

PESQUISA OPERACIONAL (*)

Cel Eng (QEMA)
JOFFRE SAMPAIO

S U M Á R I O

1 — GENERALIDADES

2 — AS IDEIAS A FIXAR

- 1^a — A PO é um instrumento da Organização Científica do Trabalho — Atende, em especial, a problemas complexos fora do alcance das técnicas correntes.**
- 2^a — A PO encara o problema como um todo, ao contrário de outros tipos de pesquisa.**
- 3^a — A PO pode apresentar uma solução completa ou apenas quantificar o que fôr quantificável no problema — Não substitui, de qualquer maneira, a decisão do chefe.**
- 4^a — A PO desenvolveu-se e foi estruturada a partir da 2^a GG.**
- 5^a — São problemas típicos da PO: os de estoque, da substituição, das filas-de-espera, da distribuição, da competição e problemas combinados.**
- 6^a — A fase mais importante da PO é o estabelecimento do modelo.**
- 7^a — A PO está sendo cada vez mais empregada nas FA dos outros países e no meio civil de todo o mundo.**

3 — CONCLUSÕES

Necessidade de empregar a PO em nossas FA.

1 — GENERALIDADES

Desde o comêço da história, o homem percebeu que o trabalho mal organizado representa um desperdício econômico e também um desperdício de vida.

Daí sua constante preocupação em organizar o esforço diário, com a finalidade de produzir mais bens e para poder gozar de um maior bem-estar.

Durante séculos e séculos o progresso obtido neste terreno foi, embora contínuo, muito lento. O estudo dos fatôres que afetam a execução do trabalho, ou dos fatôres que possam vir a afetá-la, era de modo geral conduzido apenas pelo bom senso e de modo disperso e empírico.

(*) N. R.: Conferência proferida na ESG, em 1967. Esta publicação é feita por iniciativa da Revista, dado a relevância e atualidade do assunto.

Os resultados alcançados, neste longo período, foram devidos, mais particularmente, ao desenvolvimento da tecnologia em determinados setores e aos lampejos de cérebros privilegiados que, em esforços normalmente isolados, criavam ou aperfeiçoavam métodos para realização de tarefas.

Sómente no fim do Século XIX surgiram, com Frederick Taylor, seguido de diversos outros estudiosos, as primeiras tentativas para sistematizar, em extensão e profundidade, a organização do trabalho.

Os novos estudos tiveram como motivação a pressão de uma crescente necessidade dos dirigentes de empresas, a braços com uma complexidade cada vez maior de suas organizações e conscientes da repercussão profunda da solução boa ou má de seus problemas.

Taylor, considerado o fundador da nova matéria, deu-lhe o nome de "administração científica", querendo com isto enfatizar sua convicção de ser possível administrar, dirigir ou gerir com sucesso, orientando as ações por normas ou processos científicos e adotando, enfim, uma atitude mental científica, de investigação e pesquisa de leis, no estudo e na observação dos fenômenos do trabalho.

Dêsse setor restrito da atividade humana — o setor da direção — ampliam-se a concepção, o interesse e os esforços para todos os demais campos da aplicação do trabalho e de tal maneira que, hoje, muitos autores não hesitam em denominar de "Ciência da Organização", ou de "Organização Científica do Trabalho", ao conjunto de conhecimentos já acumulados a respeito.

A finalidade do estudo dessa ciência é, no dizer de Cezar Catanhede, "substituir, com relação aos fenômenos do trabalho, a opinião pelo conhecimento através da aplicação de métodos científicos à organização das atividades humanas, com a preocupação de obter o máximo de produção com o mínimo de esforço, ou seja, o máximo de rendimento".

2 — PESQUISA OPERACIONAL — AS IDÉIAS A FIXAR

Dentro desta orientação de racionalizar o trabalho, para obter uma melhor produção com menores gastos de recursos, foi desenvolvido um método científico para auxiliar na solução de problemas específicos, cujas características os colocam fora do alcance das técnicas correntes até então conhecidas.

Fixemos, então, esta primeira idéia sobre Pesquisa Operacional:

Uma organização civil ou militar possui, normalmente, à sua disposição todo um conjunto de técnicas destinadas à utilização racional dos recursos, visando ao aumento da produtividade em suas tarefas. No de correr das atividades podem, entretanto, surgir certos tipos de problemas para os quais o chefe necessita de um método especial — a Pesquisa Operacional — que aparece assim como um desdobramento, uma evolução, um instrumento a mais da Organização Científica do Trabalho.

Procuremos ilustrar a colocação da Pesquisa Operacional, em relação a esta nova ciência, com um exemplo vivido atualmente pelos estagiários do CEMCFA.

Está sendo estudado, nesse curso, a criação de um Comando Combinado na Amazônia, com a finalidade de coordenar a ação dos elementos do Exército, da Marinha e da Aeronáutica localizados naquela área.

A criação do comando combinado parte do pressuposto de que, unidas sob um comando único, aquelas fôrças poderão cumprir suas tarefas em melhores condições, com maior rendimento do que o fazem atualmente.

Vamos admitir, para configuração de nosso exemplo, que o Comando Supremo decidisse aproveitar o trabalho do CEMCFA, determinando a instalação, na Amazônia, do Comando Combinado estudado.

Esse CCA organizaria, em Belém, seu Quartel-General para cujo funcionamento seriam adotadas as normas e técnicas tão bem conhecidas por todos nós sobre a distribuição do trabalho por suas diferentes seções e serviços, sobre a administração do pessoal, sobre a organização dos fichários e arquivos etc. Esse conjunto de normas e técnicas constitui um capítulo da Organização Científica do Trabalho aplicado às atividades militares, da qual faz parte a técnica dos estudos de estado-maior.

Uma vez instalado, e para justificar a sua criação, o Comando Combinado deveria iniciar imediatamente a coordenação dos meios existentes nas fôrças terrestres, fluviais e aéreas de modo a tirar delas o melhor rendimento possível, no cumprimento das missões gerais e de cada fôrça em particular.

Por exemplo, na parte referente à assistência médica poderia ser determinada a fusão dos três hospitais militares localizados em Belém, o que constituiria simples medida de organização do trabalho, possível de ser efetivada mediante simples estudo de estado-maior e aplicação de técnicas e normas correntes nos serviços de Saúde das três Fôrças.

Poderia, também, ser ordenada a integração das comunicações, de modo que as aeronaves, as embarcações e as instalações de terra pudessem livremente comunicar-se entre si. Seria outra simples medida de organização do trabalho a exigir apenas outro estudo de estado-maior e os conhecimentos técnicos dos especialistas das três Fôrças.

Como estas, muitas outras medidas poderiam ser levadas a efeito pelo pessoal militar das organizações existentes e com o uso apenas do bom senso e dos conhecimentos profissionais tradicionais.

Outros problemas poderiam surgir, entretanto, com tais complexidades e características que iriam exigir o emprêgo de métodos especiais.

Por exemplo: uma das tarefas mais importantes e mais difíceis, para o CCA, seria o apoio logístico às organizações localizadas na imensa fronteira amazônica com os países vizinhos. Admitamos que o recebimento, na Zona Aérea e no Distrito Naval, de novos tipos de aviões e de embarcações, deixasse patente a possibilidade de o apoio logístico ser feito 40% por via aérea e o restante por via fluvial; que as fontes de suprimentos sejam Belém, Manaus, Pôrto Velho e Tabatinga; que cada organização militar, localizada na fronteira, deva ter estocados cerca de uma

centena de itens de suprimento e que os estoques de cada item correspondam a número diferente de dias, de acordo com necessidades variáveis.

O problema consistiria, então, em organizar as bases de suprimentos e o sistema de transporte, de modo que a solução para o apoio logístico fôsse aquela mais eficiente e mais econômica.

Não há dúvida de que o Estado-Maior do Comando Combinado poderia, com seus próprios meios, encontrar uma solução para o problema. Apenas não se poderia ter a certeza de que essa solução fôsse a melhor, tendo em vista a importância e o vulto dêsse apoio logístico e, considerando ainda a escassez dos recursos disponíveis, qualquer falha na referida solução teria forte repercussão na eficiência geral das forças componentes do CCA.

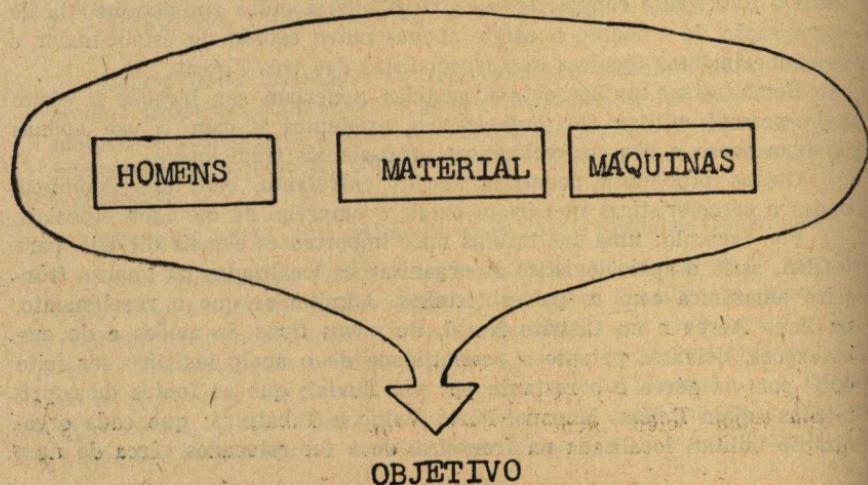
O aconselhável seria, portanto, a realização de uma pesquisa operacional com o objetivo de se encontrar a solução ótima.

2^a IDÉIA A FIXAR

Diferenciando-se completamente dos outros tipos de pesquisas, a PO exerce uma atividade global e busca a solução para um problema, analisando-o sob todos os pontos de vista.

Uma PO típica é aquela que encara um conjunto de homens-material-máquinas, realizando uma determinada operação.

Os problemas dos homens seriam estudados por um pesquisador sociólogo ou psicólogo; os problemas de aumentar o rendimento das máquinas ou a qualidade do material seriam tarefas da pesquisa tecnológica. Já o pesquisador operacional trataria da operação como um todo, ou seja, da atividade integrada do homem, da máquina e do material na busca de um objetivo perfeitamente definido.



Além de encarar a operação como um todo, uma pesquisa para ser operacional necessita, ainda, apresentar as seguintes características:

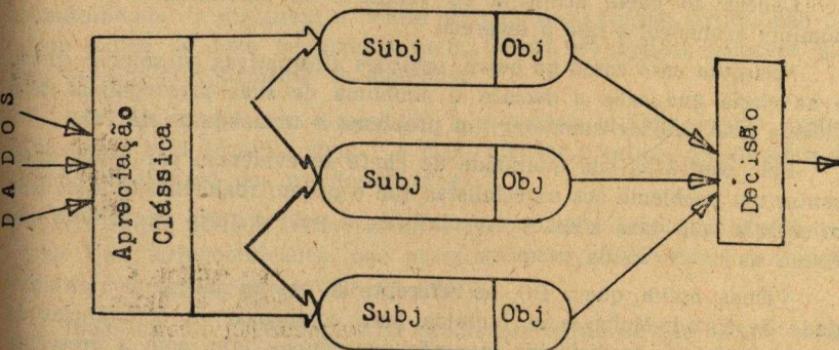
- busca da “solução ótima” ou a “otimização” das operações pela “maximização” da eficiência e ganho e “minimização” dos custos e riscos;
- a aplicação de método científico, com utilização ampla de técnicas e instrumentos científicos;
- atividade desenvolvida no nível ou escalão de chefia, ou comando, que permita a perspectiva global do problema;
- desenvolvimento e utilização de operações experimentais de forma semelhante a outras atividades científicas e tecnológicas;
- trabalho de equipes mistas, multiprofissionalizadas, para a solução dos complexos problemas de operações;
- auxílio no processo da Decisão, pelo oportuno preparo de recomendações ou sugestões sobre operações em curso ou projetadas.

3^a IDÉIA A FIXAR

A PO nem sempre apresenta uma solução completa para o problema considerado. No caso mais comum, ela quantifica determinados fatores existentes no âmago do problema, auxiliando o chefe a tomar sua decisão.

Consideremos o quadro da figura abaixo que representa o mecanismo da decisão.

LINHAS DE AÇÃO

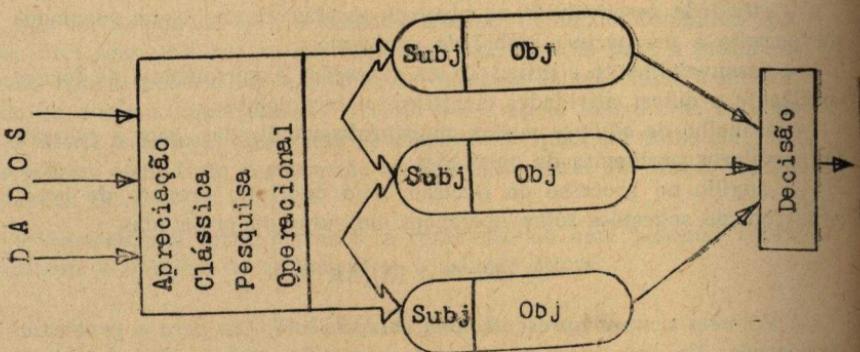


Os dados de um problema são estudados e desse estudo resultam certas linhas de ação que, analisadas e comparadas entre si, são levadas ao julgamento daquele que deve decidir. Na realidade, essas linhas de ação contêm uma parte objetiva — cujo julgamento é bastante simples — e uma parcela subjetiva para a qual o chefe deve pôr em jogo o seu bom senso, sua experiência e sua intuição.

Se introduzirmos a PO nesta estrutura, a consequência será a ampliação da base objetiva das linhas de ação, pois os recursos científicos da PO permitem que se “trabalhem” outros dados e que se aja com mais profundidade sobre alguns deles.

O chefe poderá, desta maneira, decidir com maior conhecimento das consequências das linhas de ação e seu julgamento será facilitado por se basear, em proporção maior, em elementos objetivos e concretos.

LINHAS DE AÇÃO



Em grande número de casos, quando todos os dados são conhecidos e mensuráveis, a PO pode ir mais a fundo do que este esquema sugere. Não haverá, então, alternativa a apresentar mas uma solução apenas que, sob um critério científico, é realmente a melhor.

Caberá ao chefe acolhê-la ou recusá-la se outros fatores, de seu domínio exclusivo, a isso o levarem.

Mas num caso como no outro, soluções alternativas ou solução única, é ao chefe que cabe a decisão e nenhuma de suas prerrogativas será violada pelo fato de submeter um problema a uma equipe da PO.

Pelo contrário, sua qualidade de chefe se evidencia por saber apresentar um problema aos especialistas que o podem realmente ajudar, pela orientação que dará a esses especialistas, e pelo critério de valôres que fixará na execução da pesquisa.

Vemos, assim, que a PO, no referente ao campo militar, é uma atividade de Estado-Maior e aí incluída para compensar as deficiências de seus integrantes tradicionais que não conseguem hoje, com a crescente complexidade dos problemas dos tempos de paz ou de guerra, abranger todos os fatores que exercem influência sobre a decisão.

O confronto com uma situação muito conhecida pode resumir o entendimento do que representa a PO. Assim, poderíamos dizer que a PO faz, em relação à decisão, aproximadamente o mesmo papel dos exames clínicos e das radiografias na diagnose. Tais elementos não podem substituir a experiência, os conhecimentos profissionais do médico, o seu "olho clínico". Mas prestam-lhe um valioso auxílio, medindo o que é mensurável, determinando o que é determinável para que o médico sómente tenha que empregar o fator pessoal naquilo que não pode ser objetivamente definido.

Lógicamente, a função do médico não diminuiu de importância mas, ao contrário, passou a atingir áreas maiores e a dar diagnósticos com maior autoridade ante a base quantitativa proporcionada pelos exames clínicos e pelas radiografias.

Em grande número de moléstias, como em grande número de problemas militares, encontram-se aspectos que sómente podem ser alcançados pela experiência e pela inspiração do médico ou do chefe. A êstes caberá a palavra final do diagnóstico ou da decisão.

Mas, também, num caso como no outro há questões em que as radiografias e exames clínicos, ou a PO, podem apresentar uma solução completa para o problema. Caberá, então, ao médico ou ao chefe aceitá-la ou não.

4^a IDÉIA A FIXAR

A PO é mais um dos muitos conhecimentos humanos desenvolvidos pela guerra. Embora ensaiasse seus primeiros passos nas vésperas da 2^a GG, começou realmente a ter seu emprêgo sistematizado quando a Inglaterra, lutando com imensas dificuldades para fazer face à superioridade alemã, resolveu chamar sábios civis para auxiliarem os estados-maiores na busca de solução para seus complexos problemas militares.

Os comandos ingleses, contando com meios reduzidos e com a responsabilidade de dirigirem a defesa do país em situação crítica, não podiam darse ao luxo de errar e nem mesmo de aplicar soluções que não fôssem provadamente as melhores.

Sob esta motivação, começaram a organizar equipes de PO mistas, de oficiais e de técnicos civis, e a elas entregar o estudo de questões da alçada tradicional dos estados-maiores.

Os êxitos obtidos incentivaram emprêgo mais amplo, inclusive por parte dos norte-americanos, que passaram a organizar também equipes de PO, logo após sua entrada na guerra.

Inúmeros são os exemplos de problemas militares que foram, então, resolvidos com o auxílio de novo método científico e que são de citação obrigatória em todo estudo de Pesquisa Operacional.

Rendamo-nos, também, a essa praxe não só como um elemento a mais de compreensão da PO, mas também como uma homenagem àqueles corajosos e lúcidos desbravadores dêsse novo campo de aplicação científica, de tão grande utilidade para as atividades humanas.

Detenhamo-nos, portanto, no famoso caso do bombardeio das rampas das bombas voadoras.

O problema consistia em determinar qual o melhor tipo de avião para o bombardeio das rampas de lançamento daqueles mísseis.

Os pesquisadores fizeram uma análise estatística das perdas infligidas aos diferentes tipos de aviões de bombardeio em ataques àquelas rampas. O quadro esquemático destas perdas era o seguinte:

Tipos de aviões	Número de sortidas	Perdas de aviões	Perdas de equipagens	Número de aviões perdidos por sortida (média)	Perdas de equipagens por sortida (média)
Lancaster ..	6.152	122	99	0,018	0,016
Halifax	6.623	36,5	20	0,005	0,003
Liberator ..	5.008	144	27	0,013	0,0034
Mitchell ..	2.297	83	13	0,010	0,0056
Mosquito ..	2.166	30	19	0,0015	0,0018

Além dêstes dados, inúmeros outros foram levantados e, em face dos resultados, os pesquisadores indagaram: qual o critério para a escolha entre os diferentes tipos de aparelhos?

A eficiência da missão podia ser caracterizada pelas relações:

número de sortidas

ou

perdas de equipagem e de aviões

tonelagem de bombas sobre o objetivo

ou

perdas de equipagens e de aviões

tonelagem de bombas sobre o objetivo

custo em horas de trabalho gastas em aviões abatidos.

Ora, a análise das condições gerais da situação na Inglaterra, no momento, mostrava que, se as equipagens eram difíceis de ser substituídas, os aviões o eram igualmente, em razão da falta acentuada de mão-de-obra especializada.

Decidiu-se, então, caracterizar a eficiência de uma missão pela relação entre a tonelagem de bombas lançadas sobre o objetivo e o custo em horas de trabalho realmente gastas com aviões amigos abatidos.

Convém assinalar que sómente a colocação da equipe de pesquisadores num escalão mais elevado pôde permitir a escolha de tal critério. É fácil perceber que este mesmo grupo situado em um escalão mais baixo não teria encarado com prioridade as dificuldades com a mão-de-obra especializada e daria, sem dúvida, preferência a um dos outros dois critérios. E êstes os teriam conduzido a recomendar o avião Mosquito, o que teria sido um êrro.

Com efeito, a combinação dos diferentes fatores liberados pela análise podia ser sintetizada em um modelo matemático extremamente sim-

ples. Assim, se A é o número de aviões perdidos, em média, por sortida; H, o número de aviadores perdidos por sortida; C, o custo de manutenção de um avião após cada sortida (custo expresso em homem-mês de trabalho); B, a tonelagem de bombas lançadas sobre o objetivo, a função cujo mínimo deve ser determinado é

$$f = \frac{1}{B} (AC + HE + G)$$

Ora, esta função era mínima para os Halifax e, assim, foram ~~em~~ pregados êstes aparelhos de preferência aos Mosquitos.

5ª IDÉIA A FIXAR

Com o desenvolvimento que teve a PO após a guerra, principalmente no meio civil, torna difícil definir-se exatamente seu campo de aplicação, e enumerar os domínios que lhe pertencem.

Seu emprego mais convencional, entretanto, é em problemas dos seguintes tipos:

- problemas dos estoques
- problemas de substituição
- problemas das filas-de-espera
- problemas da distribuição
- problemas da competição
- problemas combinados

Esses tipos de problemas aparecem com freqüência nas atividades das grandes empresas civis e, também, no campo de ação das Fôrças Armadas, alguns dêles no setor da logística e outros no da tática.

Vejamos alguns esclarecimentos sobre cada um desses problemas, inclusive com uns poucos exemplos:

Problemas dos estoques

Poderíamos representar este tipo de problema pela seguinte questão esquemática e, evidentemente, fictícia:

"A Fábrica de Munições de Realengo deve fornecer ao Exército uma quantidade de N toneladas por mês de munição de um determinado tipo. Ela tem possibilidades de produzi-la num ritmo de P toneladas por mês (sendo $P > N$). A estocagem de munição, na Fábrica, implica naturalmente em dispêndio de mão-de-obra, em vigilância, em ocupações de locais que seriam úteis para outras atividades, etc. Representemos o custo de estocagem por C-1; o lançamento de uma produção, pelo tempo gasto para preparar as máquinas, adaptações no pessoal, etc., representa também, um custo, digamos, C-2.

Pergunta-se: com que freqüência deve a Fábrica lançar a produção desse tipo de munição e que quantidade deve produzir de cada vez — a fim de haver o menor custo operacional?"

Vamos omitir os cálculos matemáticos decorrentes. Diremos, apenas, que a Pesquisa Operacional poderá esclarecer perfeitamente o Diretor da Fábrica e, com a base quantitativa que fornecer, auxiliá-lo neste problema de gestão.

Problema da substituição

Trata-se, neste tipo de problema, de prever o momento da substituição de materiais que se desgastam, a fim de tornar mínimas as despesas decorrentes:

- do custo de um novo material,
- da manutenção do material antigo,
- da perda de rendimento do sistema, enquanto o material não for substituído.

É, pois, uma questão fundamental dentro da atividade de Manutenção.

Problemas das Filas-de-Espera

Toda uma técnica se desenvolveu para estudar científicamente as filas-de-espera. Busca-se, em última análise, organizar um serviço a fim de que não haja fila-de-espera para os que dêle se utilizam e, também, para que o serviço não fique ocioso à espera de clientes.

Vários problemas de interesse das Forças Armadas poderiam ser resolvidos a partir dessa técnica. Lembramos especialmente a chegada de pessoas aos guichês, a entrada de papéis numa repartição, os artigos a reparar numa oficina, de aviões a descer em um aeroporto ou de navios a descarregar em um cais.

A nós, leigos, custa acreditar que existe uma complexa técnica científica para resolver questões sobre filas-de-espera. Mas é apenas aparente a simplicidade com que a coisa se nos apresenta.

Estudos recentes, baseados na teoria das probabilidades, permitem-nos tomar conhecimento da existência de propriedades e componentes inteiramente ocultos na formação de uma fila-de-espera. Há pouco tempo, por exemplo, e isto vai citado apenas como curiosidade, Kendall demonstrou esse teorema desconcertante: "Se uma vendedora, em um estabelecimento comercial, pode atender 10 clientes por hora e se 10 clientes chegam na primeira meia hora, uma fila-de-espera irá formar-se e o número real de clientes que serão atendidos será inferior a 10."

Boa parte dos problemas que afligem os chefes, militares ou civis, possuem setores ocultos que, antes, eram percorridos por alto pelo nosso bom senso e intuição mas que agora são escarpelados pelos pesquisadores operacionais que de lá tiram dados precisos, determináveis e mensuráveis.

É fácil compreender o quanto um pesquisador operacional poderá fazer pelo nosso serviço neste capítulo das filas-de-espera.

Problema da distribuição

São as seguintes as características desse tipo de problema:

- a) Há uma série de operações a efetuar e várias maneiras de executar cada uma delas;
- b) Não se dispõe de recursos para executar cada uma das operações da maneira mais eficiente.

É uma questão, pois, de combinar recursos e operações, ou seja, distribuir os recursos pelas operações a fim de se obter — no conjunto — o máximo rendimento.

Vejamos um exemplo simples e sugestivo:

O Comando Estratégico de Bombardeiros recebeu a missão de paralisar a produção inimiga de carros de combate. Sabe-se que essa produção está concentrada em 4 fábricas, localizadas em cidades diferentes e que é suficiente destruí-las para interromper, realmente, a produção.

O limite de combustível para essa missão foi fixado em 200.000 litros. O número e as características dos bombardeiros disponíveis são os seguintes:

Tipo	Descrição	km/litro	Disponíveis
1	Pesado	1	48
2	Médio	1,5	32

As características dos alvos estão no seguinte quadro:

FÁBRICA	DISTÂNCIA DA BASE	PROBABILIDADE DE DESTRUÇÃO	
		Bomb Pesado	Bomb Médio
A	720	0,10	0,08
B	800	0,20	0,16
C	860	0,15	0,12
D	1.000	0,25	0,20

Questão: Quantos bombardeiros, de cada tipo, devem ser enviados para cada alvo a fim de se ter a máxima probabilidade de êxito?

Este problema, a Pesquisa Operacional poderia resolvê-lo pela técnica conhecida como Programação Linear, relativamente pouco complicada e já com largo uso no meio civil.

Problema da competição

Uma teoria fascinante foi desenvolvida para equacionar tais problemas. Trata-se da Teoria dos Jogos, lançada pelo matemático Von Neuman. Exporemos um caso muito simples, apenas como amostra desse tipo de problema.

Refere-se o exemplo em aprêço à luta travada entre o avião e o submarino, durante a última guerra.

Antes do emprêgo do radar para a localização de submarinos, a percentagem dos submersíveis afundados era de 40% e, quando os bombardeiros começaram a usar o radar, esta percentagem subiu para 80%.

Todavia, os submarinos começaram a usar receptores de radar para perceber, com antecipação, a aproximação de aviões equipados com radar. Em face desta medida, a percentagem de submarinos afundados reduziu-se ao nível de 20%.

O Comando Aéreo, em consequência, determinou imediatamente que os aviões deixassem de usar o radar e, desta maneira, esperava voltar ao nível anterior de 40%. Os resultados desta providência foram surpreendentes, pois se averiguou que aquela percentagem era de 70% e a explicação foi dada, complementarmente, pelo serviço de observações: os submarinos inimigos continuavam empregando os receptores de radar que, na nova situação, traziam grande desvantagem, já que os submarinos perdiam tempo precioso para recolher parte do material, antes da imersão.

Não levou muito tempo para o Comando dos Submarinos concluir que era contraproducente o uso de receptores de radar e, assim, mandou retirá-los, voltando ao índice de 40% de submersíveis afundados.

A situação pode ser resumida no quadro abaixo, em que aparecem os dois jogadores (o avião e o submarino) e as estratégias usadas por um e outro. É de notar que, na teoria dos jogos, o termo "estratégia" tem um sentido diferente do convencional, querendo significar "o modo de pôr em ação os meios disponíveis".

		S U B M A R I N O	
		<i>Não usa receptor de radar</i>	<i>Usa receptor de radar</i>
<i>AVIÃO</i>	<i>Estratégia</i>		
	<i>Não usa radar</i>	40%	70%
	<i>Utiliza radar</i>	80%	20%

É fácil deduzir que o Comando Aéreo terá todo o interesse em usar o radar algumas vezes para melhorar a percentagem de 40%, mas deve fazê-lo ao acaso. E isto é óbvio, pois se o Comando dos Submarinos conhecesse a lei ou regularidade estatística com que o Comando Aéreo estivesse utilizando o radar, teria uma vantagem efetiva, empregando os receptores nas mesmas oportunidades. E como o submarino admite que o avião usará esta estratégia, terá que usar também, ao acaso, o seu receptor de radar, para não dar toda a vantagem ao seu adversário.

O importante, então, é que cada comando saiba a proporção com que deve usar a sua aparelhagem, e isto é possível determinar por meio dos cálculos matemáticos da teoria dos jogos.

Assim, chamando-se de x e y as probabilidades respectivas, de não utilizar os aparelhos, que se podem tomar aproximadamente iguais às freqüências, o valor esperado de submarinos afundados é dado por $F(x, y) = 40xy + 70x(1-y) + 80y(1-x) + 20(1-x)(1-y)$.

Notar-se-á que o Comando Aéreo pode tornar máximo seu valor esperado fazendo $x = 2/3$, de modo independente do que realiza o Comando de Submarino ou, de maneira análoga, este comando pode tornar mínima a $F(x, y)$ se faz $y = 5/9$.

As estratégias supracitadas, fundadas no princípio "minimax", são ótimas do ângulo de visão de cada comando, no sentido de que se o avião não utilizar sua estratégia ótima, o submarino pode obter uma vantagem alterando convenientemente a sua operação.

Observar-se-á então, que, quando os comandos empregam suas estratégias ótimas, a proporção de submarinos afundados será de $53\frac{1}{3}\%$.

Ver-se-á, por outro lado, que o Comando de Submarinos não conseguirá com outra estratégia reduzir esta proporção, a menos que o Comando Aéreo utilize uma estratégia, que não seja a ótima, nem tampouco o Comando Aéreo aumentará a referida percentagem, a menos que o Comando de Submarinos deixe de usar sua estratégia ótima.

Vejamos, então, como os Comandos deveriam proceder para utilizar as suas estratégias ótimas. Já foi concluído pelo cálculo que, em $2/3$ das oportunidades, o avião não deve usar o radar e no $1/3$ restante deve fazê-lo. E como ficou esclarecido que é imprescindível escolher ao acaso as vezes em que se usará o radar, a melhor solução seria, então, separar as seis primeiras cartas do mesmo naipe de um baralho e consultá-las cada vez que uma patrulha aérea penetrasse numa área supostamente com submarinos. Após baralhar as seis cartas, retirar uma: se fôr o cinco ou o seis, o avião usará o radar, e se fôr o ás, o dois, o três ou o quatro, não o fará.

Idêntico procedimento teria uma flotilha de submarinos: o comandante retiraria uma carta entre nove outras nas mesmas condições anteriores; se a carta do baralho estiver entre as cinco primeiras, não empregará o receptor de radar, e fará este emprêgo se a carta estiver entre as quatro últimas.

Problemas Combinados

Nem sempre as questões que são propostas a uma equipe de PO enquadram-se em um dos problemas típicos apresentados. Muitos são, na realidade, bem mais complexos, apresentando-se inclusive sob a forma de uma combinação entre problemas típicos e não típicos.

Lembremos, por exemplo, um problema importantíssimo em qualquer Fôrça Armada do mundo: a questão da formação de seus quadros de oficiais e sargentos que deve ser prevista com alguns anos de avanço sobre a época em que êsses elementos serão necessários às diferentes funções.

A par das necessidades da Fôrça Armada, é preciso levar em conta o interesse pessoal dos oficiais e sargentos que precisam sentir perspectivas em suas carreiras, sob pena de se estiolarem em uma situação de improdutividade.

Esta questão, além da parte subjetiva que encerra, pode ser assimilada a uma combinação dos problemas típicos de estoques e de fila-de-espera.

6^a IDÉIA A FIXAR

A PO, clássicamente, é executada em 6 fases. Destas, a mais importante é o estabelecimento de um modelo.

Vejamos rapidamente essas fases, dispostas em uma seqüência que é a mais lógica, embora não seja seguida na maioria dos problemas.

1^a fase — análise do problema
— especificar o problema
— procurar um critério

2^a fase — estabelecer o modelo

3^a fase — obter uma solução do modelo

4^a fase — testar o modelo e a solução

5^a fase — estabelecer controles sobre a solução

6^a fase — aplicar e completar a solução.

Análise do problema

A primeira dificuldade será encontrar o problema real. Por exemplo, durante a última guerra foi encarada a supressão da Artilharia Antiaérea de bordo dos navios mercantes. Efetivamente esta não abateu jamais qualquer avião inimigo. Os pesquisadores operacionais, consultados, fizaram observar, entretanto, que, se a Artilharia Antiaérea não abatia aviões inimigos, a percentagem de navios mercantes, com este armamento, afundados pela aviação era muito inferior àquela de navios desarmados. A defesa antiaérea, se bem que imprecisa, perturbava a ação da Luftwaffe e tirava-lhe a eficiência. Não se tratava, pois, de abater aviões mas de salvar navios. Este era o verdadeiro problema.

Caracterizado o problema, é necessário examinar se êle se presta ao estudo da PO. Esta não deve ocupar-se, por exemplo, daqueles que não podem ser expressos em números e grandezas ou daqueles cujos dados podem ser estudados por métodos convencionais.

A escolha do critério é o passo seguinte. Normalmente, aparece em cada problema uma série de critérios que podem orientar a sua solução. Não existem, lógicamente, regras para a determinação do critério a ser adotado, o que sómente pode ser definido pela análise dos pesquisadores e orientação do responsável pela decisão.

Vimos, quando da exposição do caso histórico referente aos bombardeios das rampas das bombas V, o aparecimento de três critérios, aparentemente capaz, qualquer um dêles, de orientar a solução do problema. Ficou ressaltado, entretanto, que a escolha do primeiro ou segundo conduziria a um êrro grave, pela seleção de um avião inadequado à continuação dos bombardeiros nas melhores condições.

Estabelecer o modelo

Modelo é a representação de um sistema seja êsse um objeto, um processo ou um acontecimento. No nosso caso, o modelo é a imagem simbólica e simplificada da operação em estudo. A sua finalidade é a de facilitar o exame de como as mudanças em um ou mais aspectos da entidade "modelada" podem afetar os demais aspectos ou o próprio todo.

Trata-se da fase mais importante e mais difícil da PO, constituindo mesmo a sua própria essência. É necessário escolher com perspicácia as variáveis que são incorporadas a êle e determinar as características de que se devem revestir para serem válidas, a fim de garantir resultados de uma aproximação suficiente.

Se chamarmos de E a medida do critério da eficiência, X_i as variáveis endógenas que dependem do sistema estudado e sobre as quais é possível operar ($n.^o$ de navios componentes de um comboio, $n.^o$ de escoltas necessárias); Y_j as variáveis exógenas sobre as quais é impossível operar ($n.^o$ de submarinos inimigos, armamento desses submarinos), o modelo terá a forma de uma série de equações $E = f(X_i, Y_j)$. As restrições sobre os valôres das variáveis podem ser expressas em um conjunto suplementar de equações e/ou inequações.

Vejamos, num caso esquemático bem simples, uma exemplificação de modelo:

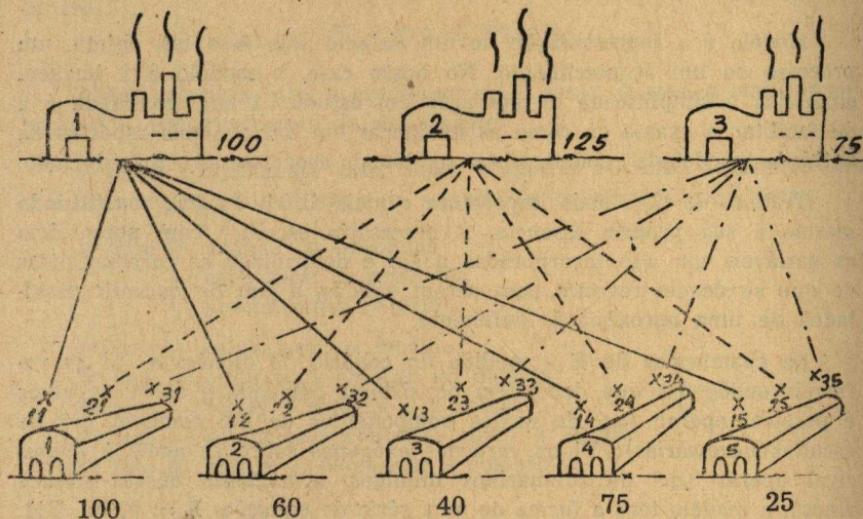
Três fábricas produzem, respectivamente, 100, 125 e 75 unidades de um determinado produto; esta produção deve ser distribuída para cinco armazéns cuja demanda é 100, 60, 40, 75 e 25.

Esta distribuição deve ser programada de tal forma que o custo total de transporte seja mínimo.

O custo de transporte, por unidade, de cada fábrica para cada armazém é o constante da tabela abaixo:

ARMAZÉM	1	2	3	4	5
FÁBRICA	1	2	3	4	5
1	3	2	3	4	1
2	4	1	2	4	2
3	1	0	5	3	2

Consideremos o problema exposto, gráficamente, esquematizado como se segue:



e observemos que:

— a capacidade de produção das fábricas ($100 + 125 + 75 = 300$ unidades) é igual à demanda ou à capacidade de armazenamento ($100 + 60 + 40 + 75 + 25 = 300$ unidades);

— considerando-se a tabela de custo de transporte, conclui-se que a Fábrica 3 e o Armazém 2 estão localizados juntos.

Não nos cabe demonstrar, nem tampouco explorar ou aplicar as técnicas empregadas em "Pesquisa Operacional", mas visando a caracterizar a sua utilidade, na busca científica de soluções adequadas a pro-

blemas complexos, sem apresentar o desenvolvimento do problema, salientaremos alguns aspectos interessantes do mesmo.

Assim, no problema em pauta, com base nos dados fornecidos, teremos o "modelo matemático que lhe corresponde:

Se inicialmente :

X_{ij} quantidade transportada da fábrica (i) para o armazém (j)

C_{ij} custo unitário de transporte da fábrica (i) para o armazém (j)

Distribuição da produção das três fábricas:

$$\text{Fábrica 1} \dots X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} = 100$$

$$\text{Fábrica 2} \dots X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} = 125$$

$$\text{Fábrica 3} \dots X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} = 75$$

(1)

Demandas dos cinco armazéns:

$$\text{Armazém 1} \dots X_{11} + X_{21} + X_{31} = 100$$

$$\text{Armazém 2} \dots X_{12} + X_{22} + X_{32} = 60$$

(2)

$$\text{Armazém 3} \dots X_{13} + X_{23} + X_{33} = 40$$

$$\text{Armazém 4} \dots X_{15} + X_{25} + X_{35} = 75$$

$$\text{Armazém 5} \dots X_{14} + X_{24} + X_{34} = 25$$

Custo de transporte mínimo:

Considerando-se o conjunto de equações (2) e a tabela de custo de transporte, teremos:

$$(3X_{11} + 2X_{12} + 3X_{13} + 4X_{14} + X_{15}) + (4X_{21} + X_{22} + 2X_{23} + 4X_{24} + 2X_{25}) + X_{31} + 0X_{32} + 5X_{33} + 3X_{34} + 2X_{35} = Z$$

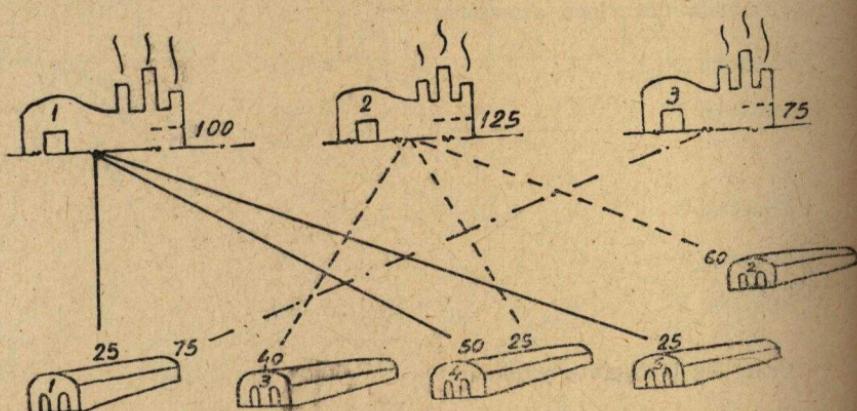
(mínimo)

que é a expressão do custo global de transporte — função que se deseja "minimizar". Esta expressão, representação matemática da operação como um todo, é o "modelo" a que nos estamos referindo.

Resolvendo-se êste conjunto de 9 equações lineares a 15 Variáveis, pelo método dos transportes, chega-se ao resultado abaixo para a solução do problema:

ARMAZÉM FÁBRICA	1	2	3	4	5	TOTAL
1	25			50	25	100
2		60	40	25		125
3	75					75
TOTAL	100	60	40	75	25	300

Isto, gràficamente, corresponde ao seguinte:



Observando-se a solução anterior, vê-se que, apesar de a Fábrica 3 e o Armazém 2 situarem-se no mesmo local, portanto, sendo o custo de transporte entre ambos nulo, o programa de mínimo custo global de transporte não determina transporte de carga entre êles, o que vem contra o sentido comum.

Isto deixa claro que, quando se procura a otimização de um sistema, não podemos otimizar por partes, devemos considerar o sistema como um todo, em que as inter-relações entre as suas variáveis são levadas em conta juntamente com seus reflexos na função objetivo. Esta, no caso apresentado, foi o custo de transporte mínimo.

Voltando ao exemplo do modelo:

Conforme esclarecemos, o problema é esquemático e, como tal, só contém dados concretos, facilmente mensuráveis e que, por isso, admite solução através do emprêgo de uma técnica matemática simples, com o estabelecimento de um modelo em que as variáveis são de duas naturezas: quantidade de produto transportado e custo unitário de transporte.

Num caso real, este mesmo problema poderia conter fatores de outras espécies, o que lhe agravaría a complexidade e exigiria, de maneira mais impositiva, o emprêgo da PO.

Poderíamos, por exemplo, ter de considerar a necessidade de usar um tipo diferente de viatura, com capacidade de carga maior ou menor, na substituição de algumas viaturas que estivessem indisponíveis no momento do transporte; poderíamos, também, ter de encarar a hipótese de a estrada entre uma das fábricas e um dos armazéns tornar-se intransitável em caso de chuva.

Na nova situação, a PO iria fazer uso de outras técnicas auxiliares como análise estatística e cálculo das probabilidades para o trato dos acontecimentos aleatórios exemplificados, suscetíveis de serem, também, representados matemáticamente.

O modelo apresentar-se-ia sob a mesma forma simbólica de um conjunto de equações e o uso de computadores provavelmente seria indispensável.

Obter uma solução do modelo

Há especialmente dois tipos de processo para se inferir uma solução "optimum" (ou uma aproximação do "optimum"); *analítico* e *numérico*. O processo analítico consiste no emprêgo da dedução matemática, o que requer a aplicação de vários ramos das ciências matemáticas. As soluções analíticas são obtidas abstratamente, isto é, a substituição de números por símbolos é feita, de modo geral, depois que a solução já foi obtida.

Os processos numéricos consistem especialmente em tentar diversos valores das variáveis controláveis no modelo, comparando os resultados obtidos e selecionando o conjunto de valores dessas variáveis que apresentem a melhor solução.

Testar o modelo e a solução

O modelo constitui apenas uma representação parcial da realidade. Torna-se um bom modelo se, apesar de incompleto, puder prever, com exatidão, o efeito das alterações do sistema sobre a eficiência geral do mesmo. A propriedade do modelo é determinada pelo grau de exatidão com que prevê os efeitos dessas alterações.

A solução deduzida é avaliada através da comparação dos resultados, seja antes, seja depois da aplicação da solução. Esta avaliação pode empregar dados passados, ou por tentativas, ou ainda fazendo testes

prévios. O processo dos testes requer uma análise cuidadosa dos dados, a fim de discernir quais os válidos e quais os que não o são.

Estabelecer contrôles sobre a solução

A solução deduzida de um modelo permanece válida apenas enquanto as variáveis incontroláveis conservam seus valôres e mantém-se constante a relação entre as variáveis do modelo.

A própria solução fica "fora de contrôle" quando o valor de uma ou mais das variáveis foi sensivelmente alterado.

Para estabelecer contrôles sobre a solução, portanto, deve-se desenvolver dispositivos que determinem quando ocorrem alterações importantes e fixar normas para modificar a solução a fim de satisfazer a essas alterações.

Aplicar e completar a solução

A solução, após verificada, deve ser transformada em um conjunto de processos de operações possíveis de serem entendidos e aplicados pelo pessoal responsável pelo seu emprêgo. Devem ser especificadas e levadas a cabo as alterações necessárias nos processos e recursos existentes.

As fases, enumeradas acima, de uma PO raramente, conforme foi dito, são dirigidas na ordem apresentada, podendo mesmo acontecer que ocorram tôdas simultaneamente.

Em muitos projetos, por exemplo, não se completa e formulação do problema enquanto o projeto não se acha virtualmente concluído. Haverá sempre uma contínua interpenetração dessas fases da pesquisa.

7^a IDÉIA A FIXAR

É cada vez maior o empenho, do meio civil em geral e das Fôrças Armadas dos principais países, em utilizar-se da Pesquisa Operacional.

Na Inglaterra, nos Estados Unidos e na França, por exemplo, a PO está institucionalizada em seções especializadas no âmbito dos Estados-Maiores das Fôrças Singulares e no do Ministério da Defesa.

Essas Seções, seja diretamente, seja através de encomendas a empresas civis, encarregam-se do estudo de problemas específicos e os resultados, até agora, só têm feito crescer o prestígio do novo método.

Na França, por exemplo, estão em estudos, pelas equipes da PO do Exército, os seguintes problemas, entre outros:

- cooperar na decisão sobre qual o tipo de carro de combate a ser adotado, o pesado ou o leve, e qual deve ser o armamento principal do carro escolhido;
- indicar a solução ótima para a atribuição de objetivos aos fogos clássicos e aos fogos nucleares;
- possibilitar o melhor rendimento no emprêgo de minas terrestres e de helicópteros;

- estabelecer quais são realmente as necessidades logísticas diárias de uma Divisão no combate;
- definir, a fim de organizar o Corpo de Oficiais, quais as especificações que devem possuir êsses oficiais e a quantidade necessária de cada uma delas.

Em Portugal foi criado, em 1965, no Estado-Maior do Exército, o Centro de Estudos e Investigação Operacional do Exército, tendo em vista "a conveniência de introduzir, no Exército, métodos de trabalho que assegurem a maior eficiência e o melhor rendimento possível dos meios disponíveis, considerando a larga experiência e os bons resultados alcançados em numerosas empresas civis com o emprêgo cada vez mais generalizado das técnicas de investigação operacional".

A Argentina, por sua vez, já fêz suas Fôrças Armadas adotarem a PO e, no momento, está programando um curso interamericano a realizar-se em Buenos Aires, entre 1.^º e 13 de outubro próximo, sob os auspícios da Junta de Pesquisas Científicas e Experiências das Fôrças Armadas, e para o qual está convidando os países sul-americanos.

Dêste curso constarão, entre outras, conferências sobre os seguintes temas:

- possibilidades administrativas e de condução da Investigação Operativa;
- modelos matemáticos e operações militares;
- aplicações das técnicas quantitativas ao planejamento nacional.

3 — CONCLUSÕES

Pensamos ter dado uma idéia clara, embora sumária, do que seja PO e como é empregada no auxílio ao chefe militar.

A um oficial de estado-maior tais noções são indispensáveis, já que não se pode desconhecer, nos escalões em que atuamos, a existência e a utilidade desse novo método científico, surgido como um instrumento da Organização Científica do Trabalho, com o objetivo de ajudar na busca de soluções ótimas para nossos problemas mais complexos.

Assinalamos seu largo emprêgo nas Fôrças Armadas dos países mais adiantados e entre as empresas civis de maior porte. No caso brasileiro, como no das demais nações em fase de desenvolvimento, a PO adquire um significado especial ligado à necessidade de se tirar o máximo rendimento dos meios que a Nação, com grande sacrifício, põe à nossa disposição.

Nesta oportunidade em que se executa, nas nossas Fôrças Armadas, a reforma administrativa determinada pelo atual governo, julgamos inteiramente favoráveis as condições psicológicas para a implantação da Pesquisa Operacional.

A reforma administrativa poderá eliminar muitos de nossos males, como o excesso de burocracia, de centralização e de controles meramente formais; como as incongruências do fluxograma em nossas organizações; como as impropriedades de uma estrutura em que a funcionalidade cede lugar a um formalismo obsoleto.

Se êsse objetivo fôr alcançado, como esperamos, já será um grande passo à frente. Nossas FA terão sua eficiência aumentada com êsse trabalho de racionalização de nossa administração. Tal resultado deve animar-nos a prosseguir nessa campanha, com o ataque aos problemas maiores, como aquêle, citado, do apoio logístico aos elementos localizados na fronteira da Amazônia.

Problemas êsses que não podem mais ser tratados, como tradicionalmente, à base exclusivamente do bom senso, da experiência e da inspiração, quando está ao nosso alcance um método já sancionado por uma prática de quase 30 anos.

Aliás, já existe a compreensão de que possuímos tôdas as condições necessárias ao uso da PO em nossas Fôrças Armadas, inclusive com a sua institucionalização em nossos Estados-Maiores.

Por assim entender o Estado-Maior do Exército, acolhendo sugestão da 3^a Seção, está preparando a organização de uma seção de Organização e Método que tratará especificamente da Pesquisa Operacional.

Dessa providência decorrerá certamente a organização de um grupo de PO para, em caráter experimental, cooperar na solução de alguns de nossos múltiplos problemas.

Acreditamos que, antes do reaparelhamento de nossas Fôrças Armadas, cada vez mais necessário em face da crescente importância de nossas missões, precisamos decidir-nos a tirar o máximo rendimento dos meios existentes.

Isto sómente será possível se adotarmos as normas técnicas da Organização Científica do Trabalho, aplicáveis ao campo militar, afi incluída a Pesquisa Operacional, não só nas questões da vida quotidiana de nossa profissão mas, também, nos grandes problemas que a justificam e a nobilitam.

Todos nós sabemos que a guerra é ganha no tempo de paz, quando as Fôrças Armadas são preparadas para sua suprema finalidade.

Como base desta preparação, está o aproveitamento máximo dos recursos disponíveis que, por serem tão parcos, não podem ser desperdiçados.

BIBLIOGRAFIA

- Methods Of Operations Research* — Morse e Kimball
- Introduction To Operation Research* — Churchman, Ackoff e Arnoff
- La Recherche Operationnelle et la Décision* — Gonard
- La Recherche Operationnelle Militaire* — General Renaud
- Operations Research* — Sasiewi, Yaspan e Friedman
- A Pesquisa Operacional (C 16-63)* — Cel Av José Ayrton Bezerra Studart e Ten-Cel Joffre Sampaio
- Pesquisa Operacional (C1-19-65)* — Equipe do DE (ESG)
- Pesquisa Operacional (EME)* — Cel Joffre Sampaio, Ten-Cel Sady Buano Mussoi e Ten-Cel José Maria Toledo Camargo
- Curso de Organização do Trabalho* — Cesar Catanhede
- A Revolução Científica e o Empresário Industrial* — Flávio A. Pereira