

PATROCINADORES

Universidad de Santiago de Chile
Federación Iberoamericana de Ingeniería Mecánica
Lan Chile
Banco de Crédito e Inversiones
Compañía de Telecomunicaciones de Chile S.A.
Embotelladora Andina S.A.

956-7069-44-1

956-7069-41-7

I.S.B.N. Nº

Imprime:

Archivos Industriales y Promociones Limitada "ARCHIVE"
Dirección: Ingeniero Budge Nº1074, Gran Avenida
Santiago – Chile
Teléfono: (56-2) 5517600

PRÓLOGO

El IV Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, organizado por el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Santiago de Chile, tiene como objetivo reunir investigadores, académicos, profesionales y alumnos de universidades, centros de investigación y empresas para exponer y discutir los avances en el conocimiento de las ciencias de la Ingeniería Mecánica y sus aplicaciones industriales.

Este evento continúa la tradición iniciada en 1993 por la Asociación Española de Ingeniería Mecánica y la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid, que organizó el 1er congreso. Los dos eventos siguientes se organizaron con éxito en Bello Horizonte (Brasil) y La Habana (Cuba).

En esta cuarta versión se recibieron 932 resúmenes, los cuales originaron 436 trabajos que se ordenaron en tres volúmenes. El volumen 1 agrupa los trabajos de MANUFACTURA, mientras que el volumen 2 los de MECÁNICA DE SÓLIDOS, y el volumen 3 los de TERMOFLUIDOS.

Ha sido un honor contar con la presencia de los relatores: Profesora Cristina Amon, Directora Institute for Complex Engineered Systems de Carnegie Mellon University (Estados Unidos); Profesor Eugenio Onate, Director de CIMNE de la Universidad de Cataluña (España); Profesor Walter Lindolfo Weingaertner, Director del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Federal de Santa Catarina (Brasil) y Ricardo Reich, Coordinador General del MECESUP (Chile).

Desearnos expresar nuestros agradecimientos a la Universidad de Santiago de Chile por su patrocinio y el reconocimiento a las empresas amigas que nos extendieron su generosa colaboración: Lan Chile, Banco de Crédito e Inversiones, Compañía de Telecomunicaciones de Chile S.A. y Embotelladora Andina S.A.

MARIO F. LETELIER
Presidente Comité Organizador
IV Congreso Iberoamericano de
Ingeniería Mecánica – CIDIM '99

COMITÉ CIENTÍFICO

Presidente:

Nelson O. Moraga, Universidad de Santiago de Chile

Evaluadores:

Gonzalo Acuña, Universidad de Santiago de Chile

Marco Béjar, Universidad de Chile

Guillermo Bonta, Universidad de Santiago de Chile

Leoncio J. Briones, Universidad de Santiago de Chile

Valeri I. Bubnovich, Universidad de Santiago de Chile

Oscar Bustos, Universidad de Santiago de Chile

Diego Celentano, Universidad de Santiago de Chile

Luciano Chiang, Pontificia Universidad Católica de Chile

Pedro J. Corral, Universidad de Santiago de Chile

Marcela Cruchaga, Universidad de Santiago de Chile

Marcelo Eigueta, Universidad de Chile

Enrique Escobar, Universidad de La Serena

Alejandro Font, Universidad de Santiago de Chile

Ramón Frederick, Universidad de Chile

Luis Gaete, Universidad de Santiago de Chile

José Galdames, Universidad de Santiago de Chile

Jorge Garrn, Universidad de Santiago de Chile

Alejandro G. Gutiérrez, Universidad de Santiago de Chile

Ismael Gutiérrez, Universidad de Santiago de Chile

Amador M. Guzmán, Universidad de Santiago de Chile

Ramón F. Hernández, Universidad de Santiago de Chile

Mario F. Letellier, Universidad de Santiago de Chile

Ignacio Lira, Pontificia Universidad Católica de Chile

Vicente Martínez, Universidad de Santiago de Chile

Nelson O. Moraga, Universidad de Santiago de Chile

Héctor Muñoz, Universidad de Santiago de Chile

Maritza Páez, Universidad de Santiago de Chile

Pablo Pavlov, Universidad de Santiago de Chile

Ricardo Pesce, Universidad de Santiago de Chile

Plácido Riquelme, Universidad de Santiago de Chile

César E. Rosas, Universidad de Santiago de Chile

Claudio Saavedra, Universidad de Concepción

Pedro Saavedra, Universidad de Concepción

Alejandro Sáez, Universidad Técnica Santa María

Manuel D. Salinas, Universidad de Santiago de Chile

Guillermo Sánchez, Universidad de Santiago de Chile

Roberto E. Santander, Universidad de Santiago de Chile

Aquiles Sepúlveda, Universidad de Chile

Edmundo Sepúlveda, Universidad Técnica Santa María

Juan Sepúlveda, Universidad de Santiago de Chile

Yolanda Vargas, Universidad de Santiago de Chile

Arturo Velásquez, Universidad de Santiago de Chile

Baldomero Westermann, Universidad de Santiago de Chile

INDICE DE TRABAJOS

ACUSTICA

Durán, Mario; Miguez, M. y Nedelec, J. Estabilidad numérica en el cálculo por ecuaciones integrales de altas frecuencias en acústica.

Farago, Joao C.; Barbieri, N. y Barbieri, R. Análise experimental e simulacao numérica de abafadores acústicos.

Gerges, Samir N.; Vergara, E. y Melo, G. de. Ensaio experimentais e simulacoes numéricas de protetores auditivos tipo tampao com sinais sonoros de apito.

Gerges, Samir N.; Vergara, E. y Birch, R. Modelagem numérica e medicoes acusticas de protetores auditivos tipo tampao para ruidos impulsivos.

Eras, Salvador A. de las y Ribas, J. Influencia del sistema y de la frecuencia de trabajo sobre el valor de la conductancia sónica de componentes neumáticos.

BIOINGENIERIA

Conci, Aura y Marinho, L. Identificacao de cancer e tumores dos seios pela analise da forma de suas imagens.

Moraga, Nelson O.; Saravia, M. y Sánchez, G. Predicción numérica de flujo isotérmico no newtoniano transiente en ducto de sección variable mediante el método de volúmenes finitos.

Escobar, Rodrigo A.; Guzmán, A. y Amon, C. Características del flujo y del transporte de oxígeno en un oxigenador de membrana intravenoso ordenadas por una pared pulsante.

Loyola, Hugo J.; Guzmán, A. y Amon, C. Efecto del número de fibras en las características del flujo en un oxigenador de membrana intravenoso.

ENERGIA TERMICA

Abreu, Samuel L. de y Colle, S. Mapas de optimizacao de sistemas de aquecimento solar utilizando dados de irradiacao estimados por satellite.

Antunes, Julio S. y Luz-Silveira, J. Modelo computacional para análise exergoeconomica de sistemas de cogeneracao em ciclos combinados.

Araque, Jesus O.; Fygueroa, S. y Martín, M. Estudio paramétrico de la velocidad de combustión laminar.

Avelliar, Luis H.; Carrocci, L. y Luz-Silveira, J. O aproveitamento de residuos com a producao de energia – estudo de caso uma análise economica.

Barros, José; Valle, R. M.; Barros, C. y Figueiredo, R. Projeto de banco de ensaio de motor aeronautico.

- Cabello, Juan y Goytizolo, R. Metodología para el cálculo del balance térmico de sistemas oleohidráulicos.
- Castro, José N.; Silveira, J. y Castro, J. Análise técnica económica: Comparacao de pequenas centrais hidráulicas fundamentadas nos custos de producao de eletricidade. República Argentina sobre el comportamiento de los motores de autotracción.
- Defranco, Gabriel y Zabaleta, A. Influencia de la composición química del gas natural de la República Argentina sobre el comportamiento de los motores de autotracción.
- Díaz, Francisco y Montalvo, S. Aumento de la producción de bioenergía mediante un nuevo procedimiento.
- Duarte, J.; Hernandez, O.; Oliveira, J. y Pimenta, J. A superheated vapour cycle for refrigeration compressor testing.
- Forti, Antonio W.; Becker, M.; Okabe, E. y Dedini, F. Estudo do desempenho de trópicos de tracao humana com transmissões escalonadas e transmissões continuamente variáveis (CVT's).
- Franca, Geraldo A.; Junior, L. y Nogueira, C. Otimizacao da producao de carvão vegetal em escala industrial.
- Fushimi, Alberto. Modelización de un sistema termoenergético industrial complejo en planilla de cálculo.
- García, Carmen E. y Lugo, N. Detección de fallas en motores de combustión interna mediante el análisis de espectros de vibración.
- Hanriot, Sérgio M.; Valle, R. y Medeiros, M. de. Estudo experimental dos fenômenos pulsantes em um coletor de aspiracao de motor de combustao interna alternativo de um cilindro.
- Klein, Fabiana L. y Seieghim, P. Caracterizacao tempo-frequencia de um escoamento vertical gás-líquido.
- Lapuerta, Magín; Hernández, J.; Tinaut, F. y Horrillo, A. Cálculo de la composición en equilibrio y las propiedades termodinámica de los productos de la combustión de un hidrocarburo oxigenado y nitróulfurado.
- Leanza, Luis N.; Parente, J.; García, C. y Nemer, O. Combustión y eficiencia industrial en pequeñas y medianas empresas.
- Lira, Juan G. Un modelo matemático para motores Diesel de aspiración natural.
- Lira, Juan G.; Figueroa, R. y Rondinel, C. Sistema para mejorar la estabilidad de los motores Diesel en regímenes de bajas cargas y velocidades.
- Lozano, Miguel A. Optimización económica de sistemas simples de cogeneración.
- Lugo, Raúl; Lazcano, L.; Toledo, M.; Tolentino, G. y Sánchez, F. Metodología para la determinación del exceso de aire en turbinas de gas.

- Luz, José; Martins, E. y Ragonha, L. Estudo termoecônômico da implantaçao de um sistema de cogeraçao utilizando célula de combustível.
- Magalhães, Paulo Filho y Perrenoud, R. O Consumo de energia em sistema público de abastecimento de água.
- Mantilla, Gilberto y González, R. Puesta en marcha de un reactor UASB.
- Marqui Junior, Carlos de; Canales, A.; Leal, G. y Avila, P. Analise de sistemas de refrigeracao de motores Diesel.
- Marqui Junior, Carlos de; Canales, A.; Leal, G. y Avila, P. Estudo do acompanhamento viscoso e ventiladores de refrigeracao de motores Diesel.
- Martin, Maria J.; Fygueroa, S. y Araque, J. Estudio técnico de la formacion del NO_x en motores a gasolina.
- Mendonça Dias, José A.; Lopes Pereira, Z. y Ferreira, A. Modelos de regressao paramétrica. Uma applicacao a redes de distribuicao de energia eléctrica.
- Moran, Oscar D.; Verdur, G.; Aguilera, O.; Rossi, A. y Mercuri, L. Motor rotativo Verdur.
- Moreno, Jesús A. Comportamiento de variables de estado en un compresor alternativo usando gas metano como fluido de trabajo.
- Nigro, Norberto M.; Ambroggi, L. y DeFranco, G. Simulacion computacional de motores de combustion interna.
- Oliveira, Paulo C. de y Nascimento, M. do. Um estudo térmico e econômico de um ciclo de potencia utilizando biomassa gasificada em sistemas de cogeraçao quantificando as vantagens ambientais.
- Oliveira, Paulo A. de; Ebinuma, C. y Luz, J. Ponto ideal para a localizaçao de purgadores em linhas de distribuicao de vapor: Comparacao energética e exergetica.
- Ponte, Maria José; Ponte, H. y Gubulin, J. Aplicacao de reatores eletroquímicos de leito particulado na remocao de metais pesados de efluentes.
- Quinto, Pedro; Gutiérrez, C. y Jiménez, J. Coeficiente de operacion (COP) del ciclo de Carnot de refrigeracion endorreversible.
- Rodriguez, Carlos M. Analisis comparativo del mantenimiento para locomotoras Diesel y de vapor.
- Sainas, Gonzalo E. Analisis de un scrubber empacado para el tratamiento de los humos generados por al combustion de leña.
- Samat, David A.; Diaz, M.; Galdeano, H. y Barbieri, A. Metodologia empirica para el cálculo de la sintonizacion de escape.
- Sarmiento, Pedro y Ravanal, M. Preparacion de triángulos de Ostwald para combustibles chilenos.

Silva, Celso L. da. Aspectos energéticos e económicos da incineração de resíduos de serviços de saúde decorrentes da segregação dos resíduos da origem.

Soto, Felipe y Santos, A. M. dos. Estudio comparativo experimental de un banco dinámico de un motor usando alcohol, gasolina y una mezcla de ambos.

Teixeira, Flavio M.; Lora, E. y Menezes, R. Avaliação de diferentes opções para a recuperação de energia durante a incineração de lixo.

Tinaut, Francisco V.; Antolin, G.; Briceno, Y. y Castaño, V. Producción de biogás de a partir de aceites vegetales usados.

Tomoyose, Rodrigo; Santos, A.; Rodrigues, F. y Resende, W. Influência da temperatura no coeficiente de atrito em pastilhas de freio automotivístico.

Tuna, Selo E. y Luz, J. Um método de análise termo-económica para optimização de sistemas de cogeração aplicado a uma indústria química brasileira.

Veloso, Ricardo C.; Duarte, M. y Menegatti, W. Identificação de falhas em motores de combustão interna.

Venturini, Osvaldo J. y Varella, S. Análise do potencial de uso industrial de turbinas a gas operando sob o ciclo Holzwarth.

Volpe, Zilmara y Luz-Silveira, J. Análise técnica e económica da aplicação de placas de EPS (Poliestireno expandido) na construção de um edifício comercial: Uma opção de conservação de energia.

LUBRICATION Y TRIBOLOGIA

Bonet, Carlos M. y Barroso, R. Diagnóstico rápido a través del análisis del aceite.

Braga, Durval U.; Diniz, A.; Coppini, N. y Miranda, G. Utilização da técnica de mínima lubrificação por névoa na furacao da liga de aluminio-silicio SAE-323.

Escobar, Enrique F.; Reyes, J. y Escobar, C. Nuevo criterio de cálculo para la determinación del límite de carga agnppamiento en contactos lubricados de presión extrema.

Espinosa, Henry; Caraballo, M. y Rodriguez, M. Comparación de los métodos de índices y sistemas expertos en el tribo diagnóstico de motores Diesel.

Hernandez, Oscar S.; Lawinsky, M.; Duarte, J. y Pimenta, J. Simplified prediction of lubricant influence on refrigerant mass flow rate evaluation.

Loreto, Ramón E.; Medina, J. y Velandía, H. Estudio experimental entre el desgaste y contaminación del aceite lubricante con la pérdida de eficiencia para un compresor recíproco.

Losada, Carlos E. y Pérez, L. Estudio tribológico de compuestos comerciales mejorados del régimen de lubricación.

Nogueira, Isabel; Morao Dias, A.; Gras, R. y Progn, R. Contacto de componentes mecánicos em regime de lubrificacao limite.

Suárez, Jorge L.; Suárez, X.; Montesino, O. y Villalonga, J. Influencia de la combinación presión-velocidad (PV) en los parámetros tribológicos de cojinetes sintentizados.

MECANICA DE FLUIDOS

Araujo, Alex M. y Melo, M. de. Circulacao (2D-H) no estuano do Recife/Pe – Brasil.

Argentieri, Henrique G.; Padilha, A. y Scalon, V. Análise do escoamento hidrodinámico de filme em superficie cilíndrica aletada.

Ayala, Orlando F.; Larrazabal, A. y Garcia, E. Desarrollo de un software para la selección de las bombas centrifugas.

Baillich, Vicenc; Tomero, J.; Bergada, J.; Coll, L.; Valencia, E. y Roig, F. Estudio teórico-experimental del comportamiento del fluido en una tobera murata de hilatura.

Barbazeill, Marcos R. y Seixack, A. utilizacao do modelo de dois fluidos para analise do escoamento bifásico em trocadores de calor tubo capilar-linha de sucção.

Bugna, Luis A.; Valera, J. y Verniere, P. Estimación de la capacidad de remolque de una hélice sumergida de propulsión naval.

Cáceres, Cristian G. Comportamiento del perfil de velocidad dentro de un túnel de viento subsónico bajo diferentes regímenes de funcionamiento.

Campollina, Geraldo A.; Miranda, G. y Valle, R. Simulacao do escoamento turbulento tridimensional utilizando modelos de fechamento de segunda ordem.

Carriac, Amílcar; Lucatoli, A.; Fernández, F.; Iurman, L. y Ziegler, D. Diseño y construcción de un equipo hidráulico para ensayo biaxial de chapas metálicas.

Collado, Marta; Espinoza, H. y Ortiz, Y. Estudio del efecto de la variación del flujo, caída de presión y levantamiento sobre el coeficiente de descarga de válvulas de disco de compresores alternativos.

Crivieraro, Kelen C. y Seleguin, P. Utilizacao de redes neurais para identificación de regímenes de escoamento bifásico-horizonta.

Cruchaga, Marcela; Celentano, D. y Astorga, R. Estudio bidimensional del proceso de llenado de moldes.

Díaz, Alen; López, R.; Morales, J.; Lizardi, A. y Lara A. Flujo rotatorio en un sello hidráulico par abombas centrifugas.

González, E.; Mihana, A.; Baeza, A.; Rodríguez, M. y Marzal, F. Primary element geometry an exhaust ventilation system for open surface tanks.

González, Hernán A. y Moraga, N. Un método de solución de las ecuaciones de Navier-Stokes utilizando diferencias finitas estabilizadas y penalizadas.

- Heras, Salvador A. de las y Rivas, J. Comparativa teórico-experimental de distintos algoritmos para el cálculo del flujo másico.
- Itovich, Griselda R. Problemas de bifurcación de un flujo axisimétrico entre dos cilindros que rotan.
- Lima, José J. de y Oliveira, W. de. Aplicacao do método de estimacao de parâmetros na determinacao das características do escoamento obtidas por meio de sonda aerodinamica.
- Letellier, Mario F. y Cáceres, C. Flujo plástico confinado en medios porosos.
- López, Raymundo; Morales, J.; Díaz, A.; Vaca, M.; Lara, A. y Lizardi, A. Análisis del flujo a través de una placa de orificio.
- Melo, Carlos A. de. Algoritmo computacional para simulacao, projeto e optimizacao de sistemas de bombeamento.
- Montecinos, J.P. y Arauco, S. Simulación del flujo del polímero en una extrusora.
- Pastor, Hernani; Riveros, J. y Buenaño, J. Software para la selección de bombas según el método de Coleman-Steele.
- Ramirez, Ramiro C.; Petrucci, D. y Filho, N. Um modelo de escoamento potencial para calculo da distribúicao de pressões em tomo de aerofolios com separacao massiva.
- Ronchi, Augusto; Razuk, P. y Palma, G. A eficiencia dos homogeneizadores na preparacao de emulsões.
- Salinas-Casanova, Daniel A.; Deschamps, C. y Prata, A. Escoramento turbulento através de difusores radiais com inclinacao entre os discos.
- Sánchez, Juan C.; Tornero, J.; Bergada, J.; Coll, L.; Valencia, E. y García, M. Análisis teórico-experimental del flujo en un tobera coaxial para hilatura neumática.
- Silva, Paulo F.; Schwarz, V. y Dias, J. Influencia da forma geométrica do filme de óleo na performance de mancais hidrodinamicos de sapatas retangulares.
- Tadeu, Dawson y Martini, F. Visualizacao em túnel de vento com foguetes para determinacao da separacao da camada limite.
- Zurita, Víctor J.; Rosa, V. de la y Abugaber, J. Diseño aerotermodinámico de una turbina de gas radial.
- MEDIO AMBIENTE**
- Alva, Francisco; Diaz, M.; Samat, D. y Galdeano, H. La transformación de motores Diesel a GNC y su relación con la contaminación ambiental.
- Caminos, Jorge A.; Andrés, D.; Bianco, D.; Ferrero, E. y Mackler, C. Investigación de la contaminación por dióxido de nitrógeno en las ciudades de Rosario y Santa Fe en forma simultánea.

Caminos, Jorge A.; Bianco, D. y Doyharzabal, J. *Uso de la energía y la contaminación en el sector industrial.*

Conci, Aura y Monteiro, L. *Utilización de momentos na identificación automática de elementos varados adquiridos com ruidos.*

Leanza, Luis N.; Parente, J.; García-Ebbens, C. y Varanese, C. *Monitoreo de contaminantes atmosféricos mediante sistemas activos en fase húmeda.*

Lluque, Manuel H. *Evaluación de nuevas tecnologías para el tratamiento de los residuos sólidos biocontaminados.*

Lluque, Manuel H. *Impacto ambiental en los proyectos hidroenergéticos en las zonas andinas de Sudamérica.*

Lluque, Manuel H. *La incineración en dos etapas como sistema eficiente para el tratamiento de residuos sólidos biocontaminados.*

Lluque, Manuel H. *Sistema de quema de residuos municipales para generar energía eléctrica en la ciudad de Lima.*

Okimoto, María L.; Kruger, E. y Bormann, O. *Capacidade de regeneracao de agua na regio Metropolitana de Curitiba: busca de solucoes através da gestao ambiental sustentável.*

TRANSFERENCIA DE CALOR

Abugaber, Juan; Tolentino, G.; Sánchez, F. y Toledo, M. *Procedimiento experimental para evaluar térmicamente intercambiadores de calor compactos.*

Alarcón, Mariano; Alhama, F.; Zueco, J. y González, C. *Comportamiento transitorio de aletas con generación interna de calor.*

Alhama, Francisco; Alarcón, M.; Zueco, J. y González, C. *Simulación por redes de la conducción térmica no lineal en geometrías cilíndricas y esféricas.*

Alvarez, Gabriela; Medina, J.; Estrada, C. y Lira, L. *Aplicación de las soluciones reales y complejas de las ecuaciones de Luikov de transferencia de masa y energía.*

Andrade, Claudia R. y Zapparoli, E. *Conveccao mista em dutos horizontais de secacao circular.*

Bandarra, Enio P.; Saiz, J. y Lima, C. *Avaliacao experimental do coeficiente de transferencia de calor na evaporacao do HFC-134^a em tubos horizontais.*

Bandarra, Enio P.; Saiz, J. y Lima, C. *Estado da arte das correacoes para a determinacao do coeficiente de transferencia de calor no escoamento com mudanca de fase de refrigerante.*

Barral, Jorge R.; Galimberti, P.; Mola, J.; Caracoche, F. y Lema, A. *Diseño, construcción y análisis de un colector acumulador integrado tubular de bajo costo.*

- Bubnovich, Valeri; Rosas, C.; Futko, S. y Dobrego, K. Localización de la onda de combustión de un calentador poroso en forma del disco acompañada por el intercambio intensivo de calor con el entorno.
- Bubnovich, Valeri; Santader, R.; Dobrego, K. y Zhdanok, S. Análisis de la estabilidad térmica e hidrodinámica del frente de combustión del gas en medios poroso.
- Campos, Gisleine P. de; Coelho, R. y Oliveira, J. de. Estudo da distribuição de temperaturas em dressadores de diamante sintético usando método de elementos finitos.
- Durán, Mario; Ortega-Torres, E. y Stein, R. Un método numérico para el cálculo de las inestabilidades de un modelo de solidificación de una aleación binaria.
- Escobar, Rodrigo A. y Guzmán, A. Modelo de flujo y transporte difusivo-convectivo de calor en canales de paredes sinusoidales.
- Fiesch, Carlos A. y Barp, A. Avaliação "a priori" da incerteza em sistemas modulares de medicao de temperatura.
- Fonseca, Edel y Beaton, P. Obtenção experimental de los campos de velocidades del horno de la caldera reto CV 2518 remodelada para quemar el bagazo en torbellino horizontal.
- Frederick, Ramón L. Significado de la temperatura media del fluido de la convección natural de un recinto cúbico con fuentes térmicas de áreas diferentes.
- Fuentes, Ricardo E. y Carvajal, L. Solución de problemas de campos con diferencias finitas en mallas irregulares y soluciones analíticas locales.
- González, Juan J. y Yanagihara, J. Transferencia de calor y pérdida de carga en intercambiadores de calor con dos filas de tubos aleados con generadores de vórtices longitudinales.
- Gordon, Manuel; Terres, H.; Reyna, F. y León, A. Diseño y análisis experimental del receptor para un concentrador solar de disco parabólico.
- Gutiérrez, Alejandro G.; Valverde, F. y Guzmán, A. Desarrollo de un modelo computacional termo-elástico de una campana extractora de gases de convertidor de cobre.
- Gutiérrez, E.; Troyani, N.; Layton, W. e Iliescu, T. Distribución de temperatura en las esquinas de una celda de reducción de aluminio tipo Hall-Heroult.
- Hermes, Christian; Melo, C. y Negro, C. Simulação numérica do comportamento transiente de um trocador de calor tubo capilar – linha de sucao do tipo concentrico.
- Koury, Ricardo N. y Machado, L. Modelagem numérica de um sistema de refrigeração agua-agua.
- Lara, Araceli; Morales, J.; López, R.; Diaz, A.; Sandoval, D. y Lizardi, A. Análisis exergético del ciclo de refrigeración de tres fluidos.

- Lira, Leonel; Xaman, J.; Chávez, Y. y Morales, J. Equipo para medición de conductividad térmica de materiales aislantes.
- Luz, José; Freitas, E.; Reis, J. y Gouvea, P. Análise experimental de um sistema de refrigeração visando a produção de ar quente/seco.
- Machado, L.; Koury, R.; Franca, G. y Augusto, F. Influência da fracção de vazío sobre a cálculo da massa de fluido em um escoamento bifásico.
- Marcondes, Francisco; Santana, L. de y Praon, A. Comparação de diversas funções de interpolação na solução de problemas de convecção-difusão.
- Medeiros, Jesus M.; Marcondes, F. y Gurgel, J. Convecção natural numa cavidade porosa utilizando o modelo generalizado com porosidade variável.
- Méndez, F. y Treviño, C. The conjugate conduction natural convection heat transfer along a thin vertical plate with non-uniform internal heat generation.
- Moraga, Nelson y Labrín, G. Predicción del efecto de la variación de las propiedades termodinámicas del aire y el agua en la convección forzada en un ensanchamiento brusco asimétrico.
- Morales, José M.; Lira, L. y Xaman, J. Conductividad térmica de materiales de construcción.
- Nicolau, Vicente de P. y Balen, F. Identificación de propiedades radiativas espectrales de muestras de vidrio plano.
- Nicolau, Vicente de P.; Guths, S. y Barazzetti, R. Medição comparativa da emissividade de superfícies em ondas longas.
- Oliveira, Fabio S.; Scorano, F. y Guedes, R. Análise de equações de difusão não-lineares através da técnica da transformada integral generalizada.
- Palma, Geraldo L.; Razuk, P.; Ronchi, A. y Losnak, C. Um estudo de mistura em leito fluidizado.
- Panissi, Denio L. y Menon G. Convecção de Boussinesq-Marangoni em um sistema com dois fluidos imiscíveis superpostos.
- Peres, Karen G.; Marczak, L. y Viêimo, H. Análise do efeito de inclusão do transporte de massa no processo de transferência de calor em paredes de edificações.
- Quinto, Pedro; Castillo, R. Mejoramiento del método de Delaware para el diseño de intercambiador de calor de coraza y tubos.
- Reyes, Alejandro y Vidal, I. Coeficientes de transferencia de calor fluido-partícula en un lecho de chorro agitado.
- Rosas, César; Moraga, N.; Bubnovich, V. y Ahumada, C. Predicción del comportamiento termo y fluidodinámico de tubo de calor con mecha de geometría variable.

- Sanchez, Manuel A.; Rebollo, D.; Alba, F. y Campo, A. *Incremento del intercambio térmico en componentes electrónicos por medio de deflectores dobles.*
- Scotano, F. y Guedes, R. *Uma abordagem analítico – numérica para a solução de equações de difusão acopladas por contornos.*
- Segura, Julio; Zarea, S. y García, F. *Simulación numérica del comportamiento termo-fluidodinámico de un micro tubo de calor.*
- Magalhães, Pedro S.; Silveira, J.; Carvalho, J. y Magalhães, P. *Estudo de transferência de calor por convecção e radiação quando da conversão de forno elétrico para forno a gás natural.*
- Valencia, Alvaro. *Simulación del flujo turbulento y la transferencia de calor alrededor de un cuerpo de sección cuadrada.*
- Vialta, Guillermo y Ortiz, J. *Modificaciones na estrutura de escoamentos turbulentos em canal devido a adicao de polimeros.*

BIONGENIERIA

IDENTIFICAÇÃO DE TUMORES DOS SEIOS PELA ANÁLISE DA FORMA DE SUAS IMAGENS.

Aura Conci, Luciana Marinho Soares
 Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e em Computação Aplicada e Automação PGM/C/CAA
 Universidade Federal Fluminense - UFF

r. Passo da Pátria 156 CEP 24210-240, Niterói, RJ - Brasil

RESUMO

Este trabalho considera elementos descritores da forma na identificação de lesões em mamografias. Estes descritores se baseiam no contorno e em análise do tensor de inércia e seus invariantes a deslocamentos, rotação e escala. Uma implementação para identificação de calcificações, tumores e cânceres em imagens é apresentada. Um banco de mamografias para análise e pesquisa foi estabelecido. Deste, cinquenta e dois casos com diagnóstico comprovado foram usados para treinar o sistema. Depois de extensa experimentação funções discriminantes e critérios de vizinhança são combinados para classificação das massas presentes nas imagens. A taxa de reconhecimento correto dos tumores é de 100% em massas de baixa-densidade.

CONCEITOS BÁSICOS DE MEDICINA

As células são unidades fundamentais que constituem os seres vivos. Crescimento é o aumento do tamanho de um tecido por um aumento no número ou tamanho de suas células, é sinônimo de desenvolvimento. Neoplasia é um processo morbido que se inicia com um incontrolado crescimento de tecido, sempre começa pela transformação de células normais, nunca serve a nenhum fim útil e é frequentemente fatal. Tumor, blastoma, câncer, carcinoma são sinônimos de neoplasias. As neoplasias ou tumores dividem-se em benignos e malignos, de acordo com o comportamento biológico. Os malignos são potencialmente mortais. Metástase é a disseminação para a formação de colônias distantes que duplicam todos os efeitos destrutivos da neoplasia primária. A capacidade que os tumores malignos possuem de infiltrar os tecidos adjacentes e formar focos de crescimento metastático em locais distantes é responsável pelo risco letal das neoplasias malignas. Como os tumores benignos não possuem o potencial maligno das metástases, seu significado clínico depende inteiramente de sua localização e função. As diferenças entre neoplasias malignas e benignas podem ser melhor entendidas pela tabela abaixo (Tavassoly, 1992):

Característica	Benigna	Maligna
Crescimento	Expansivo	Infiltrativo
Velocidade de crescimento	Lenta	Rápida
Pseudo-cápsula	Presente	Ausente
Invasão	Ausente	Presente
Metástases	Ausente	Frequente

Table 1 - Diferenciais entre as neoplasias benignas e malignas

A mamografia é a única maneira segura de detectar o câncer antes que exista uma massa palpável no seio (pode detectar microcálculos com diâmetro menor que 1mm, e frequentemente, associadas com lesões malignas). Além do exame periódico ou screening, as mamografias são recomendáveis para: avaliar cada mama quando tiver sido feito um diagnóstico de câncer de mama potencialmente curável; avaliar uma massa na mama questionável ou outras mudanças suspeitas na mama; procurar por um câncer de mama oculto em uma mulher com doença metastática em nódulos axilares ou em outros lugares; examinar um grupo de mulheres com alto risco de câncer de mama; examinar mulheres antes de operações cosméticas ou de biópsias; acompanhar mulheres que tenham sido tratadas com cirurgia de conservação da mama e radiação. Mulheres entre 40 e 49 anos devem fazer um mamograma a cada 1-2 anos. Mamogramas anuais são indicados para mulheres com mais de 50 anos. Mulheres de alto-risco devem fazer um mamograma anual e exames semestrais. As lesões podem ser malignas ou benignas. Nas lesões benignas as formas e contornos são bem definidos, frequentemente com um halo hiperrtransparente peritérico e densidade homogênea. Nas lesões malignas as formas são mal definidas, frequentemente estreadas, espiculadas ou com formações do tipo cauda de cometa. No caso de microcálculos (minúsculas partículas de cálcio) as lesões são pequenas, com formas e tamanhos variados (Kopans, 1989). As figuras 5 e 6 apresentam exemplos de lesões benignas e malignas respectivamente.

Análise de imagens por momentos

Vários tipos de momentos têm sido utilizados para reconhecer padrões invariantes de imagens nas mais diversas formas de aplicação (Wodds e Boyers, 1996). Momentos ortogonais, momentos de Legendre, momentos de Zernike, momentos rotacionais, momentos complexos, momentos regulares ou geométricos são alguns dos mais frequentes. Cada um destes tem características e habilidades próprias no que se refere a capacidade de representação de imagens, sensibilidade ao ruído e redundância de informações que carrega. Em teoria, as informações da imagem podem ser reconstruídas a partir dos momentos a ela associadas para qualquer conjunto de momentos, desde que seja usado um número grande destes. Quando o objetivo da utilização dos momentos é a recuperação de uma imagem a partir dos momentos extraídos dela os momentos ortogonais e de Zernike são mais adequados. Os momentos ortogonais são usados quando invariância a rotação é necessária para os momentos em todas as

TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS

Diversos trabalhos tratam de aspectos ligados a melhoria de imagens mamográficas (Chang e Laine, 1997), possibilitando uma análise mais acurada (Méndez et al., 1996). O realce das características visuais da mama, através de uma compensação da densidade nas imagens são também encontradas (Laine et al., 1994). Alguns trabalhos consideram a identificação de tumores benignos e malignos (Boyd, 1997). O uso de técnicas de multiresoluções para detecção de lesões esteladas (Jiang et al., 1997) também pode ser encontrado (Liu e Delp, 1997). Um método baseado em modelos probabilísticos para a classificação e detecção de é usado em (Li et al., 1997). A separação da mama em regiões de densidades diferentes usando técnicas especiais para detecção em cada uma delas é apresentado em (Kim e Park, 1997). Parâmetros de textura baseados em padrões estatísticos são utilizados em (Lorey et al., 1995). A extração de características baseada na dimensão e forma do tecido tumoral para identificação das lesões é usada em (Shen et al., 1994). Neste trabalho usaremos análise por momentos geométricos e técnicas de segmentação de imagens (Hussain, 1991).

A interpretação de uma mamografia não é a simples descrição de uma imagem vista na radiografia; trata-se dos exames mais difíceis de serem interpretados uma vez que as imagens podem ser bem definidas e ainda assim deixarem muitas dúvidas quanto aos aspectos benignos ou maligno (De Paredes, 1989). Inicialmente, tanto mamogramas preventivos (screening) quanto mamogramas para mulheres com achado clínico são feitos exatamente de forma similar, com 2 vistas de cada mama obtidas em diferentes ângulos. A figura 4 mostra um conjunto destas vistas.

O objetivo deste papel é apresentar uma implementação para descoberta automática de áreas suspeitas em mamogramas. A estrutura implementada consiste de três etapas: extração de características, classificação das formas e comparação com resultados comprovados. Usando a implementação desenvolvida foi encontrada uma taxa de acertos de 100% sem falsos positivos ou falsos negativos. Na próxima seção, descreve-se as técnicas usadas para identificação das características selecionadas no sistema implementado. Depois apresenta-se as principais características desta implementação e conclusões.

O traço de um tensor de segunda ordem M_2 , denotado $tr M_2$, é invariante à rotação IM (tem o mesmo valor numérico em qualquer sistema de coordenadas). Outros invariantes à rotação são o $III M_2$, que é o determinante do tensor de segunda ordem, $det M_2$, e o segundo invariante ou invariante quadrático, $II M_2$:

$$IM = tr M_2 = F_1 = m_{020} + m_{002}$$

É um resultado conhecido que os momentos centrais são invariantes a translação. O momento ($m_{00} = m_{000}$) de ordem zero, representa a área de B , e um invariante a translação e a rotação. Sabe-se também que a soma dos momentos de área de segunda ordem independente da orientação dos eixos usados para descrever estes momentos. Esta soma é o momento polar de inércia da área em relação a origem. Assim outro invariante a rotação dos eixos é $f_1 = m_{020} + m_{002}$. Também é conhecido que a excentricidade de uma área é um valor invariante à rotação dos eixos. A excentricidade é medida por:

$$f_2 = 4(m_{011})^2 + (m_{200} - m_{002})^2 \quad (4)$$

Supondo que a imagem binarizada, a ser analisada, é representada por um arranjo retangular de $M \times N$ pontos, e que chamaremos de $B(i,j)$ o valor dos pontos da imagem: o conjunto dos pontos pretos da imagem (*black pixels*), ou seja a forma do objeto pode ser representada pelos valores 1 (um). A cada ponto branco de B pode ser associado o valor 0 (zero). As coordenadas de cada um dos $M \times N$ pontos de B são (i,j) . Nesta notação o momento geométrico (ou de área) do conjunto B , de ordem (p,q) , pode ser definido como:

$$m_{pq} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N B(i,j) (i^p) (j^q) \quad (1)$$

Supondo que a imagem binarizada, a ser analisada, é representada por um arranjo retangular de $M \times N$ pontos, e que chamaremos de $B(i,j)$ o valor dos pontos da imagem: o conjunto dos pontos pretos da imagem (*black pixels*), ou seja a forma do objeto pode ser representada pelos valores 1 (um). A cada ponto branco de B pode ser associado o valor 0 (zero). As coordenadas de cada um dos $M \times N$ pontos de B são (i,j) . Nesta notação o momento geométrico (ou de área) do conjunto B , de ordem (p,q) , pode ser definido como:

$$m_{pq} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N B(i,j) (i^p) (j^q) \quad (2)$$

Supondo que a imagem binarizada, a ser analisada, é representada por um arranjo retangular de $M \times N$ pontos, e que chamaremos de $B(i,j)$ o valor dos pontos da imagem: o conjunto dos pontos pretos da imagem (*black pixels*), ou seja a forma do objeto pode ser representada pelos valores 1 (um). A cada ponto branco de B pode ser associado o valor 0 (zero). As coordenadas de cada um dos $M \times N$ pontos de B são (i,j) . Nesta notação o momento geométrico (ou de área) do conjunto B , de ordem (p,q) , pode ser definido como:

$$m_{pq} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N B(i,j) (i^p) (j^q) \quad (3)$$

Supondo que a imagem binarizada, a ser analisada, é representada por um arranjo retangular de $M \times N$ pontos, e que chamaremos de $B(i,j)$ o valor dos pontos da imagem: o conjunto dos pontos pretos da imagem (*black pixels*), ou seja a forma do objeto pode ser representada pelos valores 1 (um). A cada ponto branco de B pode ser associado o valor 0 (zero). As coordenadas de cada um dos $M \times N$ pontos de B são (i,j) . Nesta notação o momento geométrico (ou de área) do conjunto B , de ordem (p,q) , pode ser definido como:

$$m_{pq} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N B(i,j) (i^p) (j^q) \quad (4)$$

Supondo que a imagem binarizada, a ser analisada, é representada por um arranjo retangular de $M \times N$ pontos, e que chamaremos de $B(i,j)$ o valor dos pontos da imagem: o conjunto dos pontos pretos da imagem (*black pixels*), ou seja a forma do objeto pode ser representada pelos valores 1 (um). A cada ponto branco de B pode ser associado o valor 0 (zero). As coordenadas de cada um dos $M \times N$ pontos de B são (i,j) . Nesta notação o momento geométrico (ou de área) do conjunto B , de ordem (p,q) , pode ser definido como:

$$m_{pq} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N B(i,j) (i^p) (j^q) \quad (5)$$

Supondo que a imagem binarizada, a ser analisada, é representada por um arranjo retangular de $M \times N$ pontos, e que chamaremos de $B(i,j)$ o valor dos pontos da imagem: o conjunto dos pontos pretos da imagem (*black pixels*), ou seja a forma do objeto pode ser representada pelos valores 1 (um). A cada ponto branco de B pode ser associado o valor 0 (zero). As coordenadas de cada um dos $M \times N$ pontos de B são (i,j) . Nesta notação o momento geométrico (ou de área) do conjunto B , de ordem (p,q) , pode ser definido como:

$$m_{pq} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N B(i,j) (i^p) (j^q) \quad (6)$$

Supondo que a imagem binarizada, a ser analisada, é representada por um arranjo retangular de $M \times N$ pontos, e que chamaremos de $B(i,j)$ o valor dos pontos da imagem: o conjunto dos pontos pretos da imagem (*black pixels*), ou seja a forma do objeto pode ser representada pelos valores 1 (um). A cada ponto branco de B pode ser associado o valor 0 (zero). As coordenadas de cada um dos $M \times N$ pontos de B são (i,j) . Nesta notação o momento geométrico (ou de área) do conjunto B , de ordem (p,q) , pode ser definido como:

$$m_{pq} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N B(i,j) (i^p) (j^q) \quad (7)$$

Supondo que a imagem binarizada, a ser analisada, é representada por um arranjo retangular de $M \times N$ pontos, e que chamaremos de $B(i,j)$ o valor dos pontos da imagem: o conjunto dos pontos pretos da imagem (*black pixels*), ou seja a forma do objeto pode ser representada pelos valores 1 (um). A cada ponto branco de B pode ser associado o valor 0 (zero). As coordenadas de cada um dos $M \times N$ pontos de B são (i,j) . Nesta notação o momento geométrico (ou de área) do conjunto B , de ordem (p,q) , pode ser definido como:

$$m_{pq} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N B(i,j) (i^p) (j^q) \quad (8)$$

Supondo que a imagem binarizada, a ser analisada, é representada por um arranjo retangular de $M \times N$ pontos, e que chamaremos de $B(i,j)$ o valor dos pontos da imagem: o conjunto dos pontos pretos da imagem (*black pixels*), ou seja a forma do objeto pode ser representada pelos valores 1 (um). A cada ponto branco de B pode ser associado o valor 0 (zero). As coordenadas de cada um dos $M \times N$ pontos de B são (i,j) . Nesta notação o momento geométrico (ou de área) do conjunto B , de ordem (p,q) , pode ser definido como:

$$m_{pq} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N B(i,j) (i^p) (j^q) \quad (9)$$

$$II M = -m_{20} m_{02} + m_{01}^2$$

(5)

Os momentos de terceira ordem, formam um tensor de terceira ordem. Os tensores de terceira ordem também apresentam diversos invariantes. Os invariantes abaixo são usados neste trabalho, além dos f_1, f_2 já descritos:

$$\begin{aligned} f_3 &= (m_{30} - 3m_{12})^2 + (3m_{21} - m_{03})^2 \\ f_4 &= (m_{30} + m_{12})^2 + (m_{21} + m_{03})^2 \\ f_5 &= (m_{30} - 3m_{12})(m_{30} + m_{12}) + (m_{21} - 3m_{03})(m_{21} + m_{03}) \\ &+ (3m_{21} - m_{03})(m_{21} + m_{03}) [3(m_{30} + m_{12})^2 - (m_{21} + m_{03})^2] \end{aligned}$$

Considerando uma transformação de escala, de modo que $i = a^i j = a^j$ (onde a é uma constante) a área mudará de $m_{00} = a^2 m_{00}'$. Os momentos de ordem superiores serão modificados pelas relações:

$$(m_{00}')^{i+j} = (m_{00})^{i+j} + 1 \sum (m_{00})^{i+j-1} (i+j-1) a^{i+j-1} + \dots + 1 \sum (m_{00})^{i+j-1} (i+j-1) a^{i+j-1} \quad (7)$$

A utilização de momentos invariantes a escala é útil na identificação de objetos quando a distância de captura pode variar, ou quer-se fazer a forma independêr do tamanho do objeto como no caso do trabalho em questão. O grupo de invariantes completos abaixo é usando nestes trabalhos:

$$\begin{aligned} MIE(0) &= f_1 / m_{00}^2 \\ MIE(1) &= f_2 / m_{00}^4 \\ MIE(2) &= f_3 / m_{00}^5 \\ MIE(3) &= f_4 / m_{00}^5 \\ MIE(4) &= f_5 / m_{00}^{10} \end{aligned}$$

Métodos de Segmentação Utilizados

Existem muitos métodos para segmentação de imagens, os métodos usados, neste trabalho, envolvem binarização (thresholding) e detecção de contornos (edge detection). O principal objetivo do uso destes métodos é identificar partes com tom semelhantes nas mamografias digitalizadas. Algoritmos de segmentação para imagens monocromáticas geralmente são baseados nas propriedades de similaridade e desconinuidade dos níveis de cinza da imagem. No primeiro caso, o foco principal é o nível de cinza de cada pixel individualmente, este nível é comparado com um valor definido e então modificado. No segundo caso, a segmentação é baseada em variações abruptas nos níveis de cinza, por isto, são usados os pixels de uma vizinhança e o resultado é a detecção de pontos isolados, linhas ou contornos da imagem.

Binarização ou thresholding é o método mais simples de segmentação de imagens. Consiste em separar uma imagem, originalmente em tons de cinza (ou em tons de diversas cores em imagens coloridas), em pixels pretos e brancos (ou em cores pre-definidas). A decisão da nova cor que terá o pixel de imagens, em tons de cinza, é feita de acordo com a escolha do ponto de corte T ou threshold. Qualquer pixel com intensidade menor ou igual ao ponto de corte passa a ser branco (ou preto). Se o pixel tem intensidade

maior que o ponto de corte, passa a ter a cor preta (ou branca, de acordo com o que foi convenionado). Como uma imagem digitalizada pode ser descrita como uma função $f(x,y)$, a resposta de uma binarização é:

$$g(x, y) = \begin{cases} R_1 & \text{se } f(x, y) \leq T \\ R_2 & \text{se } f(x, y) \geq T \end{cases} \quad (9)$$

onde R_1 e R_2 são os valores estipulados para os dois níveis de cinza da imagem binarizada, no caso usamos 0 e 255 (preto e branco).

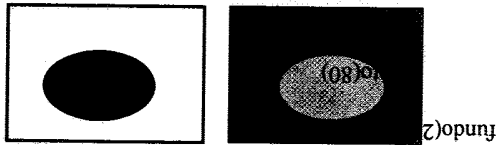


Fig. 1 - Exemplo de Binarização

Alguns autores se referem ao método de binarização como um método para separar os objetos do fundo (background) da imagem. Por exemplo, na figura 1 qualquer valor de T entre 80 e 199 separa a imagem em fundo e objeto. É fundamental no uso deste método, a escolha do ponto de corte T . Uma ferramenta auxiliar usual é o histograma da imagem (gráfico onde se obtêm o número de pixels da imagem associado a cada nível de cinza). A observação deste gráfico permite a localização do melhor valor de T para a imagem. Esta localização é tão mais fácil quanto mais bimodal for o histograma. Quando a imagem tem por exemplo dois objetos com cinzas diferentes em um background mais escuro pode ser usada a técnica de binarização multi-nível (multinível thresholding). Quando a imagem não tem objetos em tons característicos é mais difícil estabelecer os pontos de corte que isolam as regiões de interesse. Existem métodos automáticos para a escolha e ajuste do ponto de corte que usam o histograma da imagem ou a imagem propriamente dita como referência. Métodos que comparam conhecimentos prévios sobre parâmetros da imagem e obtêm vários pontos de corte também são conhecidos.

Um contorno de uma imagem, é o limite entre duas regiões com uma diferença relevante entre os níveis de cinza destas regiões. Os métodos para detecção de contornos (edge detection) têm como objetivo detectar desconinuidades na imagem. Estes métodos são fundamentais quando se deseja fazer o reconhecimento de objetos. Na figura 2 temos um exemplo do resultado obtido com o uso de um método de detecção de contorno.

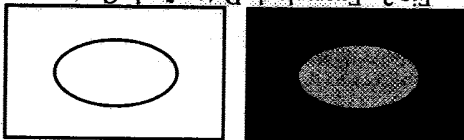


Fig. 2 - Exemplo de Detecção de Contorno

Contornos podem ser detectados por filtragem linear, usando a distribuição espacial dos níveis de cinza da imagem. Esta filtragem pode ser feita por convolução da imagem digitalizada com uma "máscara". O processo de convolução calcula um novo valor de intensidade, para cada pixel da imagem, tendo como base para o cálculo os tons de cinza dos pixels da vizinhança. Cada pixel contribui, com uma porcentagem do seu valor, para o cálculo do nível

figura 3. Um esquema deste processo pode ser visto na

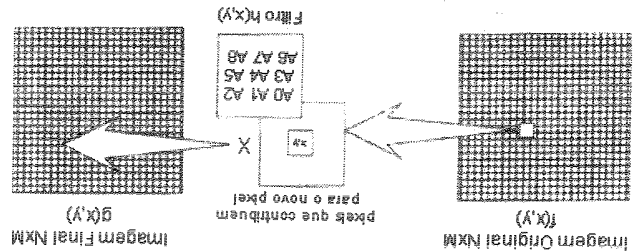


Fig. 3 - Processo de convolução usando uma máscara 3x3

Usando a representação de uma imagem digitalizada como uma função $f(x,y)$, temos como resultado da convolução (figura 3):

$$g(x,y) = \sum_{i \in h} \sum_{j \in h} f(x-i, y-j) \cdot h(i,j) \quad (10)$$

onde $0 \leq x-i < N$ e $0 \leq y-j < M$. Os valores dos elementos $h(i,j)$, são fundamentais na determinação das formas básicas (pontos, linhas e contornos) que podem ser detectadas. Para o cálculo de cada píxel da imagem final, $g(x,y)$, (equação 10) soma-se o valor na imagem original, $f(x,y)$, com os valores vizinhos multiplicados pelo peso definido na máscara da convolução $h(x,y)$. Para máscaras 3×3 a convolução definida na equação 10 se reduz a:

$$g(x,y) = A_0 f(x-i, y-j) + A_1 f(x-i, y-j-1) + A_2 f(x-i, y-j+1) + A_3 f(x-i-1, y) + A_4 f(x-i, y) + A_5 f(x-i+1, y) + A_6 f(x-i, y+1) + A_7 f(x-i, y-1) + A_8 f(x-i, y-1)$$

Pontos isolados e linhas com direções bem definidas são pouco frequentes em aplicações médicas. As técnicas mais usuais para estas aplicações são as que usam o conceito de contorno como o limite entre duas regiões. Um grupo de técnicas de detecção de contornos utiliza a derivada da imagem. Estas assumem que as regiões, a serem segmentadas, são suficientemente homogêneas, de forma que a transição entre estas regiões significifique descontinuidade nos tons de cinza. A primeira derivada de qualquer ponto da imagem é obtida usando o valor do gradiente deste ponto. A segunda derivada é obtida usando o Laplaciano. O gradiente de uma função $f(x,y)$, no ponto (x,y) é definido como o vetor:

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad \text{onde } |\nabla f| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (11)$$

Para detecção de contorno, a quantidade mais importante é o módulo do gradiente. Esta quantidade é igual a máxima taxa de crescimento de $f(x,y)$ por unidade de distância na direção do gradiente. A direção do vetor gradiente também é uma quantidade importante para determinadas aplicações. O cálculo do gradiente de uma imagem é baseado nas derivadas parciais da função $f(x,y)$, que podem ser implementadas de várias maneiras. São conhecidas como operadores Sobel, os valores G_x e G_y calculados como:

$$G_x = (p7 + 2p8 + p9) - (p1 + 2p2 + p3) \quad \text{e} \quad (12)$$

$$G_y = (p3 + 2p6 + p9) - (p1 + 2p4 + p7)$$

O PROGRAMA IMPLEMENTADO

O programa implementado, visando auxiliar no diagnóstico de mamografias, foi desenvolvido para ser de utilização simples. Ele objetiva avaliar as imagens armazenadas em arquivos PCX e classificá-las em malignas ou benignas. O formato PCX foi escolhido por ser globalmente conhecido, de grande utilização e sem perdas. O programa foi escrito para a linguagem de programação C. As mamografias foram cedidas pelo Dr. Alberto Domingues Vianna do Departamento de Radiologia do Hospital Universitário Antônio Pedro da Universidade Federal Fluminense (UFF). Elas foram escaneadas com a ajuda de um programa de processamento de imagens, as imagens foram armazenadas em arquivo no formato padrão PCX com 256 tons de cinza e com tamanho máximo de 200X200 píxels.

Cada caso inclui a imagem da mama com informação do diagnóstico. São incluídos casos benignos e malignos. As imagens utilizadas estão disponíveis em <http://www.cca.ufr.br/~aconcl/mam/frames1.htm>, 52 imagens de pacientes diferentes com diagnóstico comprovado (por uma biópsia ou pelo menos 3 anos de acompanhamento subsequente sem mudança) foram usadas para auxiliar nas decisões. Destas tem-se 27 de casos benignos e 25 de casos malignos. A classificação usa funções discriminantes e critérios de vizinhança (Kittler et al., 1998).

Os parâmetros de classificação consideram 7 características: o número de nósulos ou áreas de calcificações, o comprimento do contorno do nósulo (cuja extração a partir dos nósulos é mostrada nas últimas imagens das figuras 5 e 6 e representa número de píxels do contorno do nósulo), a sua área (veja imagens centrais das figuras 2 e 6), seu tensor inercial de ordem dois (2 características) e três (2 características). Para precisão de classificação de tumores pequenos e grandes, nós dividimos cada característica por potências de área: (como mostrado na equação 8).

As experimentações efetuadas usaram imagens completamente diferentes do processo de treinamento: as imagens da banco Nijmegen de mamografias (<http://www.mammography/Nijmegen>). O banco de dados Nijmegen contém 40 imagens sete de casos benignos. A taxa de

$$G_x = f(x,y) * a_x \quad G_y = f(x,y) * a_y \quad (13)$$

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} p_1 & p_2 & p_3 \\ p_4 & p_5 & p_6 \\ p_7 & p_8 & p_9 \end{bmatrix} \quad a_x = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad a_y = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

caso a_x e a_y , conforme mostrado abaixo. onde os p_i são os valores dos níveis de cinza da imagem. Isto corresponde a convoluir a imagem $f(x,y)$ com dois kernels 3×3 , no

melhor sentido num exame físico. Isto é predominantemente um traço genético e não está relacionado a dietas ou outros fatores. O termo "mama gordurosa" significa que existe mais tecido gorduroso do que glandular na mama. Isto também é geneticamente determinado e muitas vezes não tem nada a ver com todo o conteúdo de gordura do corpo. Todas estas imagens foram classificadas corretamente, com zero falsos positivos e zero falsos negativos.

Na classificação por proximidade, nós usamos todos os dados benignos e malignos do banco de dados (Nene e Nayyar, 1997). Nesta forma de classificação uma característica é considerada da classe Benigna (ou Maligna) se sua distância é menor para o grupo de imagens Benignas (ou Malignas). Este classificador é simples mas se torna computacionalmente complexo se o número de elementos no banco de dados aumentar muito. Como neste projeto pretende-se que o banco de dados expanda sempre que uma imagem nova com diagnóstico provada for inserida no banco, a redução da complexidade de computacional é um aspecto importante (Lee e Chae, 1998). Um método de fazer isto é reorganizar o procedimento de procura através de pré-processamento. Outro método que pode ser utilizado é o uso de funções discriminantes. Nós combinamos estes dois métodos (Horvuchi, 1998). Para especificar um discriminante funcional, grande número de análises e experiências foram realizadas para especificar os limites de decisão. Este procedimento de aprendizagem mostrou que para todas as imagens no banco de dados as duas classes são separáveis por um plano no espaço definido pelas características $E/A^{1/2}$, I/A^2 e I/A^3 . Embora este trabalho represente o primeiro passo na identificação de tumores por mamografias, pode-se dizer que os caminhos mostram possibilidades muito promissoras. Em um próximo passo pretende-se usar informações de ambas as direções que compoem a mamografia como auxiliar no processo de identificação (Vujonic e Brzalovic, 1997).

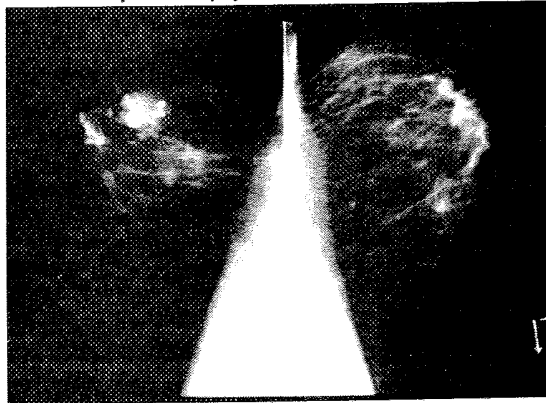


Fig. 4 - Exemplo de um dos pares de imagens do mamograma.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com o apoio da FAPERJ e do CNPq, tendo recebido suporte do projeto FINEP/RECOPE SAGE #0626/96.

REFERENCIAS

- Boyd, N. F., 1997, "Analysis of Digitized Mammograms for the Prediction of Breast Cancer Risk", <http://www.radonc.uchicago.edu/WDM/WDMa27.html>.
- Chang, C.-M. e Laine, A., 1997, "Enhancement of Mammograms from Oriented Information", ICI'97- IEEF Proceedings of International Conference on Image Processing, October 26-29, Santa Barbara, Vol. 3, pp. 524-527, No 607.
- De Paredes, E. S., 1989, Atlas of Film-Screen Mammography. Integrating Interval Feature Value", IEEF Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 20, No. 4, April, pp. 440-448.
- Hussain, Z., 1991, Digital Image Processing: practical applications of parallel processing techniques, Ellis Horwood.
- Jiang, H., Tiu, W., Yamamoto, S. e Iisaku, S-I., 1997, "Detection of Spicules in Mammograms", ICI'97- Proceedings of IEEF International Conference on Image Processing, October 26-29, Santa Barbara, Vol. 3, pp. 520-523, No 380.
- Kim, J.K. e Park, H.W., 1997, "Surrounding Region Dependence Method for Detection of Clustered Microcalcifications on Mammograms", ICI'97- Proceedings of IEEF International Conference on Image Processing, October 26-29, Santa Barbara, Vol. 3, pp. 535-538, No 508.
- Kittler, J., Hatef, M., Dulin, R.P.W. e Matas, J., 1998, "On Combining Classifiers", IEEF Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 20, No. 3, March, pp. 226-239.
- Kopans, D.B., 1989, Breast Imaging, J. B. Lippincott Co.
- Laine, A.F., Schuler, S., Fan, J. e Huda, W., 1994, "Mammographic Features Enhancement by Multiscale Analysis", IEEF Trans. on Medical Imaging, Vol. 13, No. 4, December, pp. 263-274.
- Lee, E.W. e Chae, S.I., 1998, "Fast Design of Reduced-Complexity Nearest-Neighbor Classifiers Using Triangular Inequality", IEEF Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 20, No. 5, May, pp. 562-566.
- Li, H., Liu, K.J.R., Lo, S-C B. e Wang, Y., 1997, "Stochastic Model and Probabilistic Decision-Based Classifier for Mass Detection in Digital Mammograms", ICI'97- Proceedings of IEEF International Conference on Image Processing, October 26-29, Santa Barbara, Vol. 3, pp. 539-542, No 460.
- Liu, S., Delp, E.J., 1997, "Multiresolution Detection of Stellate Lesions in Mammograms", ICI'97- Proceedings of IEEF International Conference on Image Processing, October 26-29, Santa Barbara, Vol. 2, pp. 109-112, No 614.
- Lorey, R. A., Soika, J. L., Rogers, G. W., Marchette, D. J. e Pribe, C. E., 1995, "Mammographic Computer-Assisted Diagnosis using Computational Statistics Pattern Recognition", Real-Time Imaging, Academic Press, Vol. 1, 95-104.
- Méndez, A. J., Taboas, P. G., Lado, M. J., Souto, M. e Vidal, J. J., 1996, "Computer-Aided Diagnosis: Detection of Masses on Digital Mammograms", Proceedings IWISP'96, 4-7 November, Manchester, U. K., 465-468.
- Nene, S. A. e Nayyar, S. K., 1997, "A Simple Algorithm for Nearest Neighbor Search in High Dimensions", IEEF Transactions on

Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 19, No. 9, September, pp. 989-1003.

Shen, L., Rangayyan, R.M. e Desautels, J.E.L., 1994 "Application of Shape Analysis to Mammographic Calcification", IEEE Transactions on Medical Imaging, Vol. 13, No. 2, June, pp. 263-274.

Tavassoly, F. A., 1992, Pathology of the Breast.

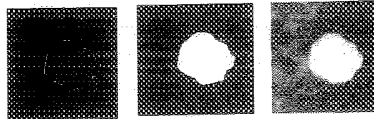
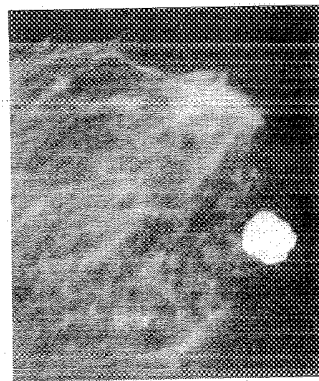


Fig. 5 - Exemplo de extração de características a partir de uma mamografia (tumor benigno)

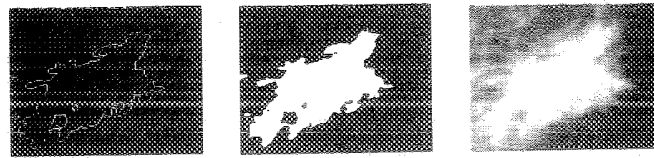


Fig. 6 - Exemplo de extração de características (tumor maligno)

Vujanovic, N., e Brzakovic, D., 1997, "Establishing the Correspondence Between Control Points in Pairs of Mammographic Images", IEEE Transaction on Image Processing, Vol. 6, No. 10, October, pp. 1388-1399.

Wodds K. e Bowyers K., 1996, "A general view of detection algorithms", Proceedings of 3rd International Workshop on Digital Mammography, June 9-12, Chicago, pp. 385-390.

UTILIZAÇÃO DE MOMENTOS NA IDENTIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE ELEMENTOS VARIADOS ADQUIRIDOS COM RUIDOS

Aura Conci, Leonardo H. Monteiro
Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e em Computação Aplicada e Automação PGMEC/CAA
Universidade Federal Fluminense - UFF
r. Passo da Pátria 156 CEP 24210-240, Niterói, RJ - Brasil

RESUMO

Em uma indústria de montagem, a utilização de computação visual para controle de processos oferece muitas vantagens mas apresenta também uma série de detalhes, que necessitam ser adequadamente equacionados para um desempenho satisfatório do sistema. Três detalhes importantes são considerados neste trabalho: a identificação eficiente de várias peças capturadas simultaneamente, os ruidos e a possibilidade de contato entre elementos. Momentos de Áreas e critérios de decisão baseados em proximidades são usados na identificação automática da forma dos componentes. A existência de múltiplos elementos na imagem e a interferência dos ruidos e contatos é compensada por um pré-processamento baseado em algoritmos inéditos. As limitações e possibilidades do sistema desenvolvido para testes são discutidas, sendo também comentados detalhes da implementação.

INTRODUÇÃO

Hoje em dia, cada vez mais, observamos a utilização crescente dos computadores como auxiliar na execução de tarefas que antes eram executadas manualmente. Atualmente existem sistemas capazes de ajudar no reconhecimento de dados meteorológicos e geográficos a partir de fotos de satélite; no auxílio ao diagnóstico médico; na contagem de células em exames biológicos e de objetos em aplicações industriais. Nestas aplicações o desenvolvimento de técnicas que possibilitem usar os computadores trabalhando com imagens é fundamental. Estas imagens depois de capturadas devem ser processadas e reconhecidas, auxiliando em tarefas muitas vezes extremamente trabalhosas e repetitivas. Como um exemplo, imagine uma linha de produção que fosse capaz de produzir 20 diferentes tipos de peças automaticamente, e que seja necessário ao final fazer uma contagem de quantas peças estão saindo e embalar as mesmas de acordo com o tipo. Imagine também que o volume de produção dessa fábrica seja de 100000 peças por dia. Essa tarefa, além de exigir um número de trabalhadores razoável, seria uma tarefa susceptível a erros devido ao grande volume. Porque não implementar um sistema inteligente para realizar essa tarefa de forma automatizada e sem erros? Esse sistema também seria capaz de reconhecer se uma peça está fora dos padrões preestabelecidos e acionar alarmes para requisitar a intervenção de operadores.

A implementação de sistemas de visão computacional no controle de qualidade industrial compreende a implementação de diversas etapas. Na primeira etapa a imagem é adquirida. Na segunda, a imagem é pré-processada. Na terceira, características são extraídas das imagens em análise. Finalmente são classificadas em com e sem defeitos, sendo os defeitos discriminados. Os defeitos a serem encontrados e a melhor maneira de caracterizá-los depende obviamente do que esta sendo analisado. Neste trabalho descreve-se, na próxima seção, o sistema desenvolvido para reconhecimento de componentes. Considera-se aspectos relacionados as etapas de aquisição e pré-processamento das imagens, bem como detalhes do processamento e exemplos de utilização nas seções seguintes. A última seção apresenta conclusões sobre a aplicabilidade do sistema.

CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA IMPLEMENTADO

O processamento de imagens é uma tarefa que geralmente exige uma capacidade considerável dos computadores pois trabalha com números e matrizes muito grandes. Substituir o controle visual humano por um controle automatizado, é muito complexo. Essa área, por ser de desenvolvimento recente, ainda possui muitos aspectos a serem resolvidos e estudados. Nosso trabalho visa contribuir neste desenvolvimento, mais especificamente no reconhecimento dos diversos objetos presentes em uma cena capturada, mesmo que se apresentem em contato uns com os outros, o que vem a ser um aspecto diferencial de outros trabalhos anteriores nesta linha (Conci e Monteiro, 1997a).

Esse trabalho utiliza os momentos de área na identificação de elementos das imagens em análise. Estes, associados a técnicas de programação tornaram possível desenvolver o sistema que apresentamos, capaz de processar imagens, separar os diversos objetos presentes, contar o número de objetos na imagem, calcular suas características geométricas (áreas, coordenadas do centróide, momentos estáticos, ângulo dos eixos principais de inércia, excentricidades, momento polar e momentos de inércia nas direções horizontal e vertical, etc.), reconhecer cada um desses objetos separadamente, e identificar variações destes em relação a outro objeto da mesma classe considerado como padrão. Este sistema pode também ser utilizado para o reconhecimento de elementos alfaméricos em imagens. O que seria útil, por exemplo, no reconhecimento de texto em embalagens ou de placas de veículos (Conci e Monteiro, 1997b).

O sistema projetado pode reconhecer peças novas desde que essas sejam adicionadas ao banco de dados do sistema. Pode-se usar o banco de dados de peças padrões dentro de certos limites das peças (padrões) e seja capaz de tomar a medida necessária, em sistemas de controle de qualidade. O sistema pode ser ainda usado como auxiliar na área de projeto mecânico e de estruturas para calcular áreas, momentos, centróide e outras características de áreas de peças com seções complexas.

AQUISIÇÃO E PRÉ-PROCESSAMENTO

No desenvolvimento do sistema utilizamos várias técnicas antes de realizar o reconhecimento dos objetos presentes nas cenas capturadas. Essas vão desde técnicas desenvolvidas para separar o fundo dos objetos e diminuir a influência da iluminação e ruídos, até técnicas para separar os diversos objetos em contato antes do cálculo das suas áreas e momentos. Nas subseções que seguem apresentaremos estas técnicas utilizadas no pré-processamento, das imagens.

Binarização

Para fazer a separação entre o fundo (*background*) e os objetos que desejamos analisar utilizamos a binarização (ou *thresholding*). A binarização é o método mais simples de segmentação de imagens. Resumidamente consiste em separar uma imagem, originalmente em tons de cinza, em pixels pretos e brancos. A decisão da nova cor que o pixel é realizada de acordo com o ponto de corte (*threshold*). Qualquer pixel com intensidade menor ou igual ao ponto de corte passa a ser preto. Se o pixel tiver intensidade maior que o ponto de corte passa a ser branca. Considerando uma imagem digital como uma função de duas variáveis, $f(x,y)$, o resultado da binarização é uma

$$g(x,y) = \begin{cases} R_1, & \text{se } f(x,y) \leq T \\ R_2, & \text{se } f(x,y) > T \end{cases}$$

outra imagem, $g(x,y)$, de apenas 2 tons, R_1 ou R_2 .

onde geralmente utiliza-se para R_1 e R_2 os valores 0 (preto) e 255 (branco). O valor de T , nesse caso, deve ser escolhido com cuidado para que não capture elementos que não façam parte do objeto. Uma ferramenta auxiliar na escolha deste ponto de corte é o histograma da imagem. A observação desse gráfico permite a localização do melhor valor de T para a imagem. Esta localização é tão mais fácil quanto mais bimodal for o histograma. Quando a imagem, por exemplo, for composta por um objeto e um fundo podemos estabelecer o ponto de corte através de um isolamento das regiões que representam o fundo e o objeto. Quando não é possível estabelecer as regiões de cada objeto no histograma é mais difícil encontrar o ponto de corte ideal. Implementamos o método automático descrito em Trier e Jain (1995) para a escolha e ajuste do ponto de corte da imagem. Para imagem compostas por mais de um objeto sob um fundo, podemos utilizar uma técnica de binarização multi-nível (Guo e Pandit, 1997; Yen et al., 1995). Após este processo associa-se ao branco ao valor 1, de modo que a imagem pode ser descrita usando-se apenas 0 e 1 e armazenada de forma que cada ponto possa ser descrito por apenas 1 bit (1 bpp = bit per pixel).

Erosão

Erosão foi a técnica utilizada para resolver um problema frequente em aplicações reais durante o processamento de imagens. Imagine que durante a captura da imagem os objetos que desejamos reconhecer apresentem pontos em contato de forma que pareçam um único objeto. Nesse caso teríamos sérios problemas para reconhecer esse objeto pois o algoritmo que faz a segmentação da imagem provavelmente reconhecerá esses dois objetos como um só. Torna-se necessário então desenvolver algum pré-processamento que seja capaz de separar objetos que possivelmente venham estar em contato entre si. Essa situação de objetos em contato é uma situação bastante provável de acontecer se considerarmos peças se movimentando

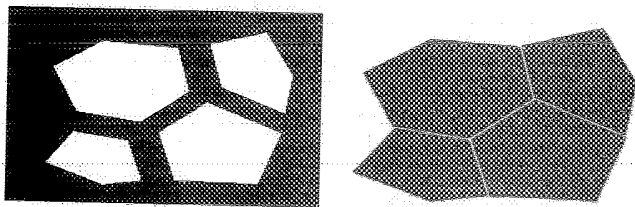


Fig. 2 - Imagem antes e depois da erosão

Observando a figura acima notamos que os objetos foram separados e permanecem com a mesma forma, embora tenham sofrido uma apreciável mudança de tamanho. Essa mudança de área, que ocorreu principalmente devido ao número exagerado de erosões do exemplo, poderia acarretar num problema para a identificação do objeto. Na verdade esse problema não acontece se for utilizado o mesmo número de erosões para identificar determinado conjunto de peças e realizarmos o processo de reconhecimento da imagem após a erosão. Assim mantendo o mesmo número de erosões, cada peça após a erosão representará a sua peça de origem antes da erosão. Outra característica da erosão das imagens é que esse processamento "limpa" ruídos na imagem que poderiam causar problemas no reconhecimento. O algoritmo de segmentação das peças usado é muito sensível e considera qualquer pixel acesso, mesmo não conectado a nenhum outro como um novo objeto. Isso poderia acarretar sérios problemas quando do reconhecimento de objetos, esse pequeno objeto seria considerado como um novo objeto se não fosse pela erosão. Pequenos objetos que contêm até 5 pixels são simplesmente apagados pelo processo de erosão. Essa eliminação de ruídos é vital para um bom funcionamento do programa.

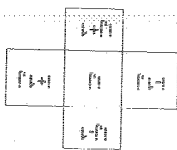


Fig. 1 - Elemento utilizado para fazer a erosão

O elemento escolhido é utilizado para analisar a vizinhança de cada um dos pixels da imagem. Faz-se essa análise da seguinte forma: colocamos o pixel a ser analisado na coordenada (i,j) e a partir daí analisamos os outros pixels do elemento. Se todos estiverem acessos (com o valor 1) o pixel que está sendo analisado continua acesso. Caso contrário o pixel é apagado (tem seu valor modificado para 0). Apresentamos na próxima figura uma imagem com 4 elementos poligonais com lados em contato, que foi submetida a 10 erosões utilizando o elemento apresentado acima.

Segmentação e Contagem de Objetos

A contagem de objetos conectados faz parte do pré-processamento para a segmentação das partes que compõem a

imagem. Esse processo é fundamental para o reconhecimento de cada objeto conectado. Para isso foi desenvolvido um algoritmo que basicamente verifica a vizinhança de cada pixel e a partir daí vai identificando se o ponto faz parte, ou não, do mesmo objeto. O algoritmo analisa a partir de coordenadas (i, j) sua vizinhança: os pixels de coordenadas $(i-1, j-1)$, $(i-1, j)$, $(i-1, j+1)$, $(i, j+1)$, $(i+1, j+1)$, $(i+1, j-1)$, $(i+1, j)$, $(i+1, j-1)$, $(i, j-1)$.

A imagem após a binarização possui apenas pixels brancos (valor 1) e pretos (valor 0), representando respectivamente os objetos e o fundo. O algoritmo de contagem, primeiro faz uma varredura, em cada linha e coluna da imagem, a procura de um pixel que a represente, ou valor dele para 2, atribui este valor a duas variáveis: máximo-já-armazenado e pixel-busca-vizinhos, e faz uma verificação da vizinhança conforme foi descrito anteriormente. Se durante essa verificação for encontrado algum outro pixel acessado, esse terá seu valor trocado para 3 e os que forem sendo encontrados depois terão o valor 4, 5, 6 e assim por diante, cada vez incrementando a variável máximo-já-armazenado. Quando terminar a verificação da vizinhança do pixel com valor igual ao da variável pixel-busca-vizinhos, o algoritmo incrementa esta variável, e faz a verificação da vizinhança do pixel com valor igual ao desta variável, no caso 3, atribuindo aos pixels que forem encontrados ainda com valor 1, incrementando esta variável) e assim o processo continua até que o algoritmo não encontre nenhum outro pixel subsequente para verificar a vizinhança, o algoritmo reconhece neste ponto o fim de um objeto, armazena o valor da variável máximo-já-armazenado em um vetor, voltando a etapa de varredura em busca de um pixel acessado, e reiniciando todo o processo. Desta forma conseguimos que seja contabilizado o número de objetos conectados (número de elementos do vetor). Observamos na figura seguinte, à esquerda, uma imagem binarizada antes de submetida ao processamento do algoritmo, e à direita o resultado depois de submetê-la ao processamento descrito.

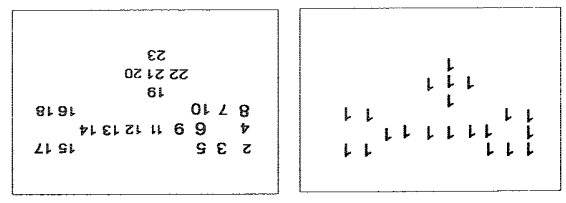


Fig. 3 - Imagem binarizada e contagem de seus pixels (pontos).

É interessante notar que, além de contabilizar o número de objetos, os pixels acessos ficam numerados de acordo com a ordem que foram encontrados pelo algoritmo. Isso possibilita no final conhecer a área de cada objeto (diferença entre o valor correspondente àquele objeto no vetor, menos o valor da posição anterior do mesmo vetor mais 1). A segmentação da imagem consiste em separar em imagens distintas objetos não conectados. Para que haja um efetivo reconhecimento dos objetos na imagem. O processo de segmentação que foi desenvolvido utiliza a forma final com que o processamento de contagem disponibiliza a imagem para realizar a segmentação e os dados armazenados no vetor (valores da variável máximo-já-armazenado). Para otimizar o processo de segmentação e a desenvolvemos um único algoritmo que faz ambas: a contagem e a

PROCESSAMENTO

Nesta etapa são calculados os elementos utilizados no reconhecimento das peças que constituem as imagens. O processamento é realizado supondo que cada um dos objetos que compõem a imagem já estão separados e binarizados, ou seja, são representados por um arranjo retangular de $M \times N$ pontos, que podem assumir as cores preta ou branca, uma matriz B com apenas valores de 0 e 1. As coordenadas de cada um dos $n = M \times N$ pontos de B são (i, j) . Chamaremos de $B(i, j)$ o valor destes pontos na linha i e na coluna j . O conjunto dos pontos com valores 1 forma o objeto representado. Nesta notação o momento geométrico (ou de área) do conjunto de pontos B , de ordem (p, q) , pode ser definido como:

$$m_{pq} = \sum_{k=1}^n B(i_k, j_k) (i_k)^p (j_k)^q \quad (1)$$

Segundo a teoria dos momentos (Lu, 1961), existe apenas um único objeto B que tem o mesmo valor para os momentos de todas as ordens, ou em outras palavras se dois objetos têm os mesmos momentos em todos as ordens, estes objetos são idênticos. Considerando uma translação das coordenadas (i, j) de um valor (i_0, j_0) de modo que o objeto possa ser descrito em relação a um sistema de coordenadas que passa pelo centróide, definido pelas coordenadas:

$$i_0 = \left[\frac{\sum_{k=1}^n B(i_k, j_k) i_k}{\sum_{k=1}^n B(i_k, j_k)} \right] = m_{10} / m_{00}$$

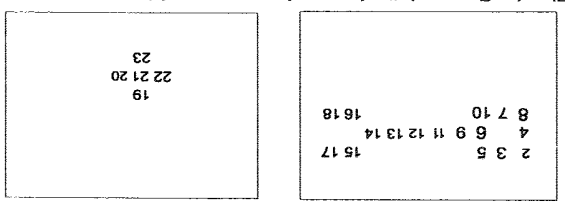
$$j_0 = \left[\frac{\sum_{k=1}^n B(i_k, j_k) j_k}{\sum_{k=1}^n B(i_k, j_k)} \right] = m_{01} / m_{00}$$

então pode-se definir os momentos centrais (em torno do centróide) como:

$$m_{pq} = \sum_{k=1}^n B(i_k, j_k) (i_k - i_0)^p (j_k - j_0)^q \quad (3)$$

É um resultado conhecido que os momentos centrais são invariantes a translação, do sistema de coordenadas. O momento (m_{00}) de ordem zero, representa a área de B , e é um invariantes a

Fig. 4 - Composição dos quadros com os objetos separados.



O algoritmo funciona da seguinte forma: quando for terminada a identificação dos pixels conectados da imagem, os valores subsequentes armazenados permitem identificar o valor do primeiro e do último pixel desse objeto. Dessa forma conseguimos um registro de todos os valores dos pixels referente a cada objeto. Então as imagens após a contagem se apresentam de uma forma que torna possível a segmentação automática de maneira muito simples apenas identificando os maiores índices conectados. Na figura 4, sendo que cada uma delas representa um dos objetos conectados da imagem original. Dessa forma conseguimos obter imagens em condições de serem submetidas ao processo final de reconhecimento de imagens: compostas apenas por um objeto e pelo fundo...

translação e rotação. Sabe-se também que a soma dos momentos de área de segunda ordem em relação ao centróide, que corresponde ao momento polar de inércia $(I_x + I_y)$, é constante, independente da orientação dos eixos usados para descrever estes momentos. Assim, outro invariante a rotação dos eixos é seu momento polar de inércia, $F_1 = m_{02} + m_{20}$. Também é conhecido que a excentricidade de uma área é um valor invariante à rotação dos eixos. A excentricidade é medida por:

$$F_2 = 4(m_{01}^2 + m_{20} - m_{02})^2 \quad (4)$$

De uma maneira geral, a invariância em relação a rotação do objeto pode ser obtida, utilizando-se no cálculo dos momentos eixos que coincidem com os eixos principais do objeto passando pelo centróide, ao invés de um sistema de eixos (t, f) qualquer. Para este cálculo, deve-se determinar o ângulo, θ , que identifica a orientação dos eixos principais, este ângulo é:

$$\tan 2\theta = 2m_{01} / (m_{20} - m_{02}) \quad (5)$$

Na determinação deste ângulo, deve-se usar, para garantir a unidade dos resultados, as restrições: $m_{20} > m_{02}$ e $m_{01} > 0$.

Qualquer momento obtido em relação a este par de eixos é invariante a rotação. No caso de imagens digitais, descritas através de M_{XN} pixels, a utilização de eixos diferentes dos eixos verticais e horizontais originais da câmara de captura pode causar muitos erros de arredondamento. Uma forma de minimizar estes erros seria um pré-direcionamento da câmara, antes da captura, de modo que a imagem fosse capturada paralelamente a direção dos eixos principais do objeto. Essa técnica é impossível de ser usada na aplicação pretendida. No desenvolvimento deste trabalho as imagens digitais serão processadas depois de sua captura. Neste caso a busca de outros invariantes às transformações de translação e rotação é bem mais adequada. Utilizando matrizes de rotação, qualquer ponto (t, f) , do objeto girado de um ângulo θ , pode ser escrito em termos do sistema original de eixos (t, f) , como:

$$\begin{bmatrix} t \\ f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t \\ f \end{bmatrix} = [R] \begin{bmatrix} t \\ f \end{bmatrix} \quad (6)$$

Os momentos de segunda ordem, formam um tensor de segunda ordem. Pela rotação dos eixos $[R]$ estes serão escritos como:

$$\begin{bmatrix} m_{20} & m_{11} & m_{02} \\ m_{11} & m_{11} & m_{11} \\ m_{02} & m_{11} & m_{02} \end{bmatrix} = [R]^T \begin{bmatrix} m_{20} & m_{11} & m_{02} \\ m_{11} & m_{11} & m_{11} \\ m_{02} & m_{11} & m_{02} \end{bmatrix} [R] \quad (7)$$

O traço de um tensor de segunda ordem M_2 , denotado trM_2 , é invariante, trM (em o mesmo valor numérico em qualquer sistema de coordenadas). Outros invariantes escalares são o III_M , que é o determinante do tensor de segunda ordem, $detM_2$, e o segundo invariante ou invariante quadrático, II_M :

$$\begin{aligned} I_M &= trM_2 = F_1 = m_{20} + m_{02} \\ II_M &= -m_{20}m_{02} + m_{01}^2 \\ III_M &= detM_2 \end{aligned} \quad (8)$$

Os momentos de terceira ordem, formam um tensor de terceira ordem. Estes, se representados em um sistema de eixos (t, f) , rotacionado de um ângulo θ , do sistema original de eixos (t, f) , podem ser escritos como:

$$\begin{aligned} m_{30}' &= m_{03} \cos^3\theta - 3m_{12} \cos^2\theta \sin\theta + 3m_{21} \cos\theta \sin^2\theta - m_{30} \sin^3\theta \\ m_{12}' &= m_{12} \cos^3\theta - 2m_{12} \sin^2\theta \cos\theta + m_{03} \sin\theta \cos^2\theta + m_{21} \sin^3\theta \\ m_{21}' &= m_{21} \cos^2\theta \cos\theta - 2m_{21} \sin\theta \cos^2\theta + m_{12} \sin^3\theta \end{aligned} \quad (9)$$

EXEMPLO EM UMA SITUAÇÃO REAL

Para simular uma aplicação real em indústrias foi desenvolvido um pequeno protótipo que captura imagens por uma câmara simulando a situação real de captura em uma esteira rolante onde as peças vão se movendo. O protótipo que foi usado para testar o reconhecimento de 9 peças de 3 tipos diferentes sendo elas três porcas, três parafusos e três arruelas. Essas apresentamos na figura 5 as peças que foram utilizadas. Imagens são de uma situação real efetivamente capturadas pela câmara. A nomenclatura utilizada está na parte inferior de cada peça. Essas peças circulam livremente pela esteira rolante até

diversas métricas possíveis para o reconhecimento.

Em (Conci e Monteiro, 1997a) é apresentado um estudo detalhado de será reconhecida como a peça que está sendo submetida ao programa. Os quadros 4 a 6 da figura 7). A peça que possui maior coincidência Essa comparação é feita considerando cada invariante (como mostram mais se aproximar de um elemento que já exista no banco de dados. que possui no banco de dados. A peça será reconhecida como a que calculou na primeira etapa e compara esses números com os dados simples. O programa nessa fase usa todos os cinco elementos que vários conjuntos de peças distintos. A fase de reconhecimento é Podemos utilizar também vários bancos de dados diferentes para futuros (no exemplo da figura 7 estes nomes são hex e quad). Esse nome será utilizado para identificar a peça em processamentos. Nessa fase é necessário que seja inserido um nome para essa peça. mesmo inicializado pela primeira entrada de dados e o seu registro. se o programa pode não existir nenhum banco de dados sendo o pela área do objeto e os quatro momentos invariáveis. Quando inicia- ao reconhecimento das imagens. Esses elementos são constituídos de- de- São utilizados cinco elementos para efetuar o cálculo referente previamente processadas, e o nome que foi atribuído a cada uma armazenadas os elementos referentes as imagens, que foram fundamental dessa etapa de processamento. É neste banco que ficam fornação ou adição de elementos ao banco de dados, que é o elemento fases (veja primeiro quadro da figura 7). A primeira consiste na objeto. O processo de reconhecimento das imagens é dividido em duas invariantes F_1 a F_4 apresentados anteriormente para identificar o O reconhecimento é a última etapa do sistema, nessa são utilizados os

RECONHECIMENTO DAS PEÇAS

Neste trabalho, além dos F_1 , F_2 já descritos, usaremos:

$$\begin{aligned} F_2 &= (m_{30} - 3m_{12})^2 + (3m_{21} - m_{03})^2 \\ F_3 &= (m_{30} + m_{12})^2 + (m_{21} + m_{03})^2 \\ F_4 &= m_{40}m_{22}m_{04} - 2m_{31}m_{22}m_{13} - m_{40}m_{13}^2 - m_{04}m_{31}^2 + m_{22}^3 \\ F_5 &= m_{40}m_{04} - 4m_{31}m_{13} + 3m_{22}^2 \\ F_6 &= (m_{30}m_{03} - m_{21}m_{12})^2 - 4(m_{03}m_{12} - m_{21}m_{12})^2 + (m_{21}m_{30} - m_{12}^2)^2 \end{aligned} \quad (10)$$

Figueiredo (1986) usam $J_1 = III_M$ e: Liu e Tsai (1990) utilizam a área, m_{00} , F_1 e F_2 . Baniéh e de invariantes. Hu (1961) utiliza uma combinação de sete invariantes. Os sensores de terceira ordem também apresentam diversos

$$\begin{aligned} m_{21}' &= m_{21} \cos^3\theta - 2m_{21} \sin^2\theta \cos\theta - m_{30} \sin\theta \cos^2\theta + m_{03} \sin^3\theta \\ m_{03}' &= m_{30} \cos^3\theta + 3m_{21} \cos^2\theta \sin\theta + 3m_{12} \cos\theta \sin^2\theta + m_{03} \sin^3\theta \\ m_{12}' &= m_{12} \cos^3\theta + 2m_{12} \sin^2\theta \cos\theta - m_{12} \sin^3\theta \end{aligned}$$

chegar ao ponto onde a câmara se encontrava e captura a imagem. A figura 6 é um desenho do protótipo.

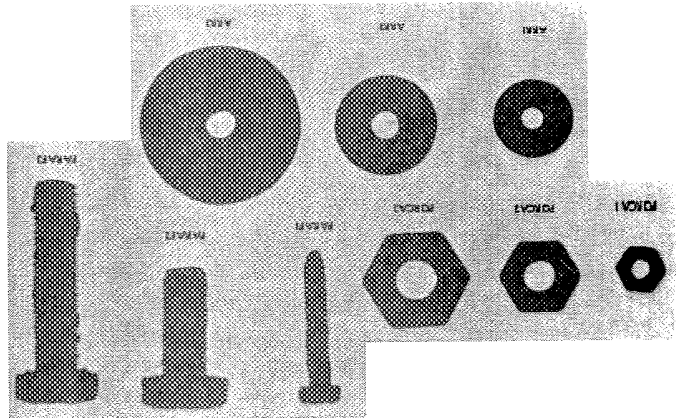


Fig. 5 - Conjunto de porcas, de arruelas e de parafusos reais usados para reconhecimento.

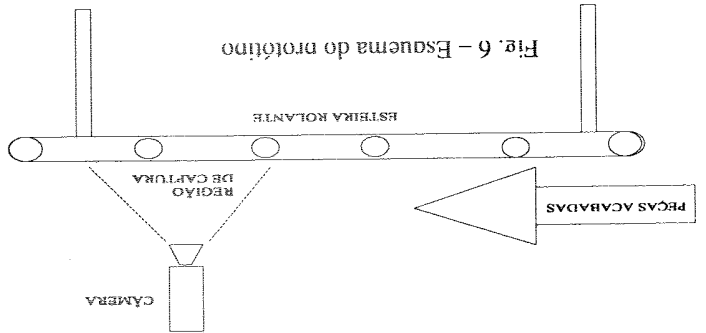


Fig. 6 - Esquema do protótipo

Esse sistema deve ser sincronizado de tal forma que a câmara não capture a mesma imagem duas vezes. Para fazer isso usa-se um temporizador que aciona a câmara. O tempo deve ser função da velocidade da esteira rolante. Essas peças ao passar pela câmara são reconhecidas e contabilizadas, ou pode-se realizar um controle de qualidade, desde que sejam estabelecidos previamente os padrões dos erros possíveis. Para realizar a captura encontramos algumas dificuldades, como a causada pela sombra, ocasionada pela posição da luz em relação a peça, criando regiões de penumbra sobre o fundo e dificultando o reconhecimento da imagem. Outro problema observado foi o fato do espelhamento dos objetos metálicos, ao refletirem a luz, introduzirem pontos identificados como brancos sobre a peça o que dificultava seu reconhecimento. A utilização de fundo preto fosco e luz difusa solucionou estes efeitos. Os parâmetros que devem ser ajustados de acordo com o local são: **Threshold** (de acordo com a luz do ambiente e de acordo com as cores do fundo e das peças) e **Erosão** (suficiente para eliminar a pior situação de contato entre os objetos mas no mínimo ajustado para 1, ou seja deve se realizar ao menos uma redução de escala na imagem de forma a garantir que pequenos ruídos não sejam contabilizados no processo). Devemos observar que uma vez ajustado o parâmetro de erosão e configurado o banco de dados não devemos mais modificar

CONCLUSÕES

A reação do mercado contra produtos de baixo nível de qualidade leva a adoção de critérios rígidos de controle. A economia globalizada proporcionou maior contato com produtos de qualidade e a realidade das organizações competitivas. O sistema aqui apresentado pretende contribuir na busca de uma produção de qualidade superior e em maiores condições de competitividade no mercado atual. Produtos mais baratos são conseguidos pela redução dos custos de produção. Qualidade superior se consegue através do controle de qualidade praticamente sem falhas que o computador possibilita. Aumento da produção se relaciona a possibilidade de analisar quantidades superiores de peças em um tempo menor que a forma manual tradicional. Indiretamente a produção ficaria mais competitiva também pela redução do prejuízo com a remessa de novas peças para repor as entregues com defeitos, e diminuição do desperdício de material. As técnicas utilizadas para reconhecer peças mecânicas podem ser utilizadas em outras aplicações como reconhecimento de caracteres, contagem de objetos em imagens. Futuramente pretendemos utilizar esses desenvolvimentos para reconhecer imagens em 3D através da captura de vistas diferentes da mesma peça. Pretende-se também utilizar o algoritmo de contagem de células em exames biomédicos.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com o apoio da FAPERJ e do CNPq, tendo recebido suporte do projeto FINEP/RECOPE SAGE #0626/96.

REFERÊNCIAS

Barnieh, B. e Figureiredo, R. J. P., 1986, "A general moment-invariant attributed method for three-dimensional object recognition

Tabela 1. Elementos do banco de dados referentes a figura 5.

PEÇA	ÁREA	INV.1	INV.2	INV.3	INV.4
PORC3	2,64E+09	1,86E+12	3,77E+15	1,51E+17	1,66E+16
PORC2	1,40E+09	5,71E+11	6,81E+14	1,39E+16	4,46E+15
PORC1	5,10E+08	8,31E+10	1,26E+13	1,98E+13	2,06E+14
ARR3	1,09E+10	2,08E+13	2,38E+17	4,76E+19	3,47E+18
ARR2	3,83E+09	2,96E+12	1,15E+16	5,22E+16	1,37E+17
ARR1	2,20E+09	1,01E+12	1,57E+15	3,79E+16	1,93E+15
PARAF3	4,76E+09	1,10E+13	1,01E+20	1,25E+22	1,75E+21
PARAF1	1,31E+09	1,28E+12	1,53E+18	3,29E+19	6,86E+18
PARAF2	2,96E+09	2,74E+12	4,13E+18	1,31E+21	2,25E+20

As peças da figura 5 foram reconhecidas com 100% de acerto, quando submetemos ao reconhecimento pelo programa. A tabela 1 contém os dados referentes a cada objeto do banco de dados.

submetendo à análise do banco de dados informações inconsistentes com as que foram geradas durante a sua construção.

- Lin, M.-K.: 1961, "Pattern Recognition by Moment Invariants", *Proceedings of the IRE*, vol. 49, No. 9, September, p. 1428.
- Thore, G.J. & Jain, A.K.: 1995, "Goal-directed evaluation of invariant moments", *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 17, pp. 1191-1201.
- Guo, B. & Panda, S.M.: 1997, "Image Decomposition and Automatic Thresholding Using Histogram Modes", *IEEE Trans. Image Process.*
- Yeo, J.C., Chang, F.J., Chang, S.: 1995, "A new criterion for automatic multilevel thresholding", *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 4, pp. 861-870.
- Liu, C.-H. & Tsai, W.-H.: 1990, "3D Curved Object Recognition from Multiple 2D Camera Views", in *Advances in Computer Academic Press*, pp. 177-187.
- Conci, A. & Monteiro, H. L.: 1997b, "Utilização de Momentos de Área na Identificação de Veículos", *anais do CILAMCB 97 - 5ª VII Congresso Ibero-Americano de Métodos Computacionais em Engenharia*, Brasília, vol. IV, pp. 2019-2025.
- Conci, A. & Monteiro, H. L.: 1997a, "Utilização de Momentos Geométricos na Inspeção Industrial", *paper n.º 3 268*, CD do *III Conferência Ibero-Americana de Engenharia Mecânica*, Havana, 97-III.
- Conci, A. & Monteiro, H. L.: 1997a, "Utilização de Momentos Geométricos na Inspeção Industrial", *paper n.º 3 268*, CD do *III Conferência Ibero-Americana de Engenharia Mecânica*, Havana, 97-III.
- Conci, A. & Monteiro, H. L.: 1997a, "Utilização de Momentos Geométricos na Inspeção Industrial", *paper n.º 3 268*, CD do *III Conferência Ibero-Americana de Engenharia Mecânica*, Havana, 97-III.

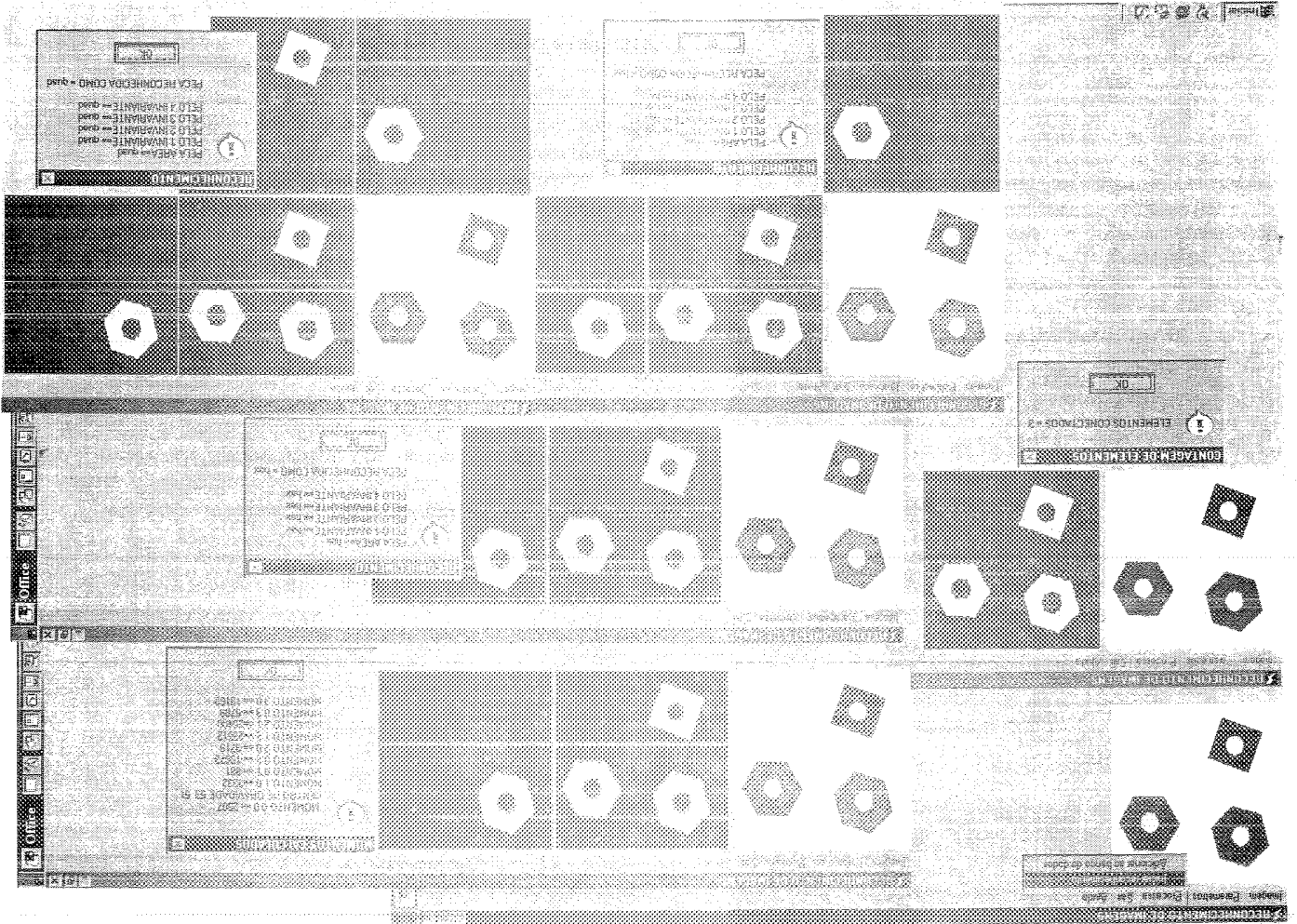


Fig. 7 - As 6 telas acima exemplificam o diálogo com o usuário do sistema desenvolvido no reconhecimento dos elementos presentes em uma imagem. Na primeira tela vê-se a tela inicial, a opção escolhida, pelo usuário, de início do reconhecimento. A segunda tela representa o resultado da binarização e a identificação do número de elementos presentes. Na terceira tela, o primeiro elemento é separado e separado e suas características geométricas (área, perímetro, momentos) apresentadas. A quarta tela mostra a identificação dos invariantes calculados para o primeiro elemento. Na quinta tela observa-se o segundo elemento separado da imagem inicial e sua identificação. A última tela mostra e identifica o terceiro elemento presente na cena inicial.

