

# Análise do Emprego de uma Constelação de Pequenos Satélites SAR em Vigilância Marítima.

Márcio Martins da Silva Costa<sup>1,2</sup> e David Fernandes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial, Praça Mal. Eduardo Gomes, 50 - 12228-900, São José dos Campos, SP

<sup>2</sup>Centro de Coordenação de Estudos da Marinha em São Paulo, Av. Prof. Mello Morais, 2231, Bloco E, Dep. Eng. Mecânica e Naval, Butantã - 05508-030, SP

**Resumo** — O emprego de imagens SAR nas atividades de Sensoriamento Remoto (SR) oferece notórias vantagens frente aos imageadores ópticos devido às suas possibilidades de monitoramento com imagens de alta qualidade, independente das condições atmosféricas ou de vegetação. Com a tendência dos satélites assumirem dimensões cada vez menores, implicando em baixos custos, tecnologia mais acessível e tempo de resposta mais rápido, diversos países vem buscando realizar atividades de SR com o emprego de engenhos orbitais. Neste trabalho são apresentados conceitos e uma proposta de Constelação de Pequenos Satélites SAR empregados na vigilância de uma área marítima de interesse. Analisa-se a proposta de fundamentação teórica por meio de uma simulação em STK.

**Palavras-Chave** — SAR, Sensoriamento Remoto, Pequenos Satélites, STK.

## I. INTRODUÇÃO

Sem a presença de plataformas capazes de realizar atividades de Sensoriamento Remoto, países de dimensões continentais, como *e.g.* o Brasil e o Canadá, estariam fadados ao dispêndio de significativos e contínuos recursos orçamentários na preparação e emprego de capital humano e físico necessário à vigilância de áreas distantes.

Neste contexto, o uso de Radares de Abertura Sintética, ou SAR (do inglês *Synthetic Aperture Radar*), concede uma nova dimensão às tarefas de vigilância devido às suas possibilidades de monitoramento com imagens de alta qualidade, independente das condições atmosféricas ou de vegetação. O SAR ainda possui uma vantagem relevante frente aos imageadores ópticos pelo fato de atuar como um sensor ativo capaz de obter informações de um alvo, ou de uma área, independente de emissões naturais ou geradas pelos objetos [1]-[3].

O SAR pode ser empregado em plataformas aéreas e orbitais. No segundo caso devido as grandes velocidades de voo da plataforma (Ex. 7000 m/s) pode-se imagear uma extensa área em um curto intervalo de tempo (em 10s 70km de extensão).

Considerando apenas o uso do SAR a partir do Segmento Espacial, pode-se utilizar o referido sensor em emprego isolado ou em Sistemas Espaciais Distribuídos.

Márcio Martins da Silva Costa, marcio.costa.br@ieee.org ou mcosta@ita.br.  
David Fernandes, david@ita.br. Tel +55-12-3947-5878 e Fax +55-12-39476893.

No primeiro caso, tem-se como exemplo o satélite RADARSAT-1, lançado em novembro de 1995 pela Agencia Espacial Canadense (*Canadian Space Agency*), tendo como *payload* um SAR na Banda C. O segundo caso pode ser classificado em duas categorias:

- Formações; e
- Constelações.

As Formações de satélites envolvem o uso de sistemas de controle ativos entre os mesmos, não necessariamente iguais, de forma a manter a posição relativa entre eles. Já as Constelações são compostas por dois ou mais engenhos espaciais, de características semelhantes, sem controle ativo entre ambos.

Na prática, as Formações têm por objetivo estabelecer uma sinergia entre diversos sensores diferentes em uma mesma área, resultando em produtos diferenciados para uma mesma missão.

No caso das Constelações, sua finalidade é de incrementar uma cobertura, que pode ser, também, em uma área ou de forma global. O produto fornecido por este tipo de sistema, geralmente deixa de ser o de cada plataforma orbital, para ser o resultado geral fornecido pela Constelação. A grande vantagem das Constelações, principalmente no que tange à manutenção da consciência marítima (objeto deste trabalho), é a redução da Resolução Temporal, que é a frequência de imageamento em uma mesma área [4] e [5].

A partir da apresentação dos referidos conceitos, seleciona-se a Constelação como o tipo de Sistema Espacial Distribuído a ser empregado na vigilância marítima.

Notadamente, este tipo de Sistema requer uma quantidade maior de satélites em órbita. Logo, para que seja vantajoso o seu estabelecimento, é necessário que cada plataforma possa ser caracterizada por baixos custos, tecnologia mais acessível e tempo de resposta mais rápido. Tais características, relativas a Pequenos Satélites, vem sendo exploradas largamente, principalmente pelos países que dispõem de poucos recursos para a pesquisa, ou ainda, possuem pouca ou nenhuma experiência na área espacial. Ou seja, o emprego de tecnologias cada vez menores no cenário espacial vem contribuindo para que novos países possam empregar tais recursos na vigilância de suas áreas costeiras e marítima.

Neste trabalho são apresentados conceitos e analisados alguns requisitos necessários para o estabelecimento de uma vigilância marítima por meio do emprego de uma Constelação SAR. Na Seção II apresentam-se o Cenário Marítimo considerado. Na Seção III apresentam-se e analisam-se conceitos de Pequenos Satélites com carga útil SAR (*payload*) e propõem-se um modelo inicial de cobertura

orbital baseado em fundamentação teórica. Na Seção IV descreve os requisitos desejáveis para o *payload* dos satélites e na Seção IV são apresentados os resultados da simulação realizada em STK<sup>1</sup> e um modelo final é proposto. Por fim, a Seção VI apresenta as conclusões obtidas.

## II. CENÁRIO MARÍTIMO CONSIDERADO

Para efeito deste trabalho, foi considerada como cenário de interesse para a vigilância marítima, a área apresentada em vermelho na Fig. 1.

Nesta figura destaca-se um círculo, limitado entre os paralelos de 10°N e 34°S e entre os meridianos de 010°W e 050°W, o qual circunscreve a área marítima de responsabilidade do Serviço de Busca e Salvamento Marítimo brasileiro, destacada pela linha amarela [6].



Fig. 1 – Área marítima de responsabilidade do Serviço de Busca e Salvamento Marítimo brasileiro.

Ressalta-se que a escolha da referida área tem apenas o caráter exploratório, tendo sido selecionada a partir de sua representatividade em convenções internacionais.

## III. CONSTELAÇÃO DE PEQUENOS SATÉLITES

Ir-se-á analisar a base conceitual que envolve os sistemas espaciais necessários à cobertura de uma Área de Interesse. Cada item investigado gera um parâmetro que irá compor a proposta inicial da Constelação SAR (altitude, tipo de órbita, etc.).

Ressalta-se, todavia, que a escolha destes parâmetros não exige a necessidade de se avaliar outros não citados no escopo deste trabalho (perturbações orbitais, movimento relativo das órbitas, etc.). A seleção dos itens apresentados baseou-se nos principais tópicos contidos em diversas literaturas e aplicações focadas em emprego do SAR.

### a) Tipo de satélite.

Com o advento de novas tecnologias voltadas para a miniaturização de componentes empregados no setor

espacial, novas abordagens e métodos passaram a ser observados nas missões realizadas pelos satélites.

Empresas começaram a lançar novos produtos, estabelecendo definições como micro, nano e pico satélites.

Desta forma, por ocasião do V Simpósio em Pequenos Satélites para Observação da Terra (*V Symposium on Small Satellites for Earth Observation*), ocorrido em Berlim, na Alemanha, em 2005, foi estabelecido pela Academia Internacional de Astronáutica (*International Academy of Astronautics, IAA*) uma nomenclatura padrão, apresentada na Fig. 2 [4].



Fig. 2 – Classificação dos satélites segundo a IAA, com base na Massa, no Custo (em milhões de US\$) e Resposta (desenvolvimento e produção em anos).

Dos dados constantes da Fig. 2, cabe ressaltar que os valores envolvidos podem variar de projeto para projeto. De acordo com informações da Delft University of Technology (Holanda)[7], os referidos valores oscilam entre 10 e 60 mil dólares americanos por kilo da massa do satélite.

Devido aos Pequenos Satélites possuírem, em geral, baixo custo, tecnologia mais acessível, tempo de resposta mais rápido (desenvolvimento e produção) e estarem no foco da indústria aeroespacial e da academia por introduzirem novos modelos para as missões espaciais, os mesmos foram selecionados para compor a Constelação proposta neste trabalho.

### b) Altitude das órbitas.

Após a apresentação do conceito de Pequenos Satélites e selecionar este tipo de veículo espacial para compor uma Constelação SAR, considera-se agora o ambiente espacial no qual a espaçonave irá operar. Basicamente este ambiente dependerá da altitude a ser estabelecida.

Para altitudes inferiores à 500 Km, a atmosfera ainda é suficientemente densa para causar danos à plataforma orbital, ou ainda, reduzir a sua vida operacional. Por outro lado, altitudes demasiadas expõem o satélite à ação direta de partículas cósmicas e radiação solar.

Atualmente, as órbitas dos satélites são divididas em três faixas de altitudes, a saber:

- de 500 à 1000 Km, denominadas de Órbitas Baixas (LEO, do inglês *Low Earth Orbit*);
- de 5000 à 15000 Km, denominadas de Órbitas Médias (MEO, do inglês *Medium Earth Orbit*); e
- 20.000 Km ou acima, tendo a altitude mais comum em torno 36.000 Km. Nesta altitude, a órbita é denominada de geossíncrona e sua rotação acompanha a rotação da Terra. Um caso específico deste tipo de órbita ocorre quando o

<sup>1</sup> Software de simulação produzido pela Analytical Graphics, Inc. (AGI). Este trabalho faz uso da versão 10.1.0, disponível em <http://www.agi.com/products/>. Acesso em: 22 de junho de 2014.

satélite encontra-se sobre o equador, passando-se a chamar geoestacionária.

Embora haja fatores favoráveis ao emprego de SAR orbital em órbitas mais elevadas, atualmente todos os satélites SAR de observação da Terra operam em Órbita Baixa (LEO).

Considerando os tópicos acima como parâmetros suficientes ao escopo deste trabalho, seleciona-se a Órbita Baixa (LEO) para a Constelação SAR [8].

### c) Inclinação das Órbitas.

Outro ponto a ser tratada na análise da Constelação SAR refere-se à inclinação das órbitas dos satélites. Por meio destas é possível estabelecer quais são as áreas de menor ou de maior interesse, as quais os satélites poderão incrementar os valores de sua Resolução Temporal.

A inclinação da órbita é expressa pelo ângulo formado entre o Plano do Equador (ou Plano Equatorial) pelo Plano Orbital do satélite (ou Plano de Órbita), conforme ilustrado na Fig. 3.

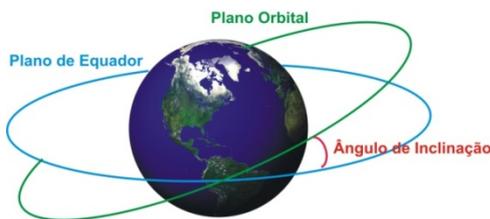


Fig. 3 – Ilustração do Ângulo de Inclinação estabelecido pelo Plano Orbital.

Os limites máximos e mínimos da linha de latitude pela qual a projeção ortogonal na superfície da Terra do caminho a ser percorrido pelo satélite em órbita equivale ao Ângulo de Inclinação do Plano Orbital do satélite [9].

Considerando a área de interesse apresentada na Fig. 1, uma das possíveis soluções para atender a referida área poderia ser uma constelação com Planos de Órbita limitados a 34° de inclinação. Na Fig. 4 ilustra-se a faixa que será coberta pela constelação para os Planos de Órbita propostos.

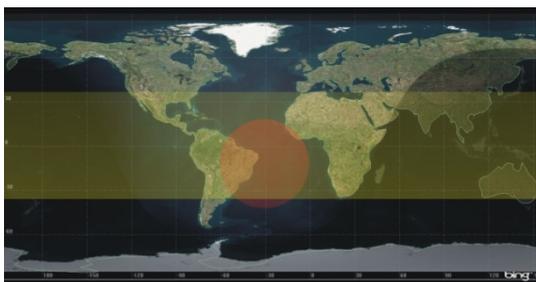


Fig. 4 – Faixa de cobertura para Planos de Órbita com Ângulo de Inclinação limitados a 34° (faixa amarela central) - Simulação em STK.

### d) Tipo de Cobertura Orbital – Método Walker.

De acordo com os conceitos de Mecânica Orbital propostos por Chobotov [10], existem três tipos de Cobertura Orbital: Cobertura Global, Zona de Cobertura e Cobertura Regional.

A Cobertura Global, conforme o próprio nome propõe, envolve a cobertura de toda a Terra. A Zona de Cobertura prevê uma faixa de observação entre dois valores de latitude, conforme ilustrado em amarelo, na Fig. 4. A Cobertura Regional prevê a cobertura para uma região específica, o que pode ser representado pelo círculo vermelho da mesma figura.

Ainda de acordo com Chobotov, diversos métodos vem sendo desenvolvidos por pesquisadores, buscando estabelecer uma Cobertura Global ou por Zonas de Cobertura. Neste trabalho será empregado o Método Walker, devido à sua eficiência no emprego de constelações com 20 satélites ou menos [10].

O Método Walker considera um arranjo simétrico de satélites que provê uma Cobertura Global ou por Zona com uma quantidade mínima de veículos espaciais.

Este método emprega uma notação descrita pelos parâmetros  $T/P/F$  e  $i$  onde:

- $T$  equivale ao total do número de satélites na constelação;
- $P$  é número de Planos de Órbita geralmente inclinados;
- $F$  é um parâmetro de fase entre os satélites; e
- ( $i$ ) é o ângulo de inclinação para todos os satélites.

Na Fig. 5 pode ser visualizada a relação entre os respectivos parâmetros.

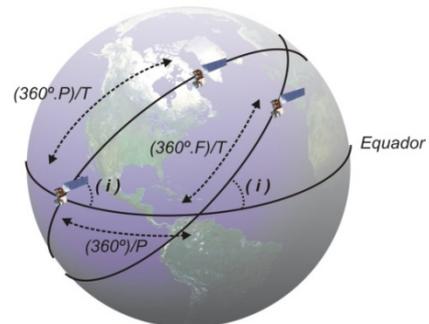


Fig.5 – Relação entre os parâmetros do Método Walker para satélites localizados entre dois Planos Orbitais.

Considerando os trabalhos realizados com constelações em [8] - [9] e a dimensão da área de interesse proposta na Seção II, foram realizadas simulações em STK para análise do número de sensores a serem empregados (Seção IV).

Adicionando-se sensores a cada simulação, observou-se que a partir de 18 satélites haveria a presença contínua de pelo menos um na área de interesse.

Notoriamente este número não cobre toda a extensão da referida área devido à sua extensão continental. Isto somente seria possível com o emprego de, no mínimo, 32 satélites [10]. No entanto, para fins de simplificação e considerando os limites deste trabalho, propõe-se um arranjo de simétrico de 18 sensores com base no Método Walker.

Empregando a notação Walker, estabelece-se uma Constelação com os seguintes parâmetros  $T/P/F$ , onde  $T = 18$  e  $P = 6$ .

Para o cálculo de  $F$  com as relações apresentadas na Fig.5 considera-se a Ascensão Reta do Nó Ascendente (RAAN, do

inglês, *Right Ascension of the Ascending Node*) com o valor  $60^\circ$ , logo  $360 \cdot F/T = 60 \Rightarrow F = 3$ .

Assim, a Notação Walker ( $T/P/F$ ) proposta passa a ser 18/6/3.

No caso da Inclinação da Órbita, observa-se a latitude apresentada em (c) e assume-se o valor de  $34^\circ$  de forma que a região coberta seja a compreendida entre os paralelos de  $34^\circ$  norte e sul, envolvendo a área de interesse proposta em (a).

Empregando o software STK apresenta-se na Fig. 6 uma simulação com a presença da Área de Interesse. Nota-se que as órbitas limitam-se entre os paralelos sul e norte de  $34^\circ$ , tendo em vista a inclinação escolhida em (c).



Fig. 6 – Simulação realizada no STK apresentando os planos de órbitas cobrindo a faixa localizada entre os paralelos de  $34^\circ$  e a Área de Interesse.

e) Estações Terrenas de recepção.

Para efeito deste trabalho, foram consideradas como estações terrenas de recepção dos dados dos satélites, as estações localizadas nas cidades de Brasília e Rio de Janeiro, a saber:

- Brasília –  $15,7833^\circ\text{S}$  e  $047,9167^\circ\text{W}$ ; e
- Rio de Janeiro –  $22,9000^\circ\text{S}$  e  $043,2333^\circ\text{W}$ .

f) Parâmetros da Constelação SAR.

A TABELA I apresenta os parâmetros escolhidos anteriormente, além de outros dados assemelhados ao da Constelação do SAR-Lupe (projeto do Ministério da Defesa Alemão) [11].

Parâmetros	SAR Lupe	Constelação SAR proposta
$T$ Número de satélites	5	18
$M$ Massa	770 Kg	700 Kg
$H$ Altitude	500 Km	500 Km
$I$ Inclinação da órbita	$\sim 90^\circ$	$34^\circ$
$t$ Período de órbita	94,3 min	$\sim 94$ min
- Configuração da Órbita	-	Walker 18/6/3
- Estações terrenas	-	Brasília e Rio de Janeiro
- Área de Interesse	-	$1.9243\text{e}+007 \text{ km}^2$

IV. SIMULAÇÃO EM STK

Para efeito da simulação foi considerado um período de 24 horas compreendido entre as 15 horas do dia 20 de junho de 2014 (STK: 20 Jun 2014 15:00:00.000, em UTC) e as 15 horas do dia 21 de junho de 2014. Este recorte temporal equivale ao tempo necessário para um navio mercante, com

velocidade média de 25 nós (25 milhas náuticas/hora), suspender dos principais portos do Brasil e ainda manter-se dentro da Área de Interesse. Ou seja, o tempo avaliado, para efeito deste trabalho, como mínimo para fazer um acompanhamento de um alvo ainda dentro da respectiva área e, conseqüentemente, estabelecer uma vigilância marítima.

Em seguida, foram considerados os dezoito satélites propostos no modelo Walker, dispostos em seis planos de órbita com a inclinação de  $34^\circ$ , na altitude de 500 Km.

A fim de que os planos inclinados fossem dispostos de forma simétrica, a diferença estabelecida para a ascensão reta do nó ascendente foi de  $60^\circ$ .

Para que houvesse um intervalo entre cada satélite de um mesmo plano, foi estabelecida uma defasagem de  $120^\circ$  entre os veículos.

Posteriormente, foi estabelecido o acesso (ou passagem) de cada satélite à Área de Interesse. O resultados deste relatório de acesso gerado pelo STK para o período da simulação encontram-se Na TABELA II.

TABELA III – RELATÓRIO DE ACESSO (OU PASSAGEM)

Nº do Satélite	Quantidade Acessos	Duração Média dos Acessos (em minutos)	Duração Total dos Acessos (em horas)
1	13	20,674	4,479
2	13	20,909	4,530
3	13	20,452	4,431
4	13	20,479	4,437
5	13	20,602	4,464
6	13	20,916	4,532
7	13	20,995	4,549
8	13	20,844	4,516
9	13	22,069	4,782
10	13	29,108	6,307
11	14	20,532	4,791
12	13	20,532	4,791
13	14	17,040	3,976
14	13	20,737	4,493
15	13	20,737	4,493
16	14	20,416	4,764
17	13	20,982	4,546
18	13	20,514	4,445

Finalizando a implementação do cenário, foram consideradas as cidades de Brasília e Rio de Janeiro como estações terrenas capazes de fazer o *uplink* e o *downlink* das informações transmitidas aos satélites e recebidas destes, respectivamente.

De acordo com os valores obtidos na TABELA II, verificou-se que cada satélite teve, em média 13 passagens pela Área de Interesse no período considerado, onde cada passagem teve a duração média de 20 minutos.

Ou seja, para uma área de dimensões continentais, como a selecionada para este trabalho, não há possibilidade de manter uma vigilância marítima efetiva com um único satélite. A menos que este venha atender à observações pontuais, onde a trajetória de uma embarcação no mar, dentro da área compreendida, coincida com a faixa imageada pela passagem do satélite. Mesmo assim, haveria necessidade de descarregar os dados levantados às estações de Brasília ou Rio de Janeiro, o que talvez demande uma revisita do satélite, e conseqüente, evasão do contato.

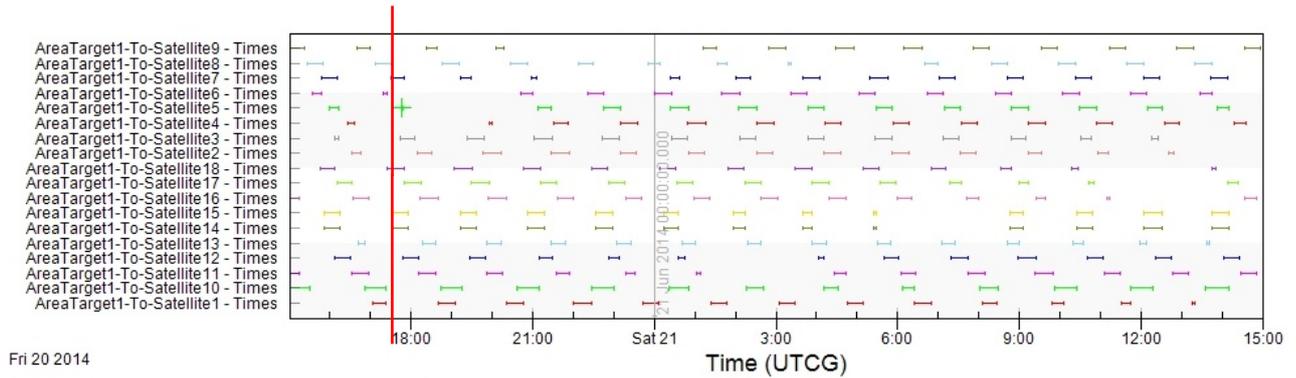


Fig. 7 – Acesso dos satélites da Constelação SAR à Área de Interesse no período proposto de 24 horas.

Na Fig. 7 ilustram-se todos os acessos dos satélites em função da duração do acesso (ordenada) e hora (abscissa). Na respectiva figura, cada segmento disposto em uma mesma linha horizontal e com a mesma cor equivale a um dos satélites da Constelação SAR.

Nota-se na Fig. 7 que o Método Walker possibilita que a cada instante haja pelo menos um satélite cobrindo uma faixa da Área de Interesse.

Para exemplificar, foi inserido na respectiva figura uma linha vertical vermelha no recorte temporal da simulação equivalente às 17h41min15s do dia 20 de junho. Pode-se observar que três dos dezoito satélites considerados cruzam ao mesmo tempo a Área de Interesse.

Na Fig. 8 apresenta-se em 3D o respectivo período da simulação, destacando-se os satélites 7, 14 e 18. Os mesmos podem ser identificados, respectivamente, identificados pelas regiões imageadas em forma de um retângulo, localizadas no nordeste do Brasil, no Atlântico Sul próximo ao sul do Brasil e próximo do continente Africano

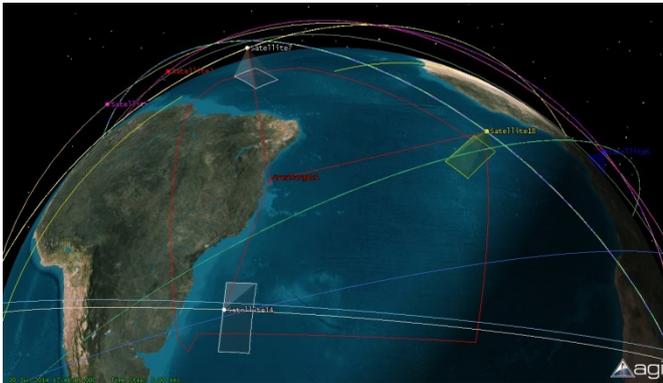


Fig. 8 – Projeção da Geometria de iluminação dos satélites SAR sobre a Área de Interesse.

Cabe ressaltar que, devido à dimensão da área, mesmo havendo pelo menos três satélites cobrindo a região ao mesmo tempo, algumas faixas poderão ficar alguns minutos sem a cobertura de algum satélite. No entanto, devido ao efeito da rotação da Terra [10], as órbitas tendem a deslocar-se para oeste. Desta forma, e tendo em vista que os planos de

órbitas são cruzados, mesmo quando um satélite se afasta do cenário de interesse outro já se aproxima para se superpor.

Em face aos resultados até então avaliados, faz-se mister apresentar na Fig. 8 a geometria de aquisição [1][2][12][13] dos dados brutos a serem coletados pelos satélites para posterior envio às estações terrenas, onde serão processados. Na respectiva figura, tem-se

- $h$ , altitude dos satélites;
- $v_p$ , velocidade dos mesmos na Direção Azimutal;
- $r_0$ , distância da trajetória do sensor ao centro da cena;
- $\vartheta_0$ , ângulo de visada do centro da cena;
- $\theta_e$  e  $\theta_a$ , respectivamente, a abertura angular da antena em elevação e em azimute (direção de voo da plataforma).
- As dimensões de 90MN e 250MN, a partir do Nadir do satélite, definem a área imageada.

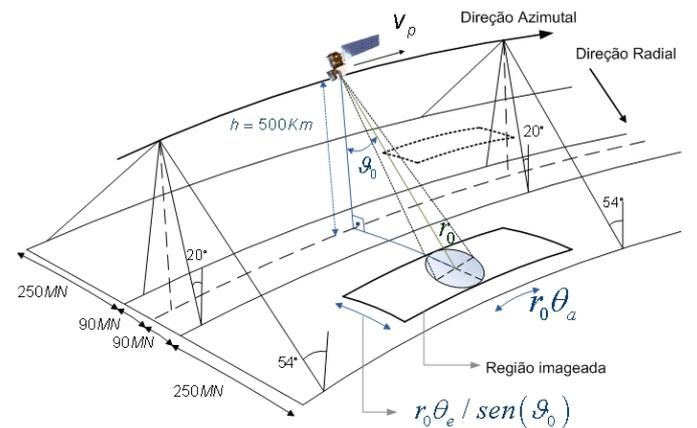


Fig. 9 – Projeção da Geometria de iluminação dos satélites SAR sobre a Área de Interesse (adaptação do proposto pelo Earth Observation Portal[13]).

Finalmente, cabe ressaltar que o termo vigilância sugere observância em todos os aspectos. Neste caso, conforme apresentado por Bruno et al.[15], uma vigilância marítima requer o emprego de múltiplos sensores capazes de coletar informações diversas que possam gerar uma consciência situacional mais ampla. O uso do SAR destaca-se nas atividades de Sensoriamento Remoto, mas deve ser

completado por sensores tais como acústicos, ópticos, AIS (do inglês, *Automatic Identification System*), dentre outros. Logo, propostas de Constelações SAR podem ser flexibilizadas pelo emprego de outros sensores disponíveis, isto pode reduzir significativamente o custo e tempo para sua implementação.

#### V. CONCLUSÕES

Conceitos baseados em fundamentação teórica sobre Sistemas Espaciais Distribuídos voltados para a vigilância marítima foram apresentados. Uma Constelação empregando o Método Walker foi estabelecida e simulada em STK. O tempo de acesso dos satélites à Área de Interesse aliado à uma geometria SAR adequada serviu de subsídios analisar o emprego da Constelação.

Conclui-se que Constelações SAR possuem um emprego relevante nas atividades de Sensoriamento Remoto, mas precisam ser complementadas por outros sensores capazes de identificar efetivamente os objetos acompanhados. Com isto é possível reduzir custos, tempo de implementação, além de resultar em uma consciência situacional da Área de Interesse mais segura e confiável.

Esse trabalho pode ser utilizado como base para análise de novos requisitos de operação que venham a ser requeridos e avaliar a suas utilizações em plataformas SAR orbitais.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Franceschetti, G.; Lanari, R. Synthetic aperture radar processing. New York: CRC Press, 1999. ISBN: 0849378990 ISBN-13: 9780849378997.
- [2] Curlander, J. C.; McDonough, R. N. Synthetic aperture radar processing system and signal processing. New York: John Wiley & Sons, 1991.
- [3] CHIARATTI, Anthony; FERNANDES, David. Avaliação da influência de requisitos operacionais na geração de imagens SAR em tempo real. In: SIMPÓSIO DE APLICAÇÕES OPERACIONAIS EM ÁREAS DE DEFESA - SIGE, 15., 2013, São José dos Campos. **São José dos Campos**. São José dos Campos: São José dos Campos, 2013. v. 1, p. 1 - 6. Disponível em: <<http://www.sige.ita.br/anais/XV SIGE/>>. Acesso em 26JUN2014.
- [4] SANDAU, Rainer; BRIEB, Klaus; D'ERRICO, Marco. Small satellites for global coverage: Potential and limits. **Isprs Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing**,Amsterdã, n. 65, p.492-504, 2010.
- [5] SANDAU, Rainer. Status and trends of small satellite missions for Earth observation. **Acta Astronautica**, Berlim, v. 66, n. 1-2, p.1-12, 2010.
- [6] CONVENÇÃO INTERNACIONAL DE BUSCA E SALVAMENTO MARÍTIMO. Hamburgo, 1979.
- [7] SSE Group. **Small satellite projects and their cost**. Delft University of Technology, 2014. Disponível em: <<http://www.lr.tudelft.nl/en/organisation/departments/space-engineering/space-systems-engineering/expertise-areas/mission-concept-exploration/small-satellite-projects/>>. Acesso em: 27 jun. 2014.
- [8] UNITED STATES. Congressional Budget Office (cbo). Congress Of The United States Congressional Budget Office. **Alternatives for Military Space Radar**. Washington, Dc: Cbo, 2007. 89 f.
- [9] NELSON, Jacqueline M.. **PERSISTENT MILITARY SATELLITE COMMUNICATIONS COVERAGE USING A CUBESAT CONSTELLATION IN LOW EARTH ORBIT**. 2010. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Electrical Engineering, University Of Central Florida, Orlando, 2010. Disponível em: <[https://www.agi.com/downloads/partners/edu/Nelson\\_Thesis.pdf](https://www.agi.com/downloads/partners/edu/Nelson_Thesis.pdf)>. Acesso em: 27 jun. 2014.
- [10] CHOBOTOV, Vladimir A.. **Orbital Mechanics**. 3. ed. Virginia: American Institute Of Technology, 2002. 460 p.
- [11] KRAMER, Herbert J.. **Observation of the Earth and Its Environment: Survey of Missions and Sensors**. 4. ed. Gilching: Springer, 2002.
- [12] HOVANESEANIAN, S.A. **Radar Detection and Tracking Systems**. Massachusetts: Artech House, 1973.
- [13] Earth Observation Portal. **TSX (TerraSAR-X) Mission**. Sharing Earth Observation Resources, 2014. Disponível em: <<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/t/terrasar-x>>. Acesso em: 27 jun. 2014.
- [14] LARSON, Wiley J.; WERTZ, James R.. **Space Mission Analysis and Design**. 3. ed. California: Space Technology Library, 1999. 969 p.
- [15] BRUNO, Michael et al. Concurrent use of satellite imaging and passive acoustics for maritime domain awareness. In: WATERSIDE SECURITY CONFERENCE (WSS), 2010 INTERNATIONAL, 1., 2010, Carrara. **Waterside Security Conference (WSS)**. Carrara: Ieee, 2010. p. 1 - 8. Disponível em: <[http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5730229&url=http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=5730229](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5730229&url=http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5730229)>. Acesso em: 27 jun. 2014.