i é o efeito do i-ésimo tratamento, β_j é o efeito do j-ésimo bloco e ε_{ij} é a componente do erro aleatório. A variabilidade total é expressa pela soma:

$$SS_T = \sum_i \sum_j y_{ij}^2 - \frac{y_{..}^2}{N} \tag{3}$$

Onde y_{..} é o total de observações. A variabilidade total pode ser particionada de acordo com a Equação (4):

$$SS_T = SS_{Tratamentos(ajustado)} + SS_{Blocos} + SS_E \tag{4}$$

A soma dos quadrados dos tratamentos é ajustada para separar os tratamentos e os efeitos dos blocos. Este ajuste é necessário porque cada tratamento é representado em um conjunto diferente de r blocos.

A soma dos quadrados dos blocos é dada por:

$$SS_{Blocos} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^b y_{.j}^2 - \frac{y_{..}^2}{N} \tag{5}$$

Onde y_{.j} é o total no j-ésimo bloco. SS_{Blocos} tem b-1 graus de liberdade. A soma dos quadrados dos tratamentos ajustados é dada por:

$$SS_{Tratamentos(ajustado)} = k \sum_{i=1}^a \frac{Q_i^2}{\lambda a} \tag{6}$$

Onde Q_i é o total ajustado do i-ésimo tratamento:

$$Q_i = y_{i.} - \frac{1}{k} \sum_{j=1}^b n_{ij} y_{.j} \tag{7}$$

Com n_{ij} = 1 se o tratamento i aparece no bloco j e n_{ij} = 0 caso contrário. A soma total dos tratamentos ajustados sempre é zero, e SS_{Tratamentos(ajustado)} tem a-1 graus de liberdade. A Tabela III mostra os resultados da análise de variância.

TABELA III ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Fonte da variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Média quadrática	F0
Tratamentos (ajustado)	6,6	3	2,2	1,27
Blocos	235,44	29	-	
Erro	46,6	27	1,73	
Total	288,644	49		

Como o valor de $F_{0,05;3;27} = 2,96$ (valor tabelado da distribuição F com α de 5% e graus de liberdade 3 e 27) é maior que F_0 não podemos rejeitar a hipótese nula, ou seja, a variação dos alertas e das cargas de trabalho não tem um efeito significativo na consciência situacional.

Neste trabalho, um software estatístico foi utilizado para a realização de todos os cálculos e análises [5]. O “R” é um software “open source”, “freeware”, que está se tornando um padrão no mundo acadêmico.

A fim de verificar a influência dos demais componentes no fenômeno foi conduzida uma análise de variância (ANOVA) separando como fatores os alertas e carga de trabalho e como blocos o cenário e os militares participantes, obtendo-se o resultado apresentado na Fig. 1.

```
> model = aov(pontos~cenario+militar+carga*alerta)
> summary(model)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
cenario	1	5.257	5.257	2.5284	0.119496
militar	14	178.175	12.727	6.1211	2.596e-06 ***
carga	1	0.216	0.216	0.1039	0.748851
alerta	1	15.569	15.569	7.4883	0.009139 **
carga:alerta	1	4.182	4.182	2.0113	0.163691
Residuals	41	85.246	2.079		

Fig. 1. Resultado da análise de variância através do software “R”

O resultado computacional aponta que os cenários A e B podem ser considerados equivalentes ($p > .05$), o que significa que os cenários, apesar das simulações distintas, não influenciaram nos resultados.

A pontuação entre os militares foi muito diferente ($p < .05$). O fato de eles serem considerados como bloco foi importante para que a influência dessa diferença recaísse nos erros aleatórios. O gráfico de “boxplot” apresentado na Fig. 2 mostra a variação da pontuação de cada militar. O militar 3 chama a atenção pela sua baixa pontuação em relação aos demais.

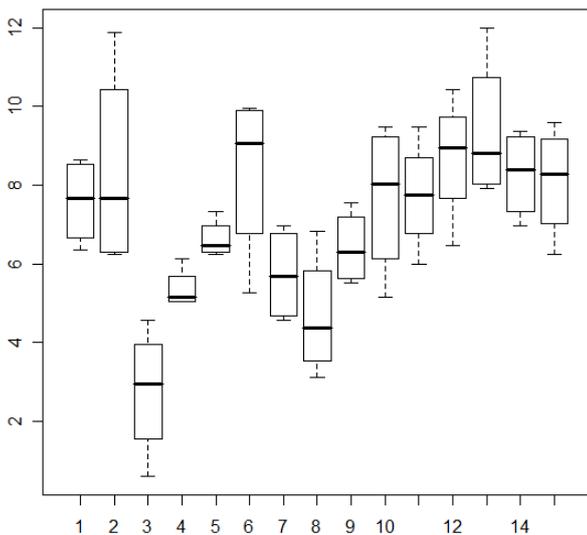


Fig. 2. “boxplot” da pontuação dada pelos participantes.

O fator carga de trabalho não apresentou diferença ($p > .05$), ou seja, apesar da quantidade de eventos em alta carga de trabalho ser superior à quantidade de eventos em baixa carga, a pontuação dos questionários foi equivalente nas duas condições.

O resultado aponta uma diferença entre o uso de alertas ($p < .05$) para uma margem de erro de 5%. Observando o gráfico “boxplot” apresentado na Fig. 3 a pontuação sem o uso de alertas foi superior ao uso de alertas, ou seja, o uso de alertas representou uma menor consciência situacional dos participantes.

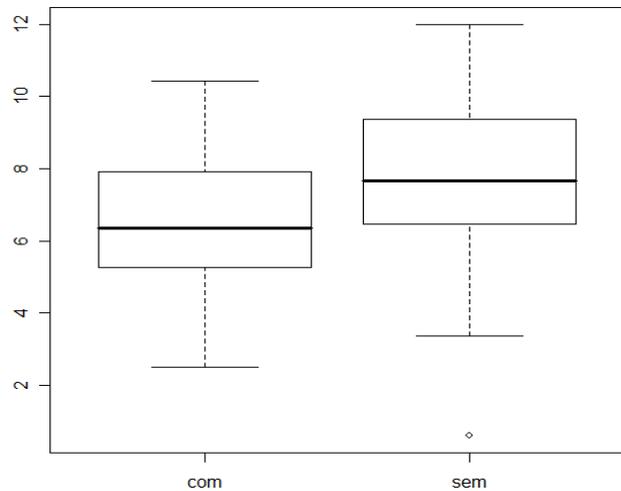


Fig. 3. “boxplot” da pontuação com e sem alertas.

A ANOVA evidenciou uma diferença entre as condições de alertas no experimento, mas pouca interação com a carga de trabalho. Baseado nisso resolvemos investigar mais o fenômeno para saber o que estava acontecendo.

Fazendo uma análise dos gráficos de aleatoriedade dos resíduos e normalidade dos resíduos, exibidos no Apêndice A, não identificamos nenhuma tendência e consideramos o modelo válido.

Um resultado interessante foi obtido quando geramos um gráfico boxplot dos alertas e da carga de trabalho, conforme a Fig. 4.

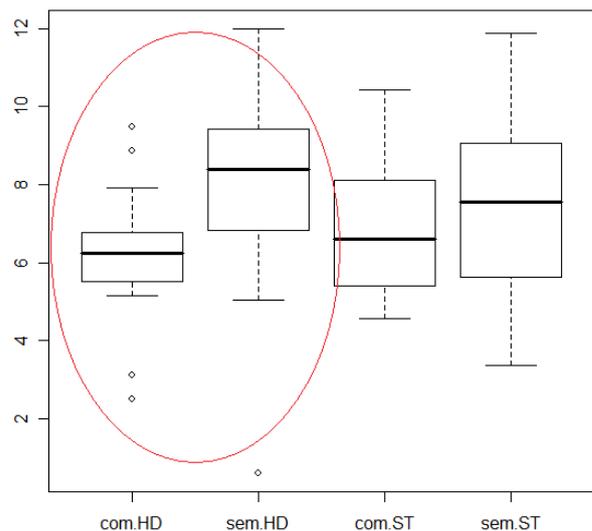


Fig. 4. “boxplot” da pontuação alertas x carga de trabalho.

O gráfico mostra a pontuação SAGAT para a combinação das amostras com e sem alertas e com carga de trabalho baixa (ST) e carga de trabalho alta (HD). Chamou à atenção a diferença do uso de alertas quando os participantes estavam submetidos a uma alta carga de trabalho (HD). Sugerindo que

a diferença entre a pontuação relativa aos alertas é mais enfatizada quando as condições de carga de trabalho são altas.

No gráfico da interação entre alertas e carga de trabalho, Fig. 5, percebemos que existe uma interação entre os fatores, e realmente quando a carga é alta (HD) é possível verificar a grande amplitude da pontuação SAGAT.

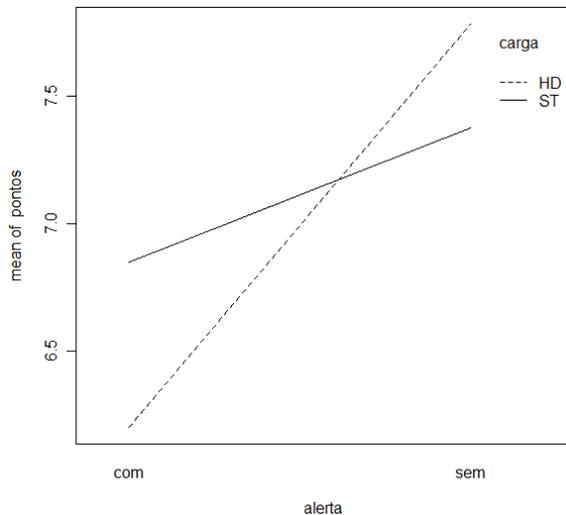


Fig. 5. interação alerta x carga de trabalho.

IV. DISCUSSÃO

O trabalho executado permitiu uma análise interessante do uso de um sistema de alertas para a consciência situacional de operadores de sistemas de apoio à decisão. O cálculo manual do BIBD, não evidenciou uma diferença estatisticamente significativa entre usar alertas ou não, porém com o resultado da ANOVA pudemos isolar alguns fatores que estavam influenciando o resultado e perceber que sobre alta carga de trabalho essa diferença era significativa.

Inicialmente imaginava-se que o uso de alertas para informar sobre eventos importantes ia aumentar o ganho de informações, e com isso contribuir para o aumento da CS. Mas os testes não mostraram isso. Sob condições de alta carga de trabalho, os alertas diminuíram a CS. Os alertas que surgiam na tela atrapalhavam o monitoramento, e isso prejudicava a visão geral do operador naquele momento.

A escolha do delineamento por blocos incompletos balanceada foi necessária devido às características da coleta de informações. O delineamento mostrou-se satisfatório e corroborou os resultados obtidos por outros autores [6].

V. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho mostrou o resultado de um experimento que mediu a variação de CS em sistemas digitais de C2 quando utilizavam um sistema que gera alertas automáticos. A CS foi medida usando o software “C2 em Combate” e com um sistema de alertas ativado e desativado. Para modelagem do experimento optou-se pelo delineamento por blocos incompletos balanceados usando as condições de alertas e cargas de trabalhos como tratamento e os cenários e os operadores como blocos. Este modelo foi escolhido pelas condições impostas pelo experimento que não permitiam que um mesmo operador utilizasse o mesmo cenário duas vezes.

Verificou-se, de um modo geral, que as condições de alertas habilitados ou desabilitados interferiam um pouco na CS. Porém sob condições de alta carga de trabalho, exclusivamente, os alertas prejudicavam a concentração do operador, o que atrapalhava a sua CS.

Alertas podem ser úteis em sistemas de comando e controle, mas atenção especial deve ser dada sobre quando usá-los em situações de alta carga de trabalho mental. Ao desenvolver esses sistemas o analista deve preocupar-se com essas condições.

Uma preocupação particular foi a confecção dos questionários SAGAT para assegurar que os participantes fossem efetivamente avaliados quanto à sua CS. Cada questionário foi construído de acordo com o cenário correspondente. Um exemplo de perguntas do questionário SAGAT esta no Apêndice B.

Os resultados desse trabalho podem ajudar desenvolvedores e analistas de sistemas de comando e controle, pois sugerimos especial atenção na implementação de respostas automáticas em sistemas sujeitos a altas cargas de trabalho mental.

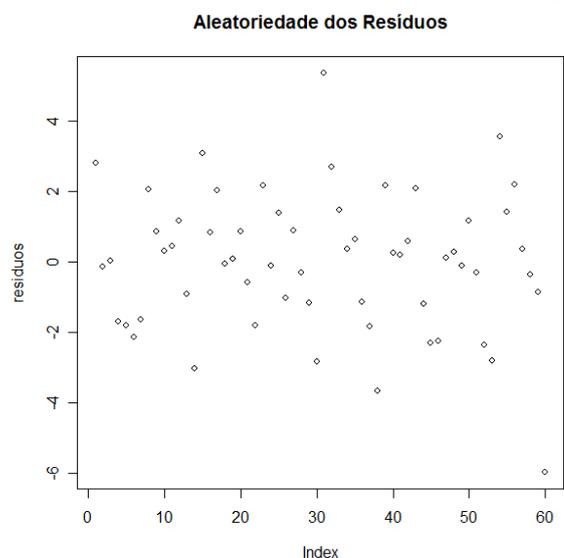
Para trabalhos futuros, sugerimos ainda maiores investigações se a maneira ou a posição desses alertas influenciam na CS percebida. A escolha da forma de apresentação dos alertas foi por uma janela textual no centro da tela, para garantir que os alertas não passassem despercebidos pelo operador. Porém, podem-se investigar novas formas de exibir os alertas.

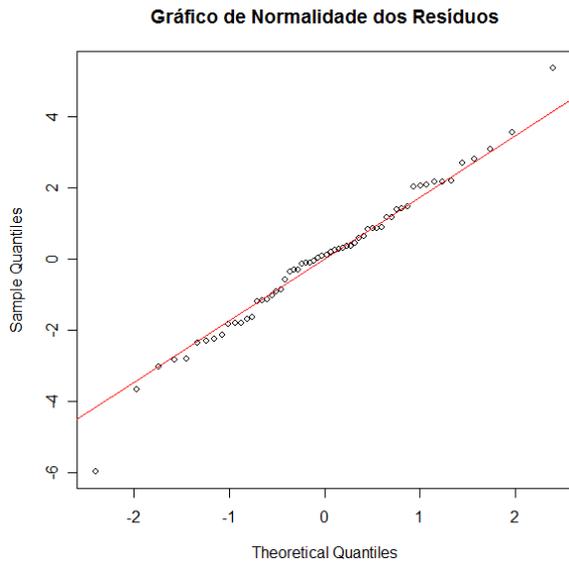
Uma segunda sugestão seria diversificar o perfil dos participantes, experimentando em operadores iniciantes, experientes, jovens, especialistas, etc, a fim de verificar se os efeitos dos alertas auxiliam no aprendizado da ferramenta de comando e controle.

Outra sugestão ainda seria propor outras formas de alteração de carga de trabalho que não sejam apenas a quantidade de eventos por unidade de tempo.

APÊNDICE A

Gráficos de resíduos de acordo com a ANOVA da Fig. 1.





APÊNDICE B

Exemplo de Perguntas do Questionário SAGAT

1. Qual a localização da Zona de Desembarque?

(A) (B) (C) (D) (E) (Nenhum)
2. Qual a localização do Objetivo O1?

(A) (B) (C) (D) (E) (Nenhum)
3. Quantos Inimigos estão a 7 km da posição de tua organização?
0 1 2 3 4 5 6 7+
4. Qual a sua missão?
 - a. Realizar um Movimento Retrógrado p trocar Espaço por Tempo.
 - b. Destruir as tropas inimigas.

- c. Realizar o ressuprimento Classe I das tropas que estão mantendo a Cabeça de Ponte.
 - d. Realizar um Assalto Aeromóvel p Conquistar Entroncamento de Rodovias.
 - e. Nenhuma das anteriores.
5. Quantos eixos de progressão foram identificados?
0 1 2 3 4 5 6 7+
 6. Qual o valor da tropa que está realizando o Assalto Aeromóvel?
Pelotão Companhia Batalhão Brigada Divisão
 7. Quais os pontos fortes do inimigo?
 - a. Defesa em posição de comando.
 - b. Tropas em maior número.
 - c. Tropas mais adestradas/especializadas.
 - d. Possui uma artilharia pesada.
 - e. Nenhuma das anteriores.
 8. Localize no mapa os objetivos O2 e O3 a serem conquistados.



9. Qual uma possível manobra de ataque.
 - a. Realizar um desbordamento pelo flanco esquerdo.
 - b. Realizar um Ataque frontal pelo centro.
 - c. Realizar uma manobra de envolvimento das tropas inimigas.
 - d. Realizar um Movimento Retrógrado p trocar Espaço por Tempo.
 - e. Nenhuma das anteriores.
10. Qual a finalidade de realizar um Assalto Aeromóvel para Conquistar e Manter as elevações que dominam o Entroncamento de Rodovias?

REFERÊNCIAS

- [1] Bowers, C. A., Oser, R. L., Salas, E. & Cannon-Bowers, J. A. (1996). Team performance in automated systems. In R. Parasuraman and M. Mouloua (Eds.), *Automation and human performance: Theory and applications*. (pp. 243-263). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- [2] Parasuraman, R., Mouloua, M., Molloy R. & Hilburn, B. (1996). Monitoring automated systems. In R. Parasuraman and M Mouloua (Eds.), *Automation and human performance: Theory and applications*. (pp. 117-136). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- [3] Endsley M. R.. Direct measurement of situation awareness: Validity and use of SAGAT. In M. R. Endsley and D. J. Garland (Eds.), *Situation Awareness Analysis and Measurement*. (pp. 147-173) Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.2000
- [4] Montgomery, D. C. Design and Analysis of Experiments, John Wiley & Sons, 5th edition, New York, 2001.
- [5] The R Project for Statistical Computing version 2.6.2 (2008-02-08). Disponível em: <http://www.r-project.org/>, Acesso em: 04 de abril de 2009.
- [6] Barnett J. S. and Ross J.M. Automated Feedback and Situation Awareness in Net-Centric C3, United States Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences, Fevereiro 2008.