



## COMPUTAÇÃO COMO FERRAMENTA AUXILIAR NA DISCIPLINA DE MECÂNICA DOS FLUIDOS

**Ada C. Scudelari** – ada@ct.ufrn.br

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Deptº de Engenharia Civil, Centro de  
Tecnologia Campus Universitário – Lagoa Nova – CEP: 59072-970 – Natal - RN

**Rafael Barroca** – rafael\_barroca@hotmail.com

**Manoel D. C. Ferreira** – md.rn@bol.com.br

**Marcelo G. Rios Filho** – marcelorios@pop.com.br

***Resumo:** A disciplina de Mecânica dos Fluidos faz parte dos currículos de engenharia, podendo ser vista como base para as disciplinas mais avançadas na área de estudo de fluidos. Daí a importância da sedimentação dos conceitos nela apresentados para os alunos de graduação. Muitas vezes esta é assistida por ensaios de laboratório que permitem a visualização e assim melhor compreensão dos fenômenos estudados na mesma. Porém, verifica-se hoje em dia, o alto custo de implementação e/ou manutenção destes laboratórios. Com o desenvolvimento matemático/computacional hoje existente, muitos fenômenos antes somente visualizados em laboratório, já podem ser facilmente interpretados por estes modelos. Também cabe ressaltar que alguns fenômenos de difícil visualização em laboratórios são hoje facilmente estudados via computador. Exemplo disto é a visualização de variações na intensidade e direção da força resultante que atua em uma superfície plana imersa em um fluido qualquer. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento e aplicação de um programa que determina a força em superfícies planas quaisquer englobando variação de geometria, profundidade e declividade. Também sugere casos exemplos que permitam a sedimentação dos conceitos envolvidos.*

***Palavras-chave:** Desenvolvimento de software, Mecânica dos fluidos.*

## 1. INTRODUÇÃO

A disciplina de Mecânica dos Fluidos faz parte dos currículos de engenharia, podendo ser vista como base para as disciplinas mais avançadas na área de estudo de fluidos. Daí a importância à sedimentação dos conceitos nela apresentados para os alunos de graduação. Muitas vezes esta é assistida por ensaios de laboratório que permitem a visualização e assim melhor compreensão dos fenômenos estudados na mesma. Porém, verifica-se hoje em dia, o alto custo de implementação e/ou manutenção destes laboratórios. Com o desenvolvimento matemático/computacional hoje existente, muitos fenômenos antes somente visualizados em laboratório já podem ser facilmente interpretados por estes modelos. Também cabe ressaltar que alguns fenômenos de difícil visualização em laboratórios são hoje facilmente estudados via computador. Exemplo disto é a visualização de variações na intensidade e direção da força resultante que atua em uma superfície plana imersa em um fluido qualquer.

Tradicionalmente, este tópico quando abordado em sala de aula, não permite que o aluno desenvolva uma visão crítica dos efeitos ocasionados em função de variações na declividade do plano que contém a figura, variações na geometria da figura e variações de profundidade. Isto se deve a complexidade exigida para a determinação dos parâmetros geométricos ou pela ausência de estruturas laboratoriais simplificadas que permitam a visualização do fenômeno.

Uma forma de dar ao aluno esta visão crítica é pela execução exaustiva de problemas que envolvam as variações anteriormente citadas, porém tal tarefa é altamente desestimulante.

Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento e aplicação de um programa que determina a força em superfícies planas quaisquer, englobando variação de geometria, profundidade e declividade. Também sugere casos exemplos que permitam a sedimentação dos conceitos envolvidos.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O cálculo da força hidrostática em superfícies planas submersas encontra aplicação em inúmeros problemas de engenharia, tais como projetos de tanques de armazenamento de fluidos, barragens, navios, comportas, etc. Tem como base os princípios da hidrostática e da geometria plana.

Sendo a fundamentação teórica necessária ao seu entendimento dada como se segue, com base em MUNSON *et al* (1997), VENNARD e STREET (1978) e PISSARENKO *et al* (1985).

Seja uma superfície plana qualquer, submersa, como mostrado na Figura 01.

A força resultante é dada por:

$$F_r = \gamma \cdot h_c \cdot A \quad (1)$$

Onde  $h_c$  é a distância vertical entre a superfície livre do fluido e o centróide da área,  $A$  é a área da superfície plana e  $\gamma$  é o peso específico do líquido de imersão.

O ponto de aplicação desta força, conhecido como centro de pressão, é dado por:

$$y_r = \frac{I_{xc}}{y_c \cdot A} + y_c \quad (2)$$

$$x_r = \frac{I_{xyc}}{y_c \cdot A} + x_c \quad (3)$$

Onde  $I_{xyc}$  é o produto de inércia em relação aos eixos  $x$  e  $y$ ,  $I_{xc}$  é o momento de segunda ordem em relação ao eixo que passa no centróide e é paralelo ao eixo  $x$ ,  $y_c$  é a ordenada do centróide,  $x_c$  é a abscissa do centróide,  $y_r$  é a ordenada do centro de pressão,  $x_r$  é a abscissa do centro de pressão e  $A$  é a área da figura plana.

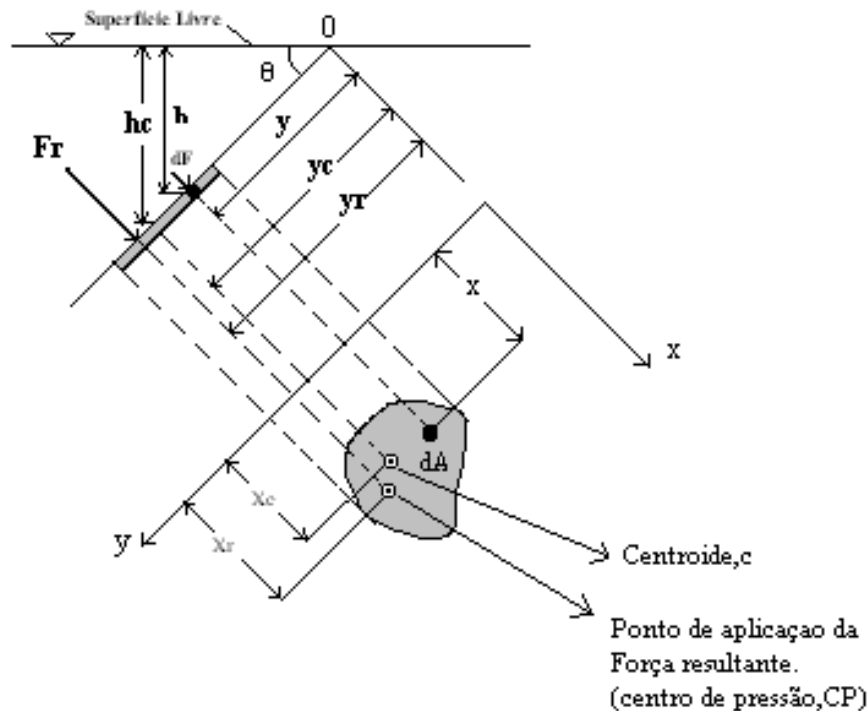


Figura 01- Força hidrostática numa superfície plana, inclinada e com formato arbitrário.

Note que tanto a determinação da força quanto do seu ponto de aplicação são dependentes das propriedades geométricas das figuras planas. No caso de superfícies planas regulares, estas propriedades se encontram em tabelas, porém no caso de superfícies planas irregulares devem ser obtidos a partir de definições formais que envolvem operações de integração. Assim, utiliza-se um método aproximado para obtenção destas propriedades, chamado método analítico, conhecido também como método da quadratura adaptativa (DOMINGUES, 1979).

### 3. DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

Com o objetivo de automatizar os cálculos dos parâmetros anteriormente mencionados, foi desenvolvido um programa em linguagem Delphi (CANTÚ,1998). O que permitiu construir um software estruturado nos conceitos de programação orientada a objetos, com interface bastante intuitiva e amigável (Figura 02).

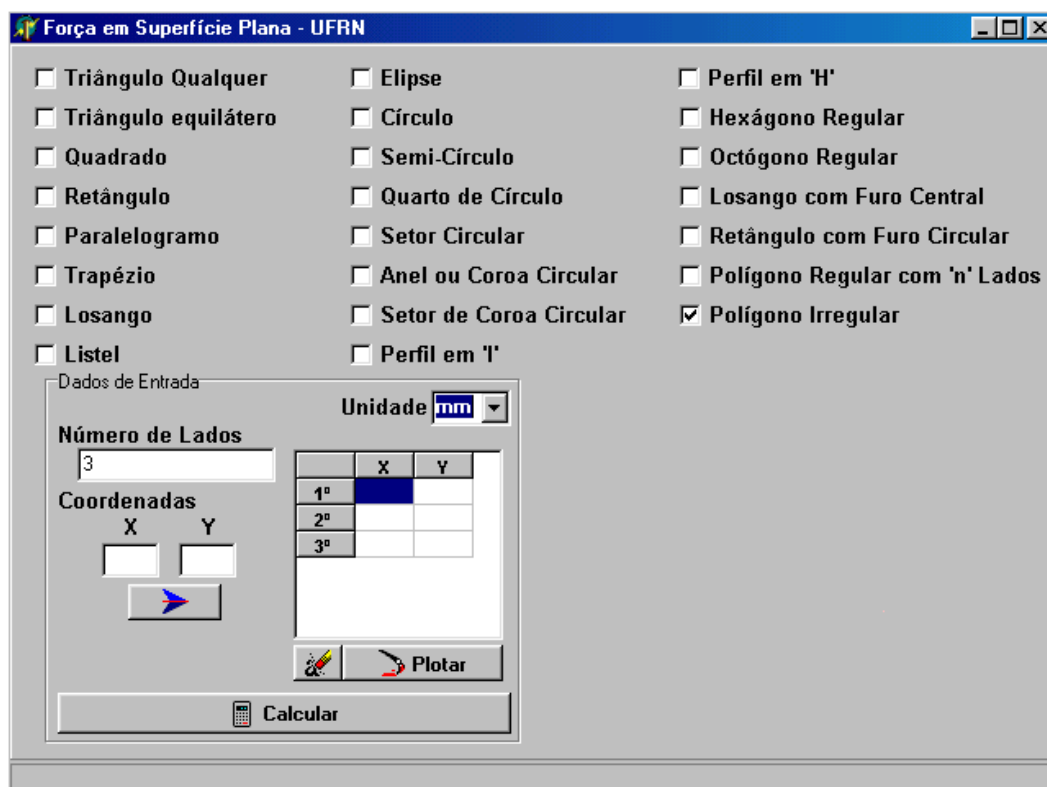


Figura 02 – Tela de entrada do programa

Toda a entrada de dados no programa é realizada por janelas de diálogos e menus de fácil utilização e em alguns casos por leitura de arquivo de texto criado pelo usuário com formatação especificada no manual de utilização.

O programa permite a escolha por parte do usuário do sistema de unidades a ser utilizado na entrada e saída dos dados, apresentando para isto uma caixa de diálogo com as seguintes opções: SI, Sistema Inglês e CGS.

Com o objetivo de facilitar a delimitação da superfície plana submersa para a qual se deseja calcular a força e sua posição de atuação, o programa foi dividido em dois blocos: Superfícies regulares - Onde a descrição da superfície é feita com a entrada dos elementos geométricos da mesma (lado, base, altura, raio, diâmetro, diagonal, etc); Superfícies irregulares - A superfície é delimitada pela entrada das coordenadas de seus vértices.

Para o caso de superfícies planas regulares o usuário pode optar por uma das seguintes formas de superfície: Triângulo equilátero, Quadrado, Retângulo, Losango, Paralelogramo, Trapézio, Hexágono regular, Octógono regular, Elipse, Círculo, Semi Círculo, Quarto de círculo, Perfil I e Perfil H. Assim a determinação de todos os parâmetros geométricos, (Área, Momento de inércia, Produto de inércia e Posição do centro geométrico), necessários para a obtenção da Força e Centro de Pressão (ponto de atuação da força) é realizada utilizando-se das equações formais de cálculo destes parâmetros.

Já no caso de superfícies irregulares, optou-se por fazer sua delimitação por meio de segmentos de reta. Com isto os elementos geométricos anteriormente citados foram calculados utilizando-se os seguintes conceitos: Área - Método da quadratura adaptativa, no qual a área é calculada através das coordenadas do vértice da superfície; Posição do Centro Geométrico - Momento estático de área, onde se obtêm a posição do centro geométrico de uma superfície complexa subdividindo-a em várias outras de fácil determinação; Momento de Inércia - Propriedade fundamental da integral da soma, onde o cálculo do momento de inércia das superfícies de configuração complexa é realizado a partir da subdivisão da mesma em

várias outras de configuração mais simples, calculando o momento de inércia da superfície de geometria complexa através da soma dos momentos de inércia de seus elementos constituintes.

Depois de determinado o tipo de entrada de dados, sistema de unidades, forma e delimitação da superfície, o programa permite que o usuário escolha o tipo de estudo que deseja realizar, apresentando as seguintes opções: cálculo da força sobre a superfície plana submersa, estudo do comportamento da força com a variação da profundidade máxima da superfície plana submersa, estudo do comportamento da força com a variação do ângulo de inclinação da superfície plana submersa em relação à superfície livre e o estudo do comportamento da força ao se fazer a rotação da superfície plana submersa em relação ao seu centro geométrico. Feito isto, são solicitados parâmetros para se descrever o fenômeno tais como: peso específico do líquido em que se encontra submerso a superfície, profundidade máxima da superfície ou intervalo de variação da profundidade e o ângulo de inclinação da superfície ou intervalo de variação da inclinação.

Feitos os cálculos o programa apresenta seus resultados na tela do computador e sob forma de arquivo com extensão (xls), para posterior exportação para o Microsoft Excel onde se geram gráficos para uma melhor interpretação dos resultados.

#### 4. CASOS EXEMPLOS

Com o objetivo de direcionar os estudos de modo que os alunos possam desenvolver uma visão crítica sobre o assunto, foram criados cinco casos exemplos, nos quais são variadas a geometria da superfície plana, a declividade do plano que a contém e a profundidade de imersão da mesma.

*Caso 01:* Cálculo da força resultante e do ponto de aplicação, tradicionais na Mecânica dos Fluidos.

Seja uma superfície retangular (3 m x 5 m) imersa em água contida em um plano que faz 30° com a superfície livre. Pede-se determinar a Força Resultante e o seu ponto de aplicação, quando a profundidade máxima da superfície é de 10 m.

Entrada de dados:

Sistema de unidades: SI.

Forma da superfície: Retangular.

Dimensões da superfície: Base = 3 m e Altura = 5 m.

Peso específico do líquido: 9806 N/m<sup>3</sup>.

Profundidade máxima: 10 m.

Inclinação da superfície: 30°.

Resultados:

Área: 15 m<sup>2</sup>.

Posição do centro geométrico (CG):  $X_{cg} = 1.5\text{m}$  e  $Y_{cg} = 2.5\text{m}$

Força resultante: 1287.04 kN.

Posição do centro de pressão (CP):  $X_{cp} = 1.500\text{m}$  e  $Y_{cp} = 2.619\text{m}$

*Caso 02:* Comportamento da Força e do seu ponto de aplicação, com a variação da profundidade máxima.

Para a mesma superfície retangular (3 m x 5 m) imersa em água contida em um plano que faz 30° com a superfície livre. Pede-se estudar o comportamento da Força Resultante e do seu

ponto de aplicação, quando a profundidade máxima variar no intervalo de 5m a 20m com incrementos de 1 m.

Entrada de dados:

Sistema de unidades: SI.

Forma da superfície: Retangular.

Dimensões da superfície: Base = 3 m e Altura = 5 m.

Peso específico do líquido: 9806 N/m<sup>3</sup>.

Inclinação da superfície: 30°.

Início do intervalo de variação da profundidade: 5 m.

Fim do intervalo de variação da profundidade: 20 m.

Passo de variação da profundidade: 1 m.

Resultados:

Área: 15 m<sup>2</sup>.

Posição do centro geométrico (CG): Xcg = 1.5m e Ycg = 2.5m

A variação da intensidade da força resultante e do seu ponto de aplicação são apresentadas nas Figuras 03 e 04.

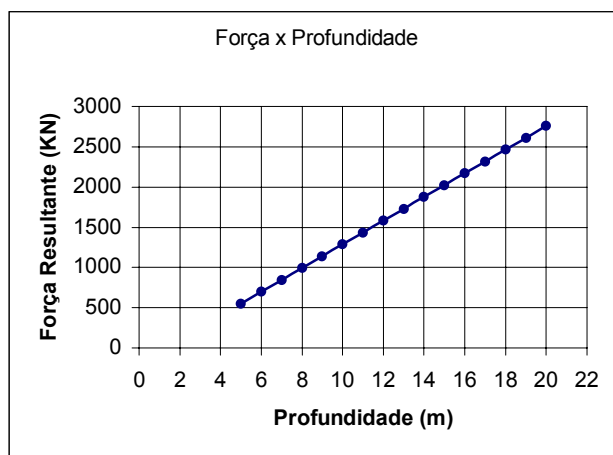


Figura 03 -Comportamento da Força Resultante com a variação da profundidade.

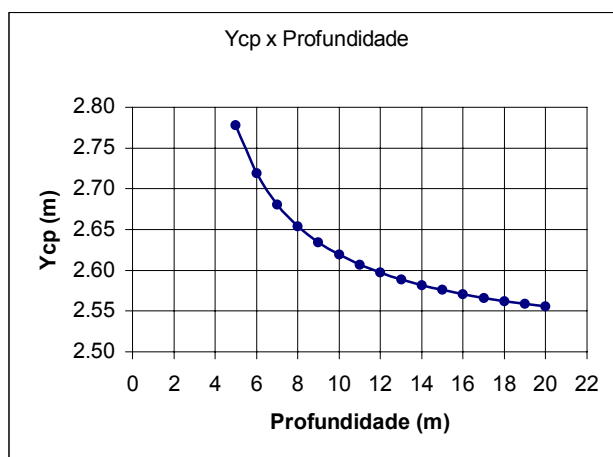


Figura 04 -Comportamento da ordenada y do Centro de Pressão com a variação da profundidade.

*Caso 03:* Comportamento da Força e do seu ponto de aplicação com a variação da declividade em relação a superfície livre.

Com a superfície retangular (3 m x 5 m) do exemplo anterior, imersa em água a uma profundidade de 10 m com a superfície livre. Pede-se estudar o comportamento da Força Resultante e do seu ponto de aplicação, quando a inclinação da superfície variar no intervalo de 0° a 90° com incrementos de 10°.

Entrada de dados:

Sistema de unidades: SI.

Forma da superfície: Retangular.

Dimensões da superfície: Base = 3 m e Altura = 5 m.

Peso específico do líquido: 9806 N/m<sup>3</sup>.

Profundidade máxima: 10 m.

Início do intervalo de variação da inclinação: 0°.

Fim do intervalo de variação da inclinação: 90°.

Passo de variação da inclinação: 10°.

Resultados:

Área: 15 m<sup>2</sup>.

Posição do centro geométrico (CG): X<sub>cg</sub> = 1.5m e Y<sub>cg</sub> = 2.5m

A variação da intensidade da força resultante e do seu ponto de aplicação são apresentadas nas Figuras 05 e 06.

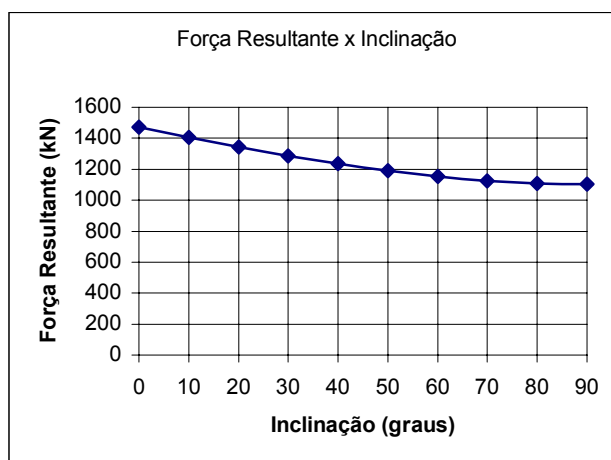


Figura 05 - Comportamento da Força Resultante com a variação da inclinação.

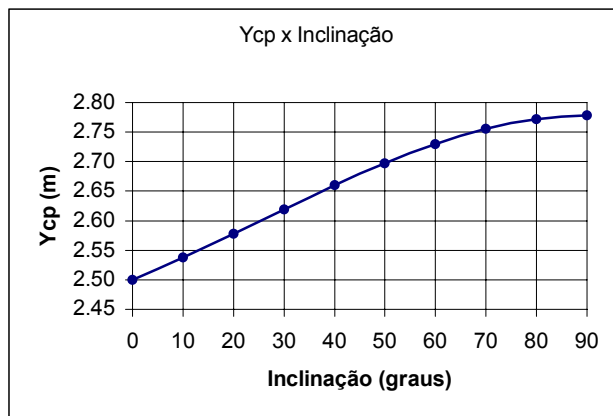


Figura 06 - Comportamento da ordenada y do Centro de Pressão com a variação da profundidade.

*Caso 04:* Análise da variação da posição do ponto de aplicação da força resultante, em função da rotação.

Seja uma superfície retangular (2 m x 4 m) imersa em água contida em um plano que faz 30° com a superfície livre. Pede-se estudar a variação da posição do ponto de aplicação da força resultante quando a profundidade do centro de gravidade da superfície é de 10 m e faz-se uma rotação da figura em torno do seu centro de gravidade (Figura 07).

Entrada de dados:

Sistema de unidades: SI.

Forma da superfície: Retangular.

Dimensões da superfície: Base = 2 m e Altura = 4 m.

Peso específico do líquido: 9806 N/m<sup>3</sup>.

Profundidade do centro de gravidade: 10 m.

Inclinação da superfície: 30°.

Resultados:

Área: 8 m<sup>2</sup>.

Força resultante: 784.48 kN.

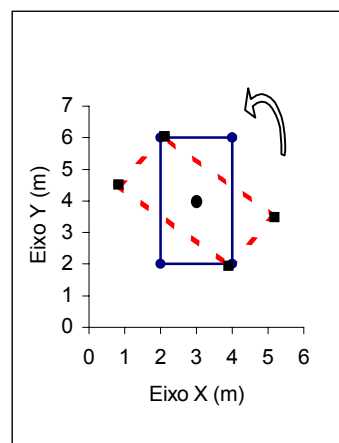


Figura 07- Superfície em estudo.

A variação do ponto de aplicação da força resultante é apresentada nas Figuras 08 e 09.



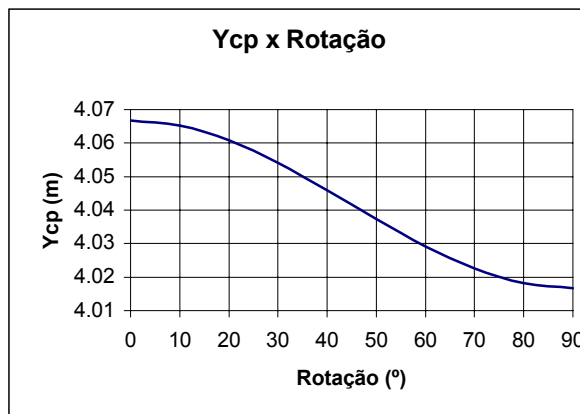


Figura 08 - Comportamento da ordenada y do Centro de Pressão com a rotação da figura.

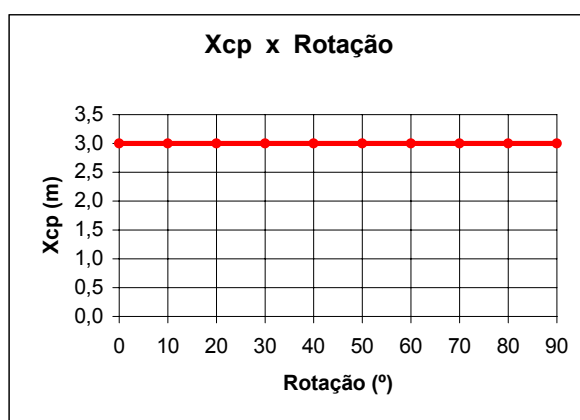


Figura 09 - Comportamento da ordenada x do Centro de Pressão com a rotação da figura.

*Caso 05:* Cálculo da força resultante e do seu ponto de aplicação para superfícies irregulares.

Seja uma superfície retangular irregular imersa em água contida em um plano que faz 30° com a superfície livre. Pede-se determinar a Força Resultante e o Centro de Pressão quando a profundidade máxima da superfície é de 10 m, dadas as coordenadas cartesianas da Figura 10.

Ponto	X	Y
1	2.0	2.0
2	4.0	1.5
3	5.5	5.0
4	3.5	4.0
5	1.5	4.0

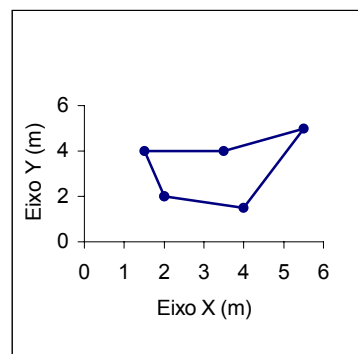


Figura 10 - Superfície em estudo.

Entrada de dados:

Sistema de unidades: SI.

Forma da superfície: Irregular.

Peso específico do líquido: 9806 N/m<sup>3</sup>.

Profundidade máxima: 10,5 m.

Inclinação da superfície: 30°.

Resultados:

Área: 7,12 m<sup>2</sup>.

Posição do centro geométrico (CG):  $X_{cg} = 3.38\text{m}$  e  $Y_{cg} = 3.12\text{m}$

Força resultante: 667.93 kN.

Posição do centro de pressão (CP):  $X_{cp} = 3.393\text{m}$  e  $Y_{cp} = 3.149\text{m}$

## 5. CONCLUSÃO

O programa aqui desenvolvido apresenta-se como uma ferramenta computacional bastante eficiente no auxílio da disciplina de Mecânica dos Fluidos.

A interface amigável oferecida pelo programa, bem como a rapidez na execução dos cálculos, permitem ao aluno-usuário analisar de forma crítica o comportamento da força resultante mediante variações de geometria, profundidade e declividade.

Do ponto de vista didático-pedagógico o programa vem apresentando bons resultados quando de sua utilização pelos alunos da graduação em Engenharia Civil.

Além de se observar um ganho significativo de interesse dos alunos sobre o tema, também se nota reflexos nas avaliações, onde ocorreu um considerável aumento no índice de acertos nas questões relativas ao assunto.

Outro fato positivo a ser observado é o do programa ter sido desenvolvido por alunos de graduação do curso de Engenharia Civil da UFRN. Isto tem estimulado outros alunos a procurarem este tipo de atividade junto aos professores do curso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CANTÚ, M. **Dominando Delphi 4**. São Paulo: Makron Books, 1998.

DOMINGUES, F.A.A. **Topografia e Astronomia de Posição: para Engenheiros e Arquitetos**. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, 1979.

MUNSON, B.R.; YOUNG, D.F.; OKIISHI, T.H.; **Fundamentos da Mecânica dos Fluidos**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1997.

PISSARENKO, G.S.; IAKOVLEV A.P.; MATVEIEV, V.V.; **Prontuário de Resistência dos Materiais**. Editora Mir Moscovo, 1985.

VENNARD, J.K.; STREET, R. L. **Elementos de Mecânica dos Fluidos**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A., 1978.

### COMPUTATION AS AUXILIARY TOOL IN THE FLUIDS MECHANICS GRADUATE COURSE

***Abstract:** The Fluids Mechanics graduate courses is part of the engineering courses, could be seen as base for the most advanced disciplines in the area of study of fluids. Then the importance of the sedimentation of the concepts in it presented for the graduation students. A lot of times this is attended by laboratory rehearsals that allow the visualization and like this*

*better understanding of the phenomena studied in the same. However it is verified the high implementation cost nowadays and/or maintenance of these laboratories. With the development mathematical/computational today existent, many phenomena before visualized only at laboratory can be interpreted already easily by these models. It also fits to stand out that some phenomena of difficult visualization in laboratories are today easily studied through computer. Example of that is the visualization of variations in the intensity and direction of the resulting force that it acts in a plane surface immersed in any fluid. Being like this, the present work has as objective presents the development and application of a program that it determines the force in any plane surfaces including geometry variation, depth and steepness. It also suggests examples cases to allow the sedimentation of the involved concepts.*

***Key-words:*** *Software development, Fluids Mechanics*